

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA INSPECCIÓN DE PROYECTOS DE
ESTRUCTURAS DE ACERO EN COSTA RICA**

Proyecto Final de Graduación

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:
José Ignacio Díaz López

Departamento:
Ingeniería Estructural

Directora del Proyecto de graduación:
Ing. María José Rodríguez Roblero PhD

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica, Mayo 2022



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
ACTA DE LA PRESENTACIÓN ORAL

Estudiante: José Ignacio Díaz López

Carné: B22243

Tema: **Propuesta de metodología para inspección de proyectos de estructuras de acero en Costa Rica**

El Tribunal de Graduación declara que:

- o El Borrador Final del Trabajo de Graduación fue considerado aceptable por todos los miembros del Comité Asesor respectivo.
- o En consecuencia, procedió a recibir la Presentación Pública de dicho trabajo.
- o La graduación de la persona estudiante queda sujeta a la aprobación del Informe Final por la persona que dirige el Trabajo Final de Graduación, y su entrega a la Dirección de la EIC a más tardar el día **20 de mayo de 2022 a las 11 am.**

Para constancia, los Miembros del Tribunal y el graduando firman esta Acta en duplicado.

Ing. María José Rodríguez Roblero
IC-18835

Ing. Christopher Quirós Serrano
IC-16819

Ing. Flor de María Muñoz Umaña
Directora EIC

Ing. Álvaro Poveda Vargas
IC-2147

Comisión de Graduación

José Ignacio Díaz López
Estudiante



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

EVALUACIÓN DEL INFORME Y DEFENSA PÚBLICA
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

EIC Escuela de
Ingeniería Civil

Estudiante:

Diaz
Primer apellido

Lopez
Segundo apellido

José Ignacio
Nombre completo

Carné:

B22243

Fecha: 27/04/22

Nombre Evaluador

Rodriguez
Primer apellido

Roldero
Segundo apellido

Maria Jose'
Nombre completo

Función Evaluador

Director (a)

Asesor (a)

Otro: _____

Resultado de la Evaluación

Dedicación
25 %

Contenido
40 %

Forma
20 %

Exposición
15 %

Promedio final

95

Firma Evaluador

NOTAS:

Una vez finalizada la deliberación y definida la nota por parte de cada miembro del Tribunal, éste deberá enviar este formulario con la información solicitada al correo electrónico "oficial" de la EIC ingenieria.civil@ucr.ac.cr desde su cuenta oficial de correo UCR para que quede registro oficial de la nota otorgada, con copia a gabriela.astua@ucr.ac.cr, quién es la encargada de procesar el resultado de las evaluaciones y realizar el trámite respectivo.

La escala de calificación debe ser de 1 a 10 donde 10 es la calificación más alta. El promedio se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Nota Dedicación} \cdot 25 \% + \text{Nota Contenido} \cdot 40 \% + \text{Nota forma} \cdot 20 \% + \text{Nota exposición} \cdot 15 \%$$



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

EVALUACIÓN DEL INFORME Y DEFENSA PÚBLICA
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

EIC Escuela de
Ingeniería Civil

Estudiante:

Diaz

Primer apellido

Lopez

Segundo apellido

José Ignacio

Nombre completo

Carné:

B2 2243

Fecha:

27/4/2022

Nombre Evaluador

Poveda

Primer apellido

Vargas

Segundo apellido

Alvaro

Nombre completo

Función Evaluador

Director (a)

Asesor (a)

Otro: _____

Resultado de la Evaluación

Dedicación
25 %

Contenido
40 %

Forma
20 %

Exposición
15 %

Promedio final

95

Firma Evaluador

NOTAS:

Una vez finalizada la deliberación y definida la nota por parte de cada miembro del Tribunal, éste deberá enviar este formulario con la información solicitada al correo electrónico "oficial" de la EIC ingenieria.civil@ucr.ac.cr desde su cuenta oficial de correo UCR para que quede registro oficial de la nota otorgada, con copia a gabriela.astua@ucr.ac.cr, quién es la encargada de procesar el resultado de las evaluaciones y realizar el trámite respectivo.

La escala de calificación debe ser de 1 a 10 donde 10 es la calificación más alta. El promedio se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Nota Dedicación} \cdot 25 \% + \text{Nota Contenido} \cdot 40 \% + \text{Nota forma} \cdot 20 \% + \text{Nota exposición} \cdot 15 \%$$



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

EVALUACIÓN DEL INFORME Y DEFENSA PÚBLICA
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

EIC Escuela de
Ingeniería Civil

Estudiante:

Díaz

Primer apellido

López

Segundo apellido

Ignacio

Nombre completo

Carné:

B22243

Fecha: 27/4/2022

Nombre Evaluador

Quirós

Primer apellido

Serrano

Segundo apellido

Christopher

Nombre completo

Función Evaluador

Director (a)

Asesor (a)

Otro: _____

Resultado de la Evaluación

Dedicación
25 %

Contenido
40 %

Forma
20 %

Exposición
15 %

Promedio final

95

Christopher Quirós

Firma Evaluador

NOTAS:

Una vez finalizada la deliberación y definida la nota por parte de cada miembro del Tribunal, éste deberá enviar este formulario con la información solicitada al correo electrónico "oficial" de la EIC ingenieria.civil@ucr.ac.cr desde su cuenta oficial de correo UCR para que quede registro oficial de la nota otorgada, con copia a gabriela.astua@ucr.ac.cr, quién es la encargada de procesar el resultado de las evaluaciones y realizar el trámite respectivo.

La escala de calificación debe ser de 1 a 10 donde 10 es la calificación más alta. El promedio se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Nota Dedicación} \cdot 25 \% + \text{Nota Contenido} \cdot 40 \% + \text{Nota forma} \cdot 20 \% + \text{Nota exposición} \cdot 15 \%$$

Comité asesor

X 

Ing. María José Rodríguez Roblero, Ph.D
Directora

X

Ing. Álvaro Poveda Vargas, MSc.
Asesor

X 

Ing. Christopher Quirós Serrano MSc.
Asesor

X

José Ignacio Díaz López
Graduando

Derechos de propiedad intelectual

Fecha: 2022, Mayo,15

El suscrito, **José Ignacio Díaz López**, cédula 1-1583-0585, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné: B22243, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación, **Propuesta de metodología para inspección de proyectos de estructuras de acero en Costa Rica**, bajo la dirección de la **Ing. María José Rodríguez Roblero Ph.D** quién en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de la ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Agradecimientos

Primeramente, a mis padres, que me abrieron las puertas de la educación y me dieron las mejores condiciones posibles para alcanzar esta etapa. No lo habría logrado sin ellos.

A la Universidad de Costa Rica, por formarme a lo largo de estos años en tantos aspectos de mi vida.

A mi comité asesor, el Ing. Christopher Quirós y el Ing. Álvaro Poveda, que me brindaron recomendaciones y apoyo a lo largo de 2 años de investigación y desarrollo del proyecto.

A Metal Díaz, que me mostró las maravillas de la soldadura y metalmecánica y me capacitó para elaborar este trabajo.

Un especial agradecimiento a mi directora, la Ing. María José Rodríguez PhD. Las constantes revisiones, innumerables reuniones y recomendaciones están plasmadas en todas las páginas de este proyecto el cual habría sido imposible desarrollar sin su guía.

A Lu, que me brindó el mayor apoyo cuando parecía imposible de lograrlo. Gracias por motivarme e impulsarme a ser un mejor profesional y una mejor persona.

¡Gracias!

Índice de contenidos

Comité asesor	i
Derechos de propiedad intelectual	ii
Agradecimientos	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de figuras.....	vii
Índice de cuadros	ix
Índice de apéndices y anexos	x
Índice de abreviaturas.....	xi
Resumen	xiii
1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema específico	1
1.2. Importancia	3
1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema	4
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. Delimitación del problema.....	9
1.5.1. Alcance	9
1.5.2. Limitaciones.....	10
1.6. Metodología	10
1.6.1. Etapa 1: Revisión de bibliografía	11
1.6.2. Etapa 2: Ejecución de encuesta y entrevistas	12
1.6.3. Etapa 3: Desarrollo de la metodología de inspección de proyectos de estructuras de acero	13

1.6.4.	Etapa 4: Elaboración de herramienta en Excel	14
2.	CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	15
2.1.	Introducción a las estructuras metálicas	15
2.2.	El acero en cifras	17
2.3.	Generalidades de un proceso de inspección	18
2.4.	Planificación de la calidad	21
2.5.	Procesos involucrados en un proyecto de estructuras de acero	22
2.5.1.	Planos de taller y planos originales	22
2.5.2.	Transformación del acero	24
2.5.3.	Soldadura	39
2.5.4.	Limpieza, recubrimientos y corrosión	56
3.	CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DEL CONOCIMIENTO DE PROFESIONALES EN INGENIERÍA CIVIL ACERCA DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO	65
3.1.	Objetivo de la encuesta	65
3.2.	Limitaciones	65
3.3.	Recopilación de los datos	65
3.4.	Análisis de los resultados	66
3.4.1.	Información general y experiencia laboral	66
3.4.2.	Herramientas y técnicas utilizadas en la inspección de estructuras de acero ...	71
3.4.3.	Formación académica de los inspectores de estructuras de acero	82
3.4.4.	Inspección de recubrimientos de estructuras de acero	86
3.4.5.	Inspección de pernos de anclaje y uniones apernadas	90
3.4.6.	Certificación de profesionales inspectores y personal calificado	93
3.4.7.	Opinión de encuestados acerca del estado actual de la inspección de estructuras de acero en Costa Rica	95
4.	CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	99

4.1.	Estructura general de metodología	99
A.	Inicio.....	105
B.	Planificación	105
C.	Ejecución	106
D.	Monitoreo y Control	106
E.	Cierre	106
4.2.	Procesos de inspección de estructuras de acero	107
4.2.1.	Especificaciones del proyecto.....	109
4.2.2.	Análisis de mano de obra y personal	115
4.2.3.	Plan de Calidad y Programa de Puntos de Inspección (PPI's)	121
4.2.4.	Condiciones de infraestructura del fabricante, herramienta y maquinaria.....	127
4.2.5.	Materiales y consumibles.....	132
4.2.6.	Salud Ocupacional	137
4.2.7.	Planos de taller	144
4.2.8.	Armado de estructuras.....	148
4.2.9.	Transformación del acero	153
4.2.10.	Soldadura.....	161
4.2.11.	Pernos	173
4.2.12.	Limpieza de estructura y recubrimientos.....	185
4.2.13.	Transporte de estructuras	192
4.2.14.	Montaje de estructuras	196
4.2.15.	Ensayos no destructivos (END).....	201
4.2.16.	Lista de verificación y entrega	208
5.	CONCLUSIONES	211
5.1.	Conclusiones generales del proyecto.....	211
5.2.	Conclusiones específicas del análisis de resultados de encuesta	213

6. RECOMENDACIONES	217
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	218
8. GLOSARIO DE TÉRMINOS	1
9. APÉNDICES Y ANEXOS.....	1

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama metodológico	11
Figura 2. Simbología para especificar soldaduras en planos	24
Figura 3. Guillotina o cizalladora hidráulica	25
Figura 4. Vigas "hechizas" o armadas fabricadas a partir de lámina de acero	26
Figura 5. Corte mediante discos abrasivos	27
Figura 6. Proceso semiautomático de oxicorte con uso de "tortuga"	28
Figura 7. Diagrama de funcionamiento de boquilla de corte plasma	30
Figura 8. Funcionamiento de corte plasma mecanizado en lámina de 1/2" (12,7 mm) de acero A36	31
Figura 9. Datos de dobladora de lámina	32
Figura 10. Elementos fabricados mediante dobladora	32
Figura 11. Aplicación del proceso de rolado en lámina	33
Figura 12. Vigas tipo H roladas.....	34
Figura 13. Uso de taladro electromagnético en perforación de vigas	35
Figura 14. Placas perforadas mediante ponchadora	36
Figura 15. Verificación de ángulo de corte en biselado de lámina de 3/4" (19,05 mm) mediante oxicorte	37
Figura 16. Barras para tensores de nave industrial con extremos roscados	39
Figura 17. EPP básico para un soldador	41
Figura 18. Aplicación de proceso de soldadura SMAW	42
Figura 19. Ejemplo de identificación de electrodos revestidos mediante su nomenclatura	43
Figura 20. Clasificación de los electrodos según normativa AWS	43
Figura 21. Soldador aplicando proceso GMAW en apuntalamiento de estructura liviana	44
Figura 22. Rollo de soldadura de alambre sólido para soldadura tipo GMAW (MIG/MAG)	45

Figura 23. Tipos de uniones más comunes en soldadura	49
Figura 24. Soldaduras de tipo tapón y ranurado	50
Figura 25. Configuraciones de biselado en uniones a tope.....	50
Figura 26. Detalle típico de perforación de acceso en unión Viga – columna.....	53
Figura 27. Equipo tipo "airless" para aplicación de pinturas	63
Figura 28. Años de experiencia en Ingeniería Civil.....	66
Figura 29. Años de colegiatura en CFIA.....	66
Figura 30. Universidad de la que se egresaron los participantes.....	67
Figura 31. Experiencia en inspecciones de estructuras de acero	68
Figura 32. Experiencia en inspección de estructuras de acero por área de desempeño	69
Figura 33. Áreas de desempeño laboral de los participantes que sí han tenido experiencia en inspección de estructuras de acero	69
Figura 34. Motivos por los que los participantes no han realizado inspecciones de estructuras de acero	70
Figura 35. Etapas en las que los encuestados realizaron inspección	71
Figura 36. Herramientas o técnicas aplicadas en la inspección de estructuras de acero	73
Figura 37. Normativa y códigos aplicados en la inspección de estructuras de acero	74
Figura 38. Relevancia de los insumos para realizar inspección de estructuras de acero durante su fabricación en taller	75
Figura 39. Relevancia de los insumos para realizar inspección de estructuras de acero que están en servicio	76
Figura 40. Porcentaje de profesionales que diseñan la soldadura	78
Figura 41. Porcentaje de ingenieros estructurales que diseñan la soldadura de sus proyectos	78
Figura 42. Defectos comúnmente identificados en uniones soldadas	80
Figura 43. Ensayos no destructivos aplicados en la inspección de soldaduras	81
Figura 44. Porcentaje de profesionales que han recibido capacitación formal en inspección de estructuras de acero	83
Figura 45. Conocimiento por parte de encuestados de la oferta de capacitación disponible en el país	83
Figura 46. Herramientas utilizadas por los encuestados para medir espesores de recubrimientos en estructuras de acero.....	87

Figura 47. Porcentaje de ingenieros estructurales que indican protección pasiva contra fuego mediante recubrimientos	89
Figura 48. Tipos de pernos utilizados en uniones de elementos sismo-resistentes según encuestados.....	92
Figura 49. Porcentaje de uso de inspectores calificados o especialistas en END	95
Figura 50. Opinión de calidad y alcance de estructuras de acero en Costa Rica	96
Figura 51. Estructura general del PMPBOK Guide (PMI)	100
Figura 52. Diagrama de estructura general de metodología de inspección.....	101
Figura 53. Etapas de un proyecto según el PMBOK Guide	102
Figura 54. Diagrama de procesos a inspeccionar en estructuras de acero	103
Figura 55. Ejemplo de formato de análisis de proceso planteado en la herramienta de inspección de Excel.....	108

Índice de cuadros

Cuadro 1. Normas ASTM permitidas para la fabricación de pernos de anclaje.....	38
Cuadro 2. Posiciones de soldadura y su clasificación.....	46
Cuadro 3. Secciones de soldadura aceptables y no aceptables para uniones de tipo filete ...	51
Cuadro 4. Secciones aceptables y no aceptables en uniones a tope.....	52
Cuadro 5. Defectos más comúnmente hallados en soldaduras mediante inspección visual ...	54
Cuadro 6. Grados de corrosión del acero según norma ISO 8501-1.....	57
Cuadro 7. Normas SSPC sobre grado de limpieza en superficies de acero	60
Cuadro 8. Áreas de desempeño laboral de la totalidad de participantes.....	68
Cuadro 9. Centros de capacitación utilizados por los profesionales	84
Cuadro 10. Uso de tornillería de alta resistencia	90
Cuadro 11. Requisitos exigidos por los encargados de obra a los soldadores.....	93
Cuadro 12. Oportunidades de mejora identificadas por encuestados	98
Cuadro 13. Etapas de metodología de inspección y distribución de procesos críticos	104
Cuadro 14. Equipo de protección personal por puesto de trabajo	142
Cuadro 15. Dimensión nominal de las perforaciones para pernos	178
Cuadro 16. Pretensión mínima en pernos para la verificación de pre-instalación.	180
Cuadro 17. Pretensión mínima de pernos según tipo y diámetro	181

Cuadro 18. Método de pretensión mediante "giro de tuerca" según condiciones de la junta	182
Cuadro 19. Identificación del tipo de perno	183
Cuadro 20. Lista de normas para tipos de pernos, tuercas, arandelas y arandelas indicadores de tensión directa	184

Índice de apéndices y anexos

Apéndice 1. Herramienta de inspección de proyectos de estructuras de acero en MS Excel.A-1	
Apéndice 2. Encuesta aplicada a profesionales de la Ingeniería Civil en Costa Rica	B-1
Anexo 1. Ejemplo 1 de WPS.....	C-1
Anexo 2. Ejemplo 2 de WPS.....	C-2

Índice de abreviaturas

- ACI: American Concrete Institute
- ACIES: Asociación Costarricense de Ingeniería Estructural y Sísmica
- AISC: American Institute of Steel Construction
- AISI: American Iron and Steel Institute
- ALACERO: Asociación Latinoamericana del Acero
- ASCE: American Society of Civil Engineers
- ASNT: American Society of Nondestructive Testing
- AWS: American Welding Society
- CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica
- CIC: Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica
- CIEMI: Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales de Costa Rica
- CJP: Complete Joint Penetration
- CNC: Control Numérico Computarizado
- CONAVI: Consejo Nacional de Vialidad
- COVID-19: Coronavirus Disease 2019
- CWI: Certified Welding Inspector
- DFT: Dry Film Thickness
- ED: Ensayo destructivo
- EDT: Estructura de Desglose de Trabajo
- END: Ensayo No Destructivo
- EPP: Equipo de Protección Personal
- FCAW: Flux Core Arc Welding
- GMAW: Gas Metal Arc Welding
- GTAW: Gas Tugsten Arc Welding
- HSS: Hollow Structural Section
- INA: Instituto Nacional de Aprendizaje
- INVU: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo
- LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica
- LEED: Leadership in Energy and Enviromental Design
- MAG: Metal Active Gas

- MIG: Metal Inert Gas
- PJP: Partial Joint Penetration
- PPI: Programa de Puntos de Inspección
- PQR: Procedure Qualification Record
- QA: Quality Assurance
- QC: Quality Control
- RT: Riesgos de Trabajo
- SAE: Society of Automotive Engineers
- SAW: Submerged Arc Welding
- SJI: Steel Joist Institute
- SMAW: Shield Metal Arc Welding
- SSPC: Society for Protective Coatings
- UCR: Universidad de Costa Rica
- WFT: Wet Film Thickness
- WPQr: Welding Procedure Qualification record
- WPS: Welding Procedure Specification

Díaz López, José Ignacio

Propuesta de metodología para inspección de proyectos de estructuras de acero en Costa Rica
Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica

J.I. Díaz L., 2022

xiv, 224, [38]h; ils.col – 67 ref

Resumen

En Costa Rica en el sector de la construcción el acero es uno de los materiales ampliamente utilizados en diferentes tipos de estructuras por los numerosos beneficios que posee el material. No obstante, no existen procedimientos o normativas locales para su diseño, mantenimiento y especialmente, su inspección.

En este proyecto se elaboró una propuesta de metodología para la inspección de estructuras de acero, con el objetivo principal de guiar a los profesionales encargados de la inspección de proyectos, de forma que se realice una inspección completa y apegada a las buenas prácticas y normativa aplicable. Para elaborar la metodología se revisó la normativa nacional aplicable y las guías de buenas prácticas y normativa internacionales, especialmente de AWS, AISC y AASHTO. Con el propósito de conocer el nivel de capacitación y experiencia que poseen los profesionales de ingeniería civil en la inspección de estructuras de acero se realizó una encuesta distribuida a través del colegio profesional. También se realizaron entrevistas a empresas y profesionales del área de la metalmecánica. La información recopilada a través de la encuesta y las entrevistas permitió identificar las deficiencias existentes en la formación de los profesionales y desarrollar una Guía de inspección acorde con las condiciones actuales.

La Guía de Inspección contempla cinco etapas en un proyecto (inicio, planificación, ejecución, control y cierre) y 16 procesos distintos a inspeccionar para asegurar la calidad y seguridad de las estructuras. La Guía es adaptable a diferentes tipos de proyectos y con el objetivo de mejorar la aplicabilidad de la Guía de Inspección en proyectos reales, se incluyó una herramienta programada en el programa informático Excel, mediante el cual se pueden realizar la inspección de los 16 procesos y generar documentación a lo largo de todo el proyecto.
J.I.D.L.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA; ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL; INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO; ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS; SOLDADURA.

Ing. María José Rodríguez Roblero PhD.

Escuela de Ingeniería Civil.

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Problema específico

Actualmente, en el país existen normativas y procedimientos para el diseño, construcción e inspección de diferentes obras de infraestructura. Por ejemplo, el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR – Rev 14), que desde el año 2003 es Ley de la República, brinda una guía al profesional de las características que debe cumplir toda edificación, para mantener condiciones seguras de los usuarios, ante las diferentes condiciones de carga a las que se va a ver expuesta. Por otra parte, también existe el Reglamento de Construcciones, publicado por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) con su última actualización en el año 2018, el cual estipula los conceptos básicos y requisitos mínimos de planificación de obras de infraestructura urbana y remite a las normas de calidad que deben aplicarse a los materiales y a los procesos constructivos en el país. Existe además los Lineamientos para el diseño Sismorresistente de puentes, publicado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, en el cual sirve de guía para el diseño y rehabilitación de los puentes.

Además de los códigos mencionados, en Costa Rica se utilizan en la práctica también códigos de diseño internacionales. Por ejemplo, los "Requisitos del código de construcción para hormigón estructural y comentarios" ACI-318 que establece los requisitos mínimos para concreto estructural, publicado por el American Concrete Institute. Otra normativa que es importante destacar, es ASCE 7-16, denominada "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, publicado por la American Society of Civil Engineers. El profesional utiliza esta normativa para guiarse en su quehacer profesional, pero no pueden ser utilizados de forma acrítica y sin la debida preparación técnica que esto requiera.

Además, el CSCR 2010 – Rev 14, en su sección 10.1.2, menciona las principales referencias de diseño e inspección de estructuras de acero que es conveniente aplicar en proyectos de este tipo. Algunas de las más importantes que cabe mencionar, son la ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings, de la American Institute of Steel Construction, el D1.1 Structural Welding Code – Steel, de la American Welding Society y además, la Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts, del Research Council on Structural Connections.

Si bien es cierto, la normativa que rige el diseño de estructuras de acero es amplia y clara, no lo es de igual manera para la inspección de estructuras durante su fabricación, montaje o servicio. En el caso de las estructuras metálicas, actualmente en Costa Rica no existe un procedimiento normado para realizar la inspección y verificar si su fabricación y montaje fueron conforme al diseño. El profesional a cargo de esta tarea no cuenta con una herramienta apropiada para poder ejecutar una correcta inspección de la obra, dado que no tiene los procedimientos a seguir y en algunos casos la capacidad técnica para hacerlo. La mayoría de las veces las inspecciones en obra se basan a la experiencia que tenga el profesional, en conceptos generales de construcción y diseño y no en prácticas recomendadas específicas para estructuras de acero.

El problema fundamental radica en la inexistencia de normativa que establezca los requisitos que se deben cumplir y la forma en la que se debe realizar la inspección, por lo que no existe una consistencia en los profesionales que evalúan estructuras metálicas. Esto da como resultado que las inspecciones dependan completamente del evaluador, por lo que se obtienen procedimientos y recomendaciones subjetivas. Además, sin una guía para el profesional, frecuentemente no se hacen las inspecciones de manera detallada y analizando todos los puntos críticos que podría tener la obra; dando como resultado una inspección deficiente por parte del profesional a cargo.

Adicionalmente al problema de ausencia de normativa local relativa a la inspección de estructuras metálicas, por muchos años la fabricación de este tipo de estructuras en el país ha sido empírica y delegada en los contratistas de estructuras metálicas. Al fabricarse elementos siguiendo procedimientos que no han sido aprobados o verificados, no es posible asegurar que tendrán el comportamiento supuesto en el diseño. Además, es importante señalar que, si existe una construcción deficiente, difícilmente se obtendrá la capacidad y la durabilidad esperada en el diseño.

Otro aspecto importante de destacar es que en la formación de los ingenieros civiles comúnmente se da mayor énfasis al diseño. Actualmente en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica, únicamente se imparte el curso optativo "Diseño de estructuras de acero", el cual está enfocado en el diseño y no en la verificación de la calidad. Por esta razón, existe una deficiencia en el tema en el gremio y en este proyecto se busca contribuir con la elaboración de una guía de inspección que permita atender una

necesidad evidente en el país. La elaboración de una metodología para la inspección de estructuras de acero en general significa una herramienta de gran utilidad para el profesional responsable de la estructura fabricada, especialmente ingenieros civiles que no cuentan con experiencia en el área.

1.2. Importancia

En toda obra se debe asegurar que los elementos estructurales y arquitectónicos cumplan las funciones previstas de forma segura. Esto significa que aparte de cumplir con los requisitos de resistencia, también deben satisfacer los requerimientos por servicio (por ejemplo, las deformaciones máximas permitidas) y deben tener la durabilidad para la que fueron diseñadas. Para garantizar que una estructura tendrá el desempeño previsto, se requiere que su construcción sea conforme con las mejores prácticas de ingeniería y acorde con el diseño. Las inspecciones durante la construcción son indispensables para asegurar que la ejecución se está realizando conforme se previó en el diseño, ya sea en la construcción de elementos de concreto, madera, acero u otro material.

El acero es uno de los materiales más ampliamente utilizados en la construcción, tanto en Costa Rica como en el mundo. Sin embargo, en el país la fabricación y montaje de estructuras de acero ha carecido de un procedimiento estandarizado y el control de la calidad ha sido generalmente delegado al fabricante. Si bien es cierto en la última versión del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 10-Rev14) en su capítulo 10 se establecen los requisitos generales de la documentación requerida para estructuras de acero, los métodos de inspección permitidos y los requisitos para aceptación de soldaduras, el procedimiento para efectuar una inspección adecuada y la preparación que debe tener el inspector no están establecidos.

Además de la falta de procedimientos estandarizados para realizar las inspecciones, existe una carencia de capacitación de los profesionales para evaluar la fabricación en taller de estructuras o bien, el montaje de las mismas. Actualmente en Costa Rica no existe una oferta permanente de capacitación para certificar a los profesionales que ejercen estas actividades de inspección y supervisión. Es de suma importancia capacitar a los futuros inspectores de obra para asegurar el adecuado funcionamiento de las estructuras y componentes estructurales metálicos. Los inspectores requieren saber cómo se debe efectuar la inspección y cuáles son los métodos adecuados para evaluar los deterioros que se observan comúnmente en elementos de acero estructural.

En el CSCR 10 – Rev 14 se indica la obligación de realizar la inspección visual de las soldaduras y se permite el uso de algunos ensayos no destructivos (inspección radiográfica (RT), partículas magnéticas (MT) y ultrasonido (UT)) para complementar la inspección visual. El único requisito establecido en la sección 10.9.3.1 del CSCR 10 – Rev 14 es que el personal esté calificado en la realización de los ensayos, pero no se especifican los requisitos que debe cumplir el personal o la forma en que se verificará la capacitación.

Debido a la importancia de implementar procedimientos adecuados en la inspección y supervisión de las obras metálicas es que en este proyecto se elaboró una guía que proporciona lineamientos al profesional para realizar las inspecciones de estructuras metálicas. Se requieren lineamientos claros acerca de los ensayos adecuados para evaluar estructuras metálicas en sitio que complementen los requerimientos del Código Sísmico.

La guía propuesta pretende ser una herramienta de fácil acceso para el profesional, y que se puede aplicar tanto en los procesos previos a la fabricación, durante su producción en taller y durante el montaje de las estructuras en su sitio final. De esta forma se abarca todos los procesos que podrían resultar críticos en la calidad final del producto entregado y estableciendo un primer paso a la estandarización del proceso de inspección de estructuras de acero.

Además, es importante destacar que la metodología considera todos los aspectos de un proyecto que podrían afectar directa o indirectamente la calidad de las estructuras. Se elaboró de esta manera con el objetivo de que el profesional de ingeniería a cargo conozca el panorama completo de las variables presentes en la ejecución y dirección de un proyecto que podrían generar afectaciones en la calidad final de la estructura de acero.

1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

Como se mencionó anteriormente, las estructuras metálicas son ampliamente utilizadas en el mundo. En Costa Rica se utiliza acero estructural en la construcción de naves industriales, edificaciones, viviendas, reforzamientos estructurales, además de un sinnúmero de elementos de obra menor de infraestructura, tales como rampas, barandas, escaleras y aleros, entre otros. Debido a las diferentes aplicaciones que pueden existir del acero estructural, se consideró que los antecedentes del problema no se limitan a un tipo específico de estructura. Se resumen a continuación las investigaciones universitarias y publicaciones a nivel nacional, así como algunas a nivel latinoamericano, donde muestran la importancia de una metodología definida de inspección. La mayoría de estas metodologías y teorías, están fundamentadas en normativas

estadounidenses, como por ejemplo de la American Institute of Steel Construction (AISC), de la American Iron and Steel Institute (AISI) y de la American Welding Society (AWS). En el país, se han generado esfuerzos por mejorar la inspección de estructuras metálicas y se incluyen como antecedentes los proyectos de graduación y las iniciativas realizadas por instituciones públicas y agrupaciones profesionales.

Con respecto a los proyectos de graduación se considera relevantes dos tesis, una elaborada en la Universidad de Costa Rica y otra en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Las principales conclusiones de cada una de las tesis se detallan a continuación.

En el año 2012 José Luis Villalobos Soto realizó su tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial en la Universidad de Costa Rica, con el tema "*Mejoramiento del sistema de gestión de calidad, mediante el desarrollo de metodologías de trabajo para el aseguramiento de la calidad en los procesos de soldadura y pintura en Saret Metalmecánica*". En este trabajo se identifica la importancia de tener una metodología de gestión de calidad estandarizada, ya que el costo de los reprocesos y devoluciones por parte de los clientes insatisfechos estaba alcanzando casi un 5% del costo total de todas las obras. Se hace énfasis en la calidad de las soldaduras de los productos fabricados en Saret Metalmecánica, además que se elabora una guía para el técnico a cargo de la fabricación, con el objetivo de identificar los errores que se están cometiendo y están generando reprocesos en la producción. La tesis también tiene un apartado donde se hace énfasis en la deficiente capacitación de los profesionales a cargo. Se señala que existen muchas deficiencias identificadas en la planta por parte de los profesionales, por lo que la calidad va a ser deficiente si no se verifica que se sigan los procedimientos adecuadamente. La deficiencia en la capacitación de los profesionales a cargo es un hallazgo importante de la investigación y es un aspecto en el que se puede mejorar desde la academia.

El estudiante Juan Pablo Quirós Leiva, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en su tesis de bachillerato de Ingeniería en Materiales titulada "*Verificación del Programa de Puntos de Inspección (PPI) Ejecutado para la Estructura Metálica del Nuevo Puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional N° 147*" analiza la inspección para el proyecto de construcción de un puente. En la tesis publicada en el año 2018, Quirós identifica que el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), institución responsable de la construcción del puente, no cuenta con asesoría en los procesos de fabricación de estructuras metálicas, por lo que considera importante verificar que los procesos que se van a seguir para realizar los trabajos de intervención del puente cumplan

adecuadamente con la normativa especificada en el contrato. Por tanto, para poder asegurar la calidad de los procesos constructivos se llevan a cabo ensayos destructivos y no destructivos en el puente. Esta referencia muestra un ejemplo práctico de aplicación de los ensayos destructivos y no destructivos para la verificación de la calidad en sitio, y además reafirma la necesidad de contar con procedimientos claros para la inspección de estructuras metálicas. Esta tesis tiene un valor importante en el eje de investigación, ya que se ejemplifica como en grandes obras nacionales, como lo son las intervenciones en puentes, no existe un procedimiento adecuado para verificar e inspeccionar la calidad de los trabajos que se están realizando. Además, muestra de manera gráfica como se aplican las inspecciones por parte de profesionales en el país en el tema de uniones soldadas, aplicando ensayos y sus respectivos resultados. Este último detalle se puede observar en la sección de anexos del documento. Esta obra es un claro ejemplo, de como un proyecto importante también tiene carencias en el plan de calidad y en la inspección por parte de los profesionales.

Las únicas dos tesis encontradas relacionadas con la inspección de estructuras metálicas en sitio señalan la necesidad de mejorar los procedimientos de inspección y la capacitación de los inspectores. Es importante indicar que ambas tesis se desarrollaron en otras áreas de la ingeniería y no se encontró tesis que abordaran el tema específicamente en Ingeniería Civil. Ambos trabajos y la ausencia de investigaciones en el tema demuestran la necesidad de mejorar la capacitación de los ingenieros civiles en la inspección de estructuras metálicas, ya que son los ingenieros responsables del diseño y construcción de este tipo de estructuras.

En el país se están haciendo esfuerzos para capacitar apropiadamente a los profesionales y técnicos a cargo de la producción de estructuras metálicas. El Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) cuenta con programas de formación de soldador calificado, especialista en manejo de materiales como en procesos de corte y armado. Además, cuenta con un programa de formación de inspector de soldaduras. Los programas mencionados son necesarios, pero no son suficientes para capacitar a los técnicos y profesionales encargados de la construcción de estructuras metálicas. Los cursos están enfocados en la formación de técnicos en soldadura, quienes se encargarán de la ejecución de los trabajos en sitio. Sin embargo, la capacitación requerida por los ingenieros civiles no es propiamente la realización de las soldaduras, sino la verificación de la calidad de éstas y la inspección global de las estructuras metálicas.

Además de las instituciones educativas como las universidades y el INA, instituciones como Colegio de Ingenieros Civiles (CIC) y el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), han llevado a cabo capacitaciones en el área de estructuras metálicas. El CIC brinda de forma periódica cursos de actualización como el de "Diseño de Estructuras Metálicas", enfocados en diseñadores estructurales y no tanto en procesos constructivos. El LanammeUCR, ha realizado capacitaciones juntamente con la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, en cuanto al uso de ensayos no destructivos (END) para hallar defectos en soldaduras o materiales. Si bien ambas iniciativas contribuyen a la capacitación de los ingenieros en temas que son relevantes para la adecuada ejecución de proyectos que involucran estructuras metálicas, la oferta de capacitación no es permanente y los contenidos incluidos en las actividades abarcan únicamente algunos de los aspectos que se deben considerar y no constituyen un programa de calificación para inspectores. Por otra parte, el Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales (CIEMI), ha realizado conferencias y reuniones con el fin de generar acuerdos con la American Welding Society (AWS), la cual es la institución responsable del desarrollo de la especificación D1.1 Structural Welding Code – Steel. AWS es la entidad estadounidense que establece los requisitos de todos los procesos a seguir en la fabricación de estructuras metálicas de todo tipo en las que las uniones se realizan por soldadura. Además de la elaboración de normativa, la AWS está a cargo de la certificación de los técnicos que realizan los trabajos de soldadura. Este acercamiento entre CIEMI y la AWS es un paso importante para la mejora en las prácticas constructivas en el país. A pesar de que las especificaciones de la AWS se utilizan como referencia para la soldadura de elementos estructurales en Costa Rica, pues están referenciadas en el CSCR 10 - Rev14, en la actualidad no están disponibles los cursos de capacitación en el país. Actualmente, si una persona en Costa Rica se quiere capacitar para ser inspector certificado AWS, debe viajar al exterior, por ejemplo, a México o Estados Unidos, para la capacitación y certificación, lo que incrementa los costos de la capacitación. El acercamiento entre la AWS y CIEMI para generar una relación directa en el país, demuestra la necesidad que existe de mejorar la capacitación para inspeccionar apropiadamente los procesos de fabricación. Es insuficiente indicar en las especificaciones que se debe cumplir normas si los profesionales a cargo no tienen la formación necesaria para verificar su cumplimiento, o incluso los contratistas y principales talleres

nacionales, no tienen la capacidad para ejecutar los requerimientos mínimo de calidad por carecer de personal calificado y certificado.

Además de las iniciativas mencionadas de los colegios profesionales, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) publicó en el año 2016 una "Guía de normativa y consideraciones aplicables a la construcción". En esta guía se orienta de forma muy general al profesional con respecto a la normativa que se puede aplicar para el diseño y construcción de estructuras metálicas. Se indica que la normativa obligatoria es el Código Sísmico de Costa Rica y se enumeran normas utilizadas por la industria basadas principalmente en normativas estadounidenses de instituciones relacionadas con la construcción en acero: Steel Joist Institute (SJI), American Institute of Steel Construction (AISC), American Iron and Steel Institute (AISI) y la American Society of Civil Engineers (ASCE). Se mencionan recomendaciones para estructuras remachadas o atornilladas, las estructuras soldadas, el proceso de ejecución de las obras, el análisis de la corrosión de la estructura, su capacidad a la resistencia contra el fuego y el diseño con pernos y barras de anclaje. Sin embargo, la guía únicamente hace la referencia a la normativa estadounidense sin detallar ningún procedimiento de inspección o verificación de la calidad.

Adicionalmente a la guía de normativa elaborada por el CFIA, es importante señalar que el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica ha publicado varias normas entre las cuales destacan la INTE W122 "Soldadura en Puentes Vehiculares D1.5", la INTE W121 "Soldadura – Símbolos" y la INTE/ISO 9712:2014 "Requisitos para la calificación y certificación de personal en ensayos no destructivos". Es importante señalar que las normas INTECO no son de aplicación obligatoria en el país, por lo que sería necesario que se incluyeran en el Código Sísmico o en las especificaciones del proyecto para que sea obligatorio su uso.

Según se ha descrito, han existido en Costa Rica iniciativas particulares para mejorar la ejecución de proyectos que incluyen estructuras metálicas. Sin embargo, a la fecha no se cuenta con programas permanentes de capacitación para profesionales en ingeniería ni con lineamientos claros que permitan guiar al profesional en la inspección en campo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar una guía de inspección de proyectos de estructuras de acero que facilite y mejore el desempeño de los profesionales, y además, promueva el correcto uso de ensayos no destructivos en Costa Rica.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisar la normativa aplicable en Costa Rica para la inspección de estructuras de acero y contrastarla con la normativa aplicable en otros países.
- Identificar mediante encuestas y entrevistas cuales son las prácticas más comunes aplicadas en el país para realizar inspección de estructuras de acero.
- Proponer una metodología práctica para la inspección de proyectos de estructuras de acero mediante el análisis de los diferentes procesos involucrados al proyecto y el adecuado uso de ensayos no destructivos en elementos estructurales.
- Elaborar una herramienta en el programa informático Excel para facilitar la implementación de la metodología en proyectos reales en Costa Rica.

1.5. Delimitación del problema

1.5.1. Alcance

- La valoración de la práctica actual en Costa Rica se basa en la información recopilada mediante encuestas y entrevistas a profesionales en ingeniería civil con experiencia en diseño, construcción e inspección de estructuras de acero. Las respuestas de la encuesta se obtuvieron mediante una muestra voluntaria, enviando el formulario a través de la Asociación Costarricense de Ingeniería Estructural y Sísmica (ACIES), Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica (CIC) y empresas especializadas en construcción civil en acero.
- La metodología propuesta es únicamente para la inspección de estructuras acero, no se está incluyendo el análisis otros materiales como el acero inoxidable, el aluminio y otras aleaciones menos comunes en el área de la construcción.
- La metodología se presenta como una guía práctica general para la inspección de proyectos de estructuras acero como edificaciones y puentes, y se hace referencia a las

normas que correspondan para la ejecución de los ensayos no destructivos. No se incluyen obras de infraestructura con condiciones especiales, como tuberías a presión o calderas.

- Se elaboró una herramienta utilizando el programa informático Excel considerando que es un software ampliamente utilizado en aplicaciones de ingeniería, lo cual podría facilitar la implementación práctica de la metodología en proyectos reales a nivel nacional.

1.5.2.Limitaciones

- Por la coyuntura que vive actualmente el país, ocasionada por la pandemia de COVID-19, no se realizará la validación de la metodología en proyectos reales, debido al riesgo que implica y a la poca apertura por parte de las empresas para ingresar estudiantes en los proyectos.

La aplicación de la encuesta no constituye un estudio estadístico inferencial, ya que no es posible concluir que el comportamiento de la población es igual al de la muestra analizada. Esto debido, a que no existe actualmente una base de datos de los profesionales que se dediquen a realizar inspección de estructuras de acero. El objetivo principal de la aplicación de la encuesta es brindar un acercamiento a la realidad nacional mediante una muestra voluntaria enviada a través de los colegios profesionales. La encuesta se considera una guía para identificar cuáles son las áreas más deficientes en la inspección de estructuras de acero.

- Al igual que en el caso de la encuesta, las entrevistas realizadas dependen directamente de la disponibilidad de los expertos en el área. Las entrevistas incluidas son las que se lograron concretar en el plazo establecido para el desarrollo del proyecto.

1.6. Metodología

En la Figura 1 se muestra el diagrama metodológico utilizado para el desarrollo de la investigación. El diagrama está compuesto por 3 etapas diferentes, con las cuales se cumplen los objetivos específicos planteados. En las páginas siguientes se explica cada una de las etapas detalladamente.

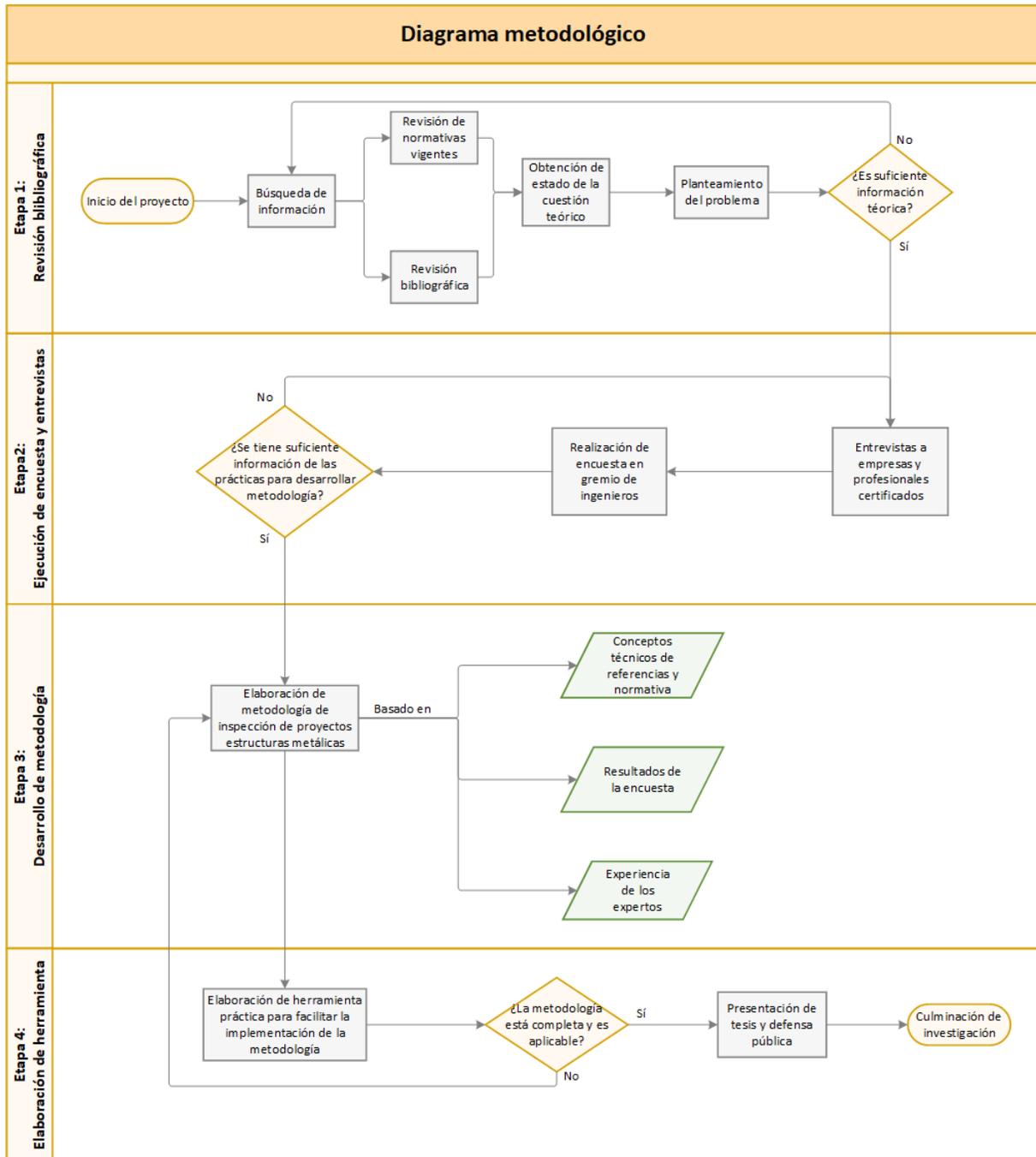


Figura 1. Diagrama metodológico

1.6.1. Etapa 1: Revisión de bibliografía

Es la etapa inicial del proyecto, en la cual se realiza una investigación exhaustiva de la información que respecta a la inspección y las características generales de las estructuras de acero. En esta fase del proyecto, se compila la información relevante con respecto a las deficiencias más comunes en las estructuras de acero, para identificar apropiadamente cuales

son los puntos más vulnerables y a los que se debe prestar mayor atención en una inspección. Además, se analizará las especificaciones obligatorias para la industria y la normativa de referencia para los diseñadores estructurales, específicamente códigos y normativas nacionales e internacionales.

1.6.2. Etapa 2: Ejecución de encuesta y entrevistas

Es necesario conocer las prácticas comunes en Costa Rica para la inspección de estructuras de acero. Es por esta razón, que se realizan entrevistas a profesionales que trabajen diariamente en campo, realizando ensayos e inspecciones. Estas entrevistas se efectuaron en las empresas especializadas en la construcción de obra civil y a los consultores que ofrecen los servicios en el área de ensayos no destructivos. Las empresas entrevistadas son ARCOM S.A y GRUPO YERIL, las cuales son especialistas en acero a nivel nacional. Además, se realizaron entrevistas a profesionales expertos en el tema, entre los cuales destacan el Ing. Kevin Porras de la empresa DICCOC, Ing. Gustavo Porras, José Mulgrave CEO de JAMSA y Senior Certified Welding Inspector de AWS. Además, se realizaron acercamientos con el INA, mediante reuniones con la encargada del módulo de capacitación de metalmecánica, Karina Oviedo.

Por otra parte, de forma paralela se realizó una encuesta electrónica dirigida a ingenieros civiles en general, sin embargo, por las disponibilidad y afinidad con la temática de la investigación, se incluyeron también profesionales del área de la metalmecánica, ingenieros en construcción y en materiales. La encuesta tiene como objetivo principal conocer cuáles son las capacidades técnicas reales de los profesionales a cargo de las inspecciones de estructuras metálicas actualmente. Esto es de suma importancia, ya que permite identificar las áreas en las que existen mayores deficiencias técnicas en el tema de la evaluación de obras de acero, y permite enfocar el diseño de la metodología en mejorar el desempeño de los inspectores.

La encuesta se diseñó de manera tal que se intenta identificar prácticas comunes, tanto las prácticas adecuadas como las que no necesariamente son correctas. Los aspectos considerados en la encuesta fueron los siguientes:

- Información general del encuestado, como años de experiencia y centro de enseñanza donde cursó sus estudios.
- Experiencia laboral del encuestado.

- Etapas en las que ha realizado inspección de estructuras: Esto se refiere directamente a si lo ha hecho en su fabricación en taller, durante el montaje de la estructura o bien, una vez que está en servicio.
- Principales herramientas utilizadas en la inspección de estructuras de acero.
- Normativa aplicable en el país, la cual brinde guía para una inspección adecuada.
- Insumos necesarios para la inspección de estructuras, tanto en taller como en campo.
- Inspección de soldaduras: Diseño de soldaduras, principales defectos hallados en la inspección, ensayos utilizados para la inspección de uniones soldadas.
- Capacitación en inspección de estructuras de acero, tanto para diseñarlas adecuadamente como para inspeccionarlas desde el punto de vista de calidad de fabricación.
- Recubrimientos: Herramientas utilizadas en la actualidad para medir espesores de pintura o bien, recubrimientos protectores contra fuego.
- Uso de tornillería de alta resistencia para uniones apernadas.
- Requisitos exigidos a soldadores para comprobar su experiencia en el área.
- Opinión personal en relación con la inspección de estructuras de acero, principales deficiencias de los profesionales y puntos de mejora aplicables para optimizar la gestión en el país.

1.6.3. Etapa 3: Desarrollo de la metodología de inspección de proyectos de estructuras de acero

Una vez obtenida toda la información necesaria, se comienza con el proceso de elaboración de la metodología de inspección, basada en normativas, en procedimientos técnicos que se hayan recopilado en la etapa inicial y en la experiencia de los expertos involucrados de la etapa de entrevistas y las encuestas.

Es la etapa más importante de la investigación, ya que es la sección del proyecto donde se unifica toda la información recolectada y se realiza una propuesta para inspeccionar y verificar todas las variables que podrían afectar directa o indirectamente la calidad de las estructuras de acero.

1.6.4.Etapa 4: Elaboración de herramienta en Excel

En la etapa final del proyecto se elaboró una herramienta de fácil uso en el software Excel, para que pueda ser utilizado en cualquier laptop o dispositivo móvil y de esta manera, incentivar y facilitar el uso de la metodología.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a las estructuras metálicas

El acero es un material que se utiliza en gran cantidad de obras de infraestructura, debido a que posee ventajas constructivas con respecto a otros materiales. Por ejemplo, presenta una gran facilidad para unir diversos miembros ya sea mediante soldadura, tornillos o remaches. Esto permite construir elementos con las dimensiones requeridas en sitio, sin tener limitaciones de espacio o de transporte como puede ocurrir con elementos de otros materiales. También ofrece una ventaja en términos de tiempo, ya que se pueden prefabricar elementos y luego solo instalarlos en el sitio de la obra. Adicionalmente, otra ventaja importante es la trabajabilidad del material, ya que se compra fácilmente en perfiles o láminas, lo cual facilita la producción en planta y la instalación de las piezas prefabricadas. Esto significa un ahorro en tiempo y recursos importante para cualquier desarrolladora de infraestructura. Además, debido a sus propiedades mecánicas, una vez colocada la pieza estructural, está lista para resistir las cargas, por lo que el avance en la obra es más significativo que si se tuviera que esperar a que ganara resistencia, como es el caso del concreto reforzado colado en obra. Finalmente, otra ventaja importante de destacar es que el acero es un material completamente reciclable.

Además de las ventajas asociadas a la reducción de tiempos en la construcción, algunas de las ventajas que se tienen al utilizar el acero como material de construcción son las siguientes (Arévalo, 2011):

- Alta resistencia: sus elementos pueden soportar cargas en tensión y compresión y normalmente los elementos son más livianos que los elementos de concreto. Esto es un beneficio debido a que las cargas permanentes en una estructura metálica son mucho menores. También al ser los elementos más livianos la capacidad requerida del equipo para movilizar los elementos estructurales puede ser menor.
- Material isotrópico: Es un material que posee uniformidad a lo largo de toda su estructura molecular. Esto implica que no importa la dirección en la que se aplique la carga, siempre conserva sus capacidades de deformabilidad y resistencia.
- Ductilidad: el acero estructural utilizado en obras civiles, presenta un comportamiento de un material dúctil. Esto significa que el material tiene capacidad de deformación amplia previo a la falla. Esta característica es de suma importancia en el diseño sismorresistente. Según la filosofía de diseño del código de diseño sismorresistente de edificaciones vigente

en Costa Rica, Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR 10 – Rev 14), se debe asegurar el comportamiento dúctil de las estructuras, para salvaguardar la vida de las personas que utilicen esa infraestructura en caso de un evento de sismo, ya que brinda a las personas tiempo para evacuar la estructura antes de que sufra un colapso, ya que la falla no será súbita.

- Durabilidad: El acero sufre de corrosión, no obstante, si se aplican los sistemas de protección adecuados y periódicamente se brinda mantenimiento a la estructura, puede perdurar por varios años sin sufrir problemas estructurales de ningún tipo.
- Trabajabilidad: Según se indicó anteriormente, el uso de elementos de acero permite realizar trabajos importantes en poco tiempo. Además, se pueden utilizar diferentes tipos de uniones, por ejemplo, mediante procesos de soldadura, pernos o remaches, las cuales pueden resultar más fácil de trabajar que otros materiales.

También es importante destacar que el acero tiene desventajas con respecto a otros materiales, como las que se citan a continuación (Arévalo, 2011):

- Costo de mantenimiento: Como se indicó anteriormente, para lograr asegurar la durabilidad de la estructura durante toda su vida útil, es necesario realizar trabajos de mantenimiento constantes, con lo que se protege la integridad de sus elementos y por lo tanto se incrementan sus años de servicio. En este caso se debe tomar en cuenta el nivel de exposición a la corrosión que tiene la estructura. Por ejemplo, en ambientes salinos, el mantenimiento debe ser más recurrente para asegurar la integridad de la estructura.
- Protección contra incendio: En caso de que ocurra un incendio en una edificación donde los elementos estructurales son de acero, existe una alta posibilidad de falla de la estructura en poco tiempo. No obstante, actualmente existen tecnologías como recubrimientos que brindan una protección a los elementos durante un periodo en específico, con el objetivo de poner a salvo a las personas y en el mejor de los casos, los bienes dentro de la edificación. Además, la protección pasiva contra incendios desde el diseño es fundamental para construir edificaciones seguras.
- Sostenibilidad: La huella de carbono generada para poder producir un kilogramo de material de acero, es mucho mayor en comparación con otros materiales de construcción. En términos de sostenibilidad e impacto ambiental, es de los materiales con mayor impacto ambiental. Sin embargo, el acero tiene la ventaja de ser 100% reciclable, por lo que sus residuos son valorizables en el mercado nacional.

Según se señaló anteriormente, el uso de elementos estructurales de acero es común para diferentes tipos de infraestructura por las ventajas que ofrece. A continuación, se presenta brevemente estadísticas de la producción de acero en Latinoamérica con el propósito de mostrar el contexto del uso de acero en la región y en Costa Rica.

2.2. El acero en cifras

Según lo analizado por la Asociación Latinoamericana del Acero (ALACERO) en su revista anual "América Latina en Cifras 2021", en el 2021, la producción y consumo de acero alcanzó 65 millones de toneladas de acero en toda la región. La afectación a la economía de la producción y consumo de acero a raíz de la pandemia de COVID-19 fue considerable. Sólo en el año 2020, el consumo de acero fue casi un 9% menos con respecto a los años anteriores. No obstante, con la llegada de la vacunación a la región, se tienen expectativas de un crecimiento positivo tanto en la producción como en el consumo.

Los principales productores de acero crudo a nivel latinoamericano son Brasil, México, Argentina, Chile y Colombia. Guatemala está en el octavo puesto en la región, siendo uno de los principales proveedores de acero en Costa Rica por la cercanía a nuestro país.

Si se comparan las cifras de la región latinoamericana con el ranking mundial de productores de acero, el mercado latinoamericano es pequeño en comparación con potencias mundiales en la producción como China (1064,8 millones de toneladas en 2020), India (100,3 millones de toneladas en 2020) y Japón (83,2 Millones de toneladas en 2020) (Asociación Latinoamericana del Acero, 2021). Además de las limitaciones por el tamaño del mercado latinoamericano, la región se ve amenazada constantemente por competencia desleal de los mercados asiáticos (Asociación Latinoamericana del Acero, 2021). A pesar de esto, se tienen altas expectativas de crecimiento durante el año 2022 y posteriores, ya que según las estadísticas se prevé un crecimiento del 29,7% en el consumo de acero en la región de Latinoamérica.

El mercado costarricense es diminuto en comparación con otros países cercanos, por lo que la oferta de materiales en Costa Rica es reducida y en la mayoría de los casos, es necesaria la importación directa desde otros países. Costa Rica no tiene producción de acero crudo, pero sí posee una pequeña producción de aceros largos. Los perfiles laminados en frío producidos en Costa Rica se utilizan para consumo interno en su totalidad. En el año 2020, a raíz de la pandemia se tuvo una baja en la producción considerable, ocasionada principalmente por la baja en la demanda y la dificultad de traer al país la materia prima desde el exterior. No

obstante, para el año 2021 se previó un crecimiento del 42% con respecto al año 2020, llegando a valores similares de la época prepandemia. (Asociación Latinoamericana del Acero, 2021)

Las cifras mencionadas por la Asociación Latinoamericana del Acero pronostican un incremento en la producción y la demanda de acero en la región. El mayor uso del material va a requerir estrictos controles en la producción y fabricación, para lo cual es fundamental que exista un proceso adecuado de inspección.

En las siguientes secciones se describen las principales generalidades de los procesos de inspección y de la planificación de la calidad. Ambos procesos son relevantes para el proyecto porque la herramienta que se desarrolló en este trabajo final de graduación busca contribuir en la mejora de los procesos de inspección y control de calidad de las construcciones con elementos de acero.

2.3. Generalidades de un proceso de inspección

Según la guía "Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings" de la American Society of Civil Engineers (ASCE), el término inspección se define como el proceso de examinar, medir, ensayar o aplicar procedimientos con el objetivo de detectar errores, defectos o cualquier tipo de deterioro en los materiales, componentes o sistemas estructurales de una edificación. El propósito de realizar evaluaciones o inspecciones en los procesos de construcción o en estructuras que ya están en servicio, pueden ser muy variados. Por ejemplo, para edificaciones ya existentes se puede evaluar aspectos como el desempeño, las condiciones de servicio, el cumplimiento de las disposiciones de los códigos y normativas actuales, la seguridad de la estructura, la durabilidad proyectada, entre otros (American Society of Civil Engineers, 2000).

La inspección de una estructura es un proceso que debe ser planificado y preparado con anterioridad. Se debe tener un conocimiento previo de datos críticos como el tipo de estructura a analizar, tipo de materiales utilizados, los planos de la estructura, entre otros. También es importante prepararse previamente para las condiciones del sitio donde se va a realizar la inspección, tanto si es en un taller de prefabricado, como lo sería en el sitio del proyecto.

Además de la información básica del proyecto, en todo proceso de inspección el inspector tiene un papel determinante y es importante destacar el perfil de una persona encargada de la

inspección de estructuras de acero. En este caso, los conocimientos técnicos son fundamentales, ya que para poder tener criterio a la hora de observar los distintos procesos de la fabricación y el montaje y saber identificar posibles defectos en los mismos, es necesario un cierto grado de experiencia y conocimientos en el área. Ahora bien, la supervisión e inspección de todos los procesos que afectan un proyecto de estructuras de acero no recae únicamente sobre el ingeniero director o encargado de obra, sino que los diferentes equipos de trabajo deben cumplir sus funciones, y el director de proyecto debe velar porque cada persona cumpla con sus obligaciones. Sin embargo, el encargado del proyecto tiene un papel directivo por ser quien coordina los demás equipos de trabajo y la adecuada ejecución del proyecto depende en gran medida de la capacidad técnica del ingeniero encargado de la obra. Según se mostrará con mayor detalle en el Capítulo 3, una de las principales carencias que se han logrado detectar a nivel nacional es que una gran cantidad de ingenieros a cargo de proyectos que incluyen estructuras de acero, no poseen los conocimientos básicos acerca de su fabricación y montaje. Se considera relevante destacar la función del ingeniero a cargo de la obra por su papel en la realización de todo proyecto y porque es a quien se considera podría ser de utilidad la herramienta desarrollada en este trabajo. Para ello es importante definir quienes son las partes interesadas en un proyecto, con el fin de poder establecer el papel que va a desempeñar desde el momento que se firma el inicio de un nuevo proyecto. Los interesados o participantes en un proyecto son muy variables, sin embargo, generalmente se tienen al menos los siguientes en el caso de un proyecto de estructuras de acero (Lledó, 2017):

- Director de proyecto: Es la persona a quien está dirigida esta metodología. En este caso, se toma como la persona que debe liderar todo el proceso de dirección de los demás equipos de trabajo, coordinar directamente con el cliente, con los proveedores y con equipos externos que fiscalizarán su trabajo. El director de proyecto trabaja para la empresa contratista.
- Cliente: Es la persona o entidad que contrata a la empresa fabricante. El cliente brinda las especificaciones y necesidades que requiere solventar, con las cuales se proponen los diseños, presupuestos y tiempos de entrega. El cliente es quien posee el capital para desarrollar las estructuras, por lo que posee un alto nivel de influencia en el proyecto y se debe procurar suplir todas las necesidades de forma oportuna y en cumplimiento con la normativa aplicable.

- Empresa fabricante o contratista: Es la entidad encargada de ejecutar todos los procesos de fabricación y montaje del proyecto contratado. La empresa, tiene responsabilidades no solo sobre el cumplimiento del proyecto, sino también sobre los equipos de trabajo, por lo que su responsabilidad no solo está relacionada a la producción sino también al bienestar de sus trabajadores, aportando condiciones dignas y apegadas a las leyes laborales para todos.
- Equipo de producción y montaje: Es el personal operativo de la empresa. Son los encargados de realizar todas las tareas de corte, armado, soldadura, limpieza y pintura, además de los procesos asociados al montaje. Son fundamentales para el éxito de los proyectos y normalmente son liderados por jefes de taller o capataces en campo.
- Gestores de calidad: Los gestores de calidad laboran directamente para la empresa contratista. Tienen la función primordial de realizar el control de calidad (QC) en todos los procesos que se describen en la metodología (Capítulo 4). Este control de calidad se realiza a nivel interno de la empresa, para asegurar que el trabajo que realizan los equipos de producción cumple con los estándares establecidos.
- Entes externos inspectores: Son empresas ajenas al contratista, que normalmente son contratados directamente por el cliente. La función de estas personas es fiscalizar que efectivamente se cumple con todos los estándares establecidos y que el producto final va a cumplir con las condiciones de servicio, durabilidad y capacidad necesarias. Su papel de aseguramiento de la calidad (QA) es primordial y propicia el buen desempeño del fabricante.
- Proveedores: Son las entidades que brindan la materia prima a la empresa fabricante para poder desarrollar todas las actividades de producción y montaje. La función del proveedor se puede volver crítica en caso de que no logre realizar las entregas en el tiempo requerido o bien, que los materiales brindados no cumplan con el estándar de calidad requerido.

Como se mencionó anteriormente, el papel del ingeniero o director del proyecto es dirigir y comunicarse con los diferentes interesados, para asegurar que cumplan adecuadamente sus funciones. Por esta razón, se considera que el director debe tener conocimientos técnicos generales de todos los procesos involucrados. La metodología propuesta pretende servir de guía al director de proyecto sobre los requerimientos mínimos a conocer para realizar una adecuada gestión.

2.4. Planificación de la calidad

Según los requisitos establecidos en la norma “ISO 9001-2015 Sistemas de gestión de calidad – requisitos”, se describe como el proceso de gestión de la calidad aquel que mantiene un comportamiento cíclico denominado PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). El ciclo PHVA definido en la norma ISO 9001:2015 es la columna vertebral de un plan de calidad implementado a un proyecto en general, y por ende, aplicable a un proyecto de construcción en acero. Se describen cada uno a continuación cada una de las acciones del ciclo PHVA:

- Planificar: Se establecen los objetivos a alcanzar y los procesos para llegar a ellos, además de definir los recursos necesarios para proporcionar resultados que cumplan con los requisitos del cliente y las políticas o especificaciones del proyecto. Además, en esta etapa del ciclo se identifican los riesgos y oportunidades que se tienen en el proyecto, además de cómo abordarlos (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2015).
- Hacer: Ejecutar lo planificado.
- Verificar: Realizar un seguimiento de los resultados obtenidos según lo planificado, además de realizar mediciones cuando sea necesario. Asimismo, se comunican los resultados obtenidos.
- Actuar: Se toman decisiones con respecto a los resultados obtenidos en búsqueda de mejora continua del proceso.

Como se señala en la guía PMBOK Guide (Project Management Institute, Inc, 2017), si se realiza una adecuada gestión de la calidad va a ser posible prevenir errores y defectos en la fabricación y montaje; se van a evitar reprocesos que impliquen incrementos en tiempo y costos y lo más importante, se logrará satisfacer al cliente, cumpliendo con todas las expectativas del producto a entregar.

Debido a las particularidades de cada proyecto, se necesita desarrollar un Plan de Calidad para el proyecto. Este plan es una excelente práctica que brindará una guía específica para realizar la inspección y establecer de forma clara los parámetros de aceptación de los diferentes procesos en común acuerdo con todos los interesados. El Plan de Calidad se hace con base a las disposiciones definidas en el contrato con el cliente, a las necesidades específicas del cliente y a la normativa que debe cumplirse para asegurar el buen funcionamiento y durabilidad de las estructuras.

El plan de calidad de un proyecto se ajusta a las características de la obra particular, pero existen algunos procesos que son generales para la mayoría de proyectos y en la siguiente sección se presenta una breve descripción de los procesos básicos.

2.5. Procesos involucrados en un proyecto de estructuras de acero

Un director de proyecto debe tener conocimientos generales sobre cada uno de los procesos que afectan directa o indirectamente la calidad de sus actividades. Esto no quiere decir que debe tener un alto nivel de experiencia en todas las áreas, pero debe conocer los fundamentos de varios conceptos técnicos con el fin de dirigir adecuadamente a todos los equipos de trabajo y, además, de brindar confianza al cliente final.

En la metodología de inspección que se propone, se definen 16 procesos esenciales en la dirección de un proyecto. Para comprender y poder inspeccionar debidamente todas las etapas de un proyecto, es necesario definir algunos conceptos fundamentales de varios procesos, para que el usuario final de la metodología propuesta conozca las generalidades y pueda ponerlas en práctica en el ejercicio profesional. Los procesos para los cuales se definirán sus generalidades en esta sección son los siguientes:

- Planos de taller y planos originales
- Transformación del acero
- Soldadura
- Limpieza de estructuras, recubrimientos y corrosión.

Cada una de las secciones se subdivide en las diferentes áreas y conceptos necesarios para la adecuada comprensión y aplicación de la metodología de inspección.

2.5.1. Planos de taller y planos originales

Los planos de un proyecto son la representación gráfica mediante líneas, esquemas, dibujos a escala y detallado de los elementos a construir en un proyecto. En estos se detallan cada una de las partes que componen la estructura, con la especificación de los materiales, dimensiones, tipo de acabado, entre otros.

Existen gran variedad de tipos de planos, no obstante, para nuestro interés solo detallaremos la diferencia entre los planos originales de un proyecto, y los planos de taller utilizados en la fabricación.

Los planos originales de un proyecto son la concepción y diseño que aporta el cliente al fabricante de la estructura de acero al inicio. Estos planos usualmente contienen toda la información general del proyecto, incluso los detalles de materiales y acabados. Con estos planos normalmente se realiza el proceso de presupuestación, ya que describen las generalidades del proyecto y permiten calcular un costo y un tiempo aproximado de fabricación e instalación.

Los planos de taller son elaborados por la empresa fabricante con el objetivo de aclarar todos los detalles a nivel de fabricación. Estos planos contienen todas las especificaciones para que el personal de armado, soldadura, limpieza y pintura ejecuten las actividades de forma ordenada y sin cometer errores. Por ejemplo en los planos de taller se especifican los detalles de cada soldadura. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la simbología de especificación de soldadura que debe aplicarse. En la figura se muestra la simbología de soldaduras que se debe cumplir tal y como se muestra en AWS A2.4 "Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination", de la American Welding Society (AWS). Es importante destacar que en Costa Rica existe la traducción de esta norma al español y fue publicada por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) en el año 2020 en la norma PN INTE W121:2020 "Soldadura, símbolos".

La ventaja de la elaboración de los planos de taller es que brindan un despiece de los elementos a fabricar, por lo que la producción se simplifica en gran medida. Los encargados simplemente van fabricando los elementos que el director de Proyecto define como prioridad. Además, con la ayuda de los Planos de taller se le brinda una codificación a cada elemento, con el fin de identificarlo en todo el proceso hasta la instalación.

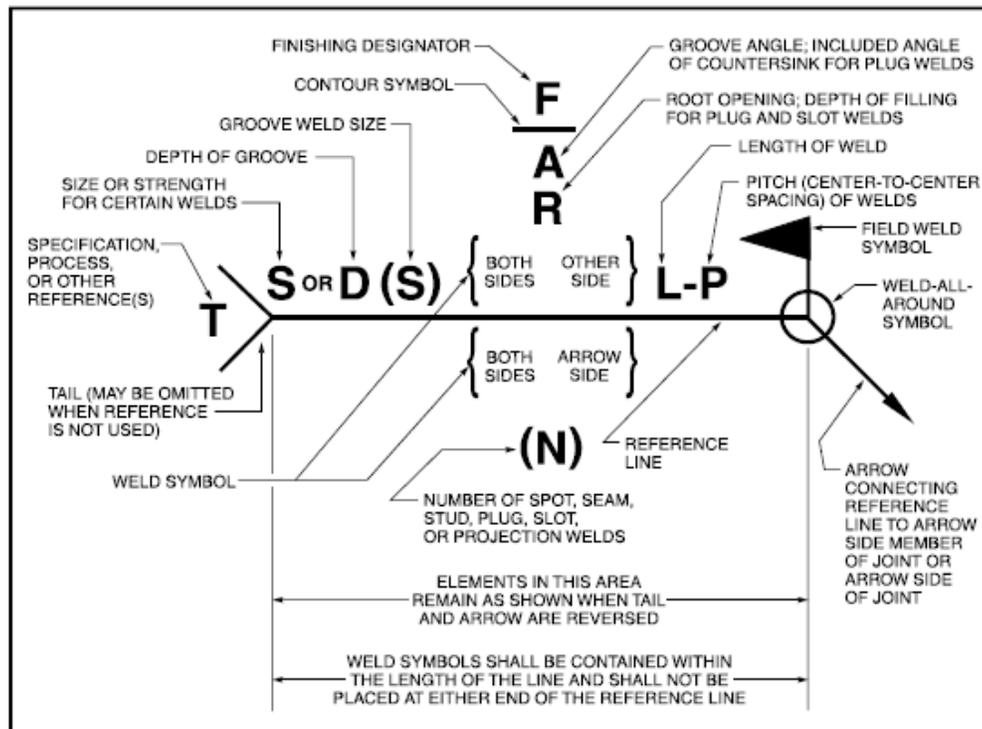


Figura 2. Simbología para especificar soldaduras en planos

Fuente: (American Welding Society, 2012)

Los planos de taller brindan una forma gráfica más clara, limpia y ordenada de ejecutar los proyectos, por lo que es altamente recomendado que la empresa fabricante invierta en este proceso. En la sección 4.2.7 de la Metodología de inspección, se analiza ampliamente los puntos básicos que deben contener estos documentos.

2.5.2. Transformación del acero

La transformación del acero se refiere a todos los procesos de maquinado a los que se puede someter los distintos perfiles de acero con el fin de fabricar piezas más complejas, o fabricar accesorios como placas de anclaje, de unión, rigidizadores, elementos roscados, entre otros.

Existe una amplia gama de procesos que se aplican al acero en Costa Rica, sin embargo, se le brindará énfasis a los que tienen mayor importancia para obras civiles, como son el corte, doblado, rolado y perforación de elementos. Es importante mencionar, que existen procesos de torneado, fresado, rectificación y maquinado de piezas mediante procesos de CNC (*Computerized Numerical Control*, por sus siglas en inglés). Estos procesos se refieren más a piezas especializadas para la mecánica de precisión, que en ocasiones es necesario utilizar para una estructura, sin embargo, solo en excepciones muy específicas.

A continuación, se muestran los principales procesos de transformación de acero que se utilizan en la industria metalmecánica de Costa Rica. En la sección 4.2.9 de la Metodología de inspección se amplía el tema y se muestran parámetros generales que deben analizarse e inspeccionarse en cada uno de los procesos descritos.

Procesos de corte

Los diferentes tipos de acero se producen en elementos largos, como perfiles, barras y tubería, o bien, en láminas. Para fabricar estructuras complejas, es necesario cortar estos perfiles o láminas en elementos más pequeños. Estos procesos de corte son variados, algunos más eficientes que otros según el elemento que se pretende cortar.

Corte mediante guillotina

Las guillotinas o cizalladora hidráulica es una de las herramientas más ampliamente utilizadas para el corte de láminas de acero en Costa Rica. Posee el beneficio de realizar cortes a gran velocidad en láminas completas de ser necesario, por lo que para la producción de placas rectas es la forma más eficiente de producción. En la Figura 3 se observa una guillotina con capacidad de cortar láminas de hasta 2,44 m de largo.

Las guillotinas son ampliamente utilizadas también en el proceso de fabricación de elementos compuestos, llamados comúnmente hechizos, como vigas W fabricadas a base de láminas (Figura 4). Con la guillotina se fabrican fácilmente las alas y almas de estos elementos.



Figura 3. Guillotina o cizalladora hidráulica

Fuente: (ACCURL Máquinas-herramienta CNC (Anhui) Co., LTD., 2022)



Figura 4. Vigas "hechizas" o armadas fabricadas a partir de lámina de acero

Fuente: El autor

La principal desventaja de esta maquinaria es que únicamente se pueden realizar cortes rectos, por lo que muchos cortes especializados no se pueden realizar.

Otra desventaja, es que existe poca oferta a nivel nacional de guillotinas que puedan realizar cortes para espesores de lámina mayores a $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm), por lo que debe hacerse uso de otras herramientas como oxicorte y plasma.

Es fundamental realizar el proceso de corte con guillotina siguiendo las normas de seguridad. La guillotina es una máquina que cada vez que baja y realiza los cortes utiliza varias toneladas de presión, por lo que fácilmente podrían generar daños graves en las extremidades de los operarios. Es muy importante utilizarlas con cuidado y capacitarse adecuadamente en los riesgos de utilizar estas máquinas.

Corte con disco abrasivo

El corte mediante discos abrasivos es uno de los más utilizados en el área de la metalmecánica en general. Es una metodología de bajo costo, con herramientas eléctricas como esmeriles y tronzadoras, las cuales son generalmente portátiles y permiten transportarlas y trabajar en campo. Son utilizadas para el corte de todo tipo de elementos, como vigas, tubería y barras. En la Figura 5 se muestra una tronzadora con disco de corte. Esta es una de las herramientas más ampliamente utilizadas en la producción de estructuras de acero.

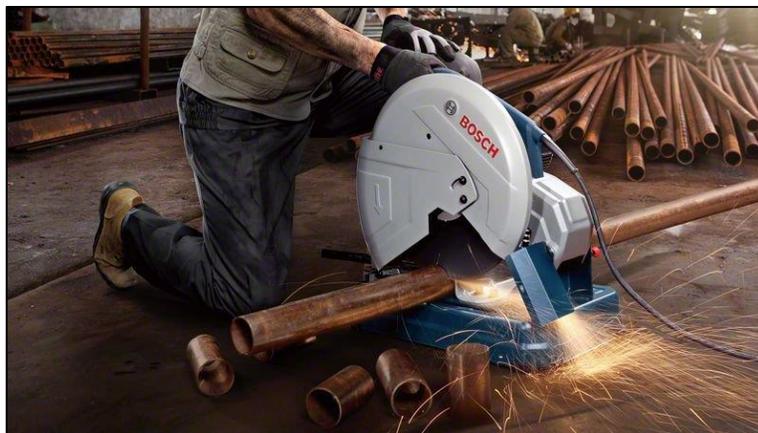


Figura 5. Corte mediante discos abrasivos

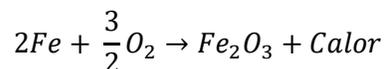
Fuente: (Bosch Power Tools GmbH, 2022)

Una de las desventajas de estas herramientas es la velocidad de corte en elementos de mayor calibre. Además, es un proceso totalmente manual y depende de la habilidad del operario para tener precisión y calidad adecuada en los cortes ejecutados.

Oxicorte

Según lo definen Argüelles & Escudero (2010), el proceso de oxicorte se define como el método de corte de metales mediante la acción de un chorro de oxígeno proyectado a presión sobre una pieza precalentada a una temperatura menor a la de fusión.

Al contrario de cómo piensa comúnmente, en el proceso de oxicorte el desplazamiento del material se da por una reacción de oxidación química al calentar el material y aplicar el oxígeno a presión, no por un derretimiento del material por la elevada temperatura. De hecho, si el material llegase a estar al punto de fusión del material base, no podría cortarse fácilmente. La ecuación química que describe el proceso se muestra a continuación:



Como se muestra en la ecuación, al aplicar oxígeno al hierro, se forma óxido de hierro, el cual resulta tener un punto de fusión mucho menor al metal base original, que es fácil de desplazar y cortar al aplicar presión de oxígeno (Argüelles & Escudero, 2010).

Para realizar el proceso de oxicorte, primeramente, se calienta la pieza mediante la aplicación de la llama sin presión. Esta llama es alimentada por dos gases, oxígeno y acetileno o gas propano. Una vez que se calienta la pieza lo suficiente, se logra observar pequeñas chispas

saliendo del material. En este momento es apropiado aplicar la presión del oxígeno y realizar el corte.

Existen diferentes variables que influyen en el proceso de corte, como el calibre del material que se va a cortar, las propiedades químicas del material, el tipo de boquilla que se utiliza en el equipo y la velocidad de corte. Además, en caso de hacer el proceso completamente manual, también influye en gran medida la habilidad del operador para realizar el proceso.

El proceso de oxicorte se puede ejecutar también de manera semiautomática mediante herramientas comúnmente denominadas "tortugas" de corte (Figura 6). Éstas consisten en un riel con una herramienta con ruedas y un motor eléctrico, los cuales mantiene una altura y velocidad de corte constantes. Esto permite un proceso más controlado y una mejor calidad de corte al evitar depender completamente de las habilidades del operador.

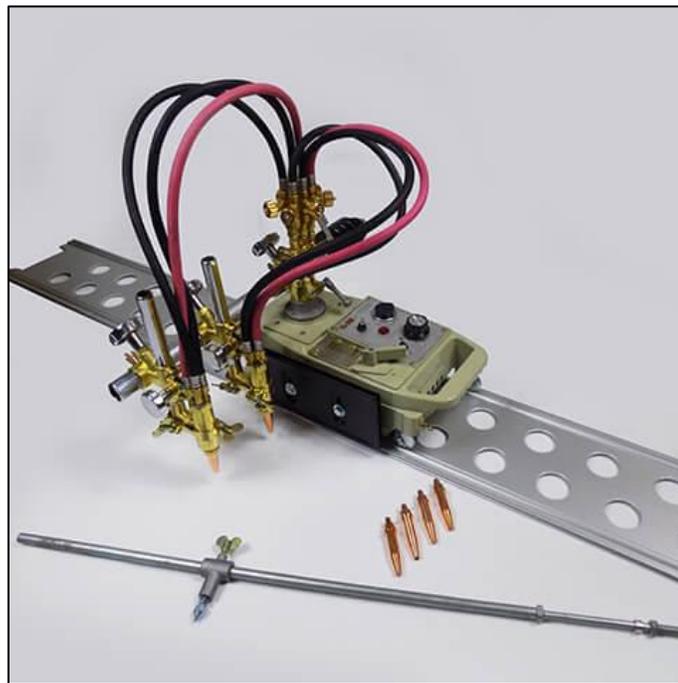


Figura 6. Proceso semiautomático de oxicorte con uso de "tortuga"

Fuente: (Tecnologías en Soldadura, 2022)

Una de las mayores ventajas del proceso de oxicorte es que no es necesario tener conexión eléctrica para aplicar el proceso. Esto lo hace valioso para cortes en campo, donde no siempre es viable tener acceso a corriente eléctrica.

Asimismo, el oxicrote puede cortar calibres muy gruesos, superior a las 4" (101,6 mm) de espesor de ser necesario con las condiciones adecuadas, por lo que es ampliamente utilizado para cortar vigas de gran espesor.

Su principal desventaja ante otras técnicas de corte es el acabado. En caso de soldar las piezas que se cortan posterior a un proceso de oxicrote, es siempre necesario realizar un proceso de limpieza profundo para eliminar los sobrantes de óxido de hierro y de hierro que quedan en la superficie del corte, ya que harían la soldadura muy irregular. Además, estos sobrantes de óxido de hierro resultan sumamente frágiles, por lo que no se podría considerar que la soldadura realizada sea dúctil.

Otra desventaja que cabe mencionares que se hace uso de gases altamente inflamables y que, en condiciones inadecuadas en un taller, pueden ser altamente explosivos. Se debe tener mucha precaución de no golpear los tanques, no someterlos a fuentes de ignición y verificar siempre que no se tengan fugas de los gases.

Corte con plasma

El corte mediante la tecnología de plasma es una de las más ampliamente utilizadas en la actualidad debido a la calidad de corte que brinda a una gran velocidad. En términos generales, el término de arco de plasma se define como un gas calentado parcialmente hasta que ionice y sea capaz de conducir la electricidad. Ahora bien, para poder realizar un corte con base al arco de plasma, se utiliza un flujo de plasma a muy altas temperaturas (de 30000 °C a 50000 °C aproximadamente), con un flujo de aire a presión para cortar los metales mediante la fusión puntual del material (Calupiña Jácome & Oña Rivas, 2012).

Cuando se inicia el corte, el flujo de plasma se dirige rápidamente hacia la pieza a cortar. El arco fluye en dirección desde la boquilla o electrodo (cátodo), y la pieza a cortar (ánodo), la cual cierra el circuito mediante la conexión de la tierra a la unidad de plasma. En la Figura 7 se muestra un diagrama del funcionamiento a nivel de la boquilla de la antorcha de plasma, donde se observan varias de las variables necesarias para ejecutar el corte, como son el electrodo, la boquilla (nozzle), el escudo frontal (Shield) y el flujo del gas protector. Este gas protector puede ser aire comprimido, nitrógeno, argón o una mezcla de estos (Calupiña Jácome & Oña Rivas, 2012).

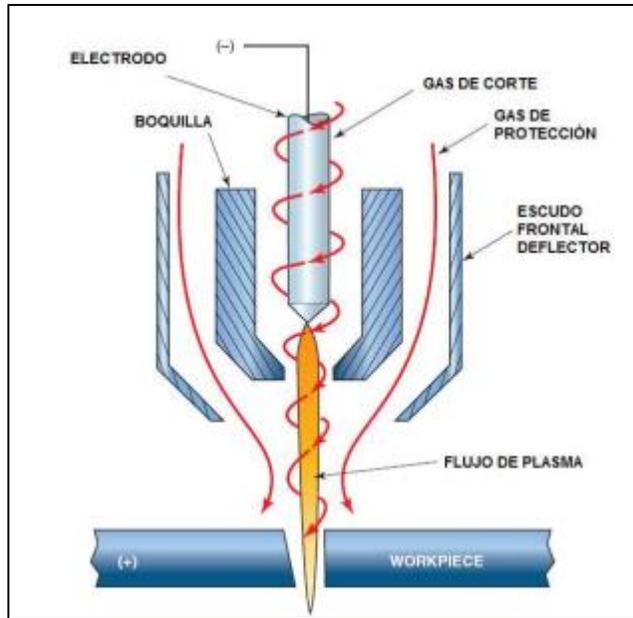


Figura 7. Diagrama de funcionamiento de boquilla de corte plasma

Fuente: (Calupiña Jácome & Oña Rivas, 2012)

El proceso de corte plasma puede realizarse tanto de forma manual como automática. El corte manual es utilizado para cortes pequeños y para realizar el biselado de piezas para posteriormente realizar el proceso de soldadura, sin embargo, no resulta tan productivo como un proceso de mecanizado mediante una mesa de corte CNC.

Las mesas de corte CNC permiten realizar diseños complejos en láminas de acero, manteniendo alturas y velocidades constantes controladas desde un computador. Esto brinda un incremento en la productividad de corte y de la calidad en comparación con procesos manuales o de oxicorte. Es usual observar que las mesas de corte tienen una cama de agua, la cual evita exceso de gases a la hora de realizar el corte, además de evitar el sobrecalentamiento de las piezas de cortadas. Adicionalmente, las mesas CNC brindan un proceso mucho más limpio para el usuario.

El corte plasma mecanizado brinda la posibilidad de cortar grandes espesores, dependiendo de la capacidad que tenga la unidad principal. Un plasma comercial regular de 45 amperios puede cortar espesores hasta de 3/8" (9,52 mm) como máximo. Sin embargo, existen plasmas más especializados y potentes, de hasta 1000 amperios que pueden cortar elementos de hasta 160 mm de espesor. En la Figura 8 se muestra una mesa de corte plasma y se muestra los diseños

diversos que se pueden fabricar, los cuales mediante un proceso manual sería realmente imposible poder fabricar.



Figura 8. Funcionamiento de corte plasma mecanizado en lámina de 1/2" (12,7 mm) de acero A36

Fuente: El autor

Proceso de doblado

El proceso de doblado de lámina es ampliamente utilizado en la fabricación de diferentes elementos, tales como:

- Angulares
- Escaleras
- Canoas y hojalatería para techos
- Fabricación de tubería hechiza
- Fabricación de perfiles especiales

Todos estos elementos son muy utilizados en la industria metalmecánica y en construcción civil y para su fabricación se utiliza equipos conocidos como dobladoras o plegadoras. Estas máquinas son muy similares a las guillotinas descritas en la sección anterior (Procesos de corte), únicamente que las dobladoras tienen unas piezas denominadas "dados". Estos dados tienen una geometría que hace que coincidan una pieza con la otra, generando una figura determinada a la hora de colocar la lámina entre ellas. En la Figura 9 se muestra ejemplos de dados.



Figura 9. Dados de dobladora de lámina

Fuente: (Editorial Nova S.A de C.V, 2022)

Como se mencionó, la lámina se coloca entre estas piezas en la posición adecuada y posteriormente la parte superior de la máquina baja, generando la figura que tengan los dados. Es un proceso simple, no obstante, se necesita gran experiencia por parte de los operadores para realizarlo bien y de forma segura. Normalmente las dobladoras trabajan con aire comprimido por un compresor y energía eléctrica, y es operada por parte del operario mediante un pedal apoyado en el suelo. En la Figura 10 se muestran ejemplos de trabajos realizados mediante una dobladora hidráulica.



Figura 10. Elementos fabricados mediante dobladora

Fuente: El autor

Se debe tener gran precisión a la hora de realizar el doblado. El material una vez doblado, no puede regresarse a su posición original, ya que se fatigaría y quebraría con facilidad en el punto de doblado.

Proceso de rolado

El proceso de rolado consiste en la aplicación de esfuerzos a una lámina o tubo, mediante 3 puntos, girando lentamente los puntos para que la pieza rote y se genere una curva en el elemento. El proceso de rolado se puede aplicar a gran cantidad de elementos, desde láminas para fabricar tubería hechiza, como a tubería redonda y cuadrada (utilizando los dados adecuados), e incluso en perfiles laminados en caliente, como vigas tipo W y otros. En la Figura 11 se muestra el proceso de rolado aplicado sobre una lámina de acero para la producción de tuberías de gran diámetro. También se muestra vigas tipo H, fabricadas mediante este proceso utilizadas como arcos para el soporte de un túnel.

En la sección 4.2.9 de la Metodología de Inspección, se muestra el proceso completo para verificar la calidad el proceso de rolado, tanto en lámina como en elementos largos como tubos y perfiles.



Figura 11. Aplicación del proceso de rolado en lámina
Fuente: (Ferrocortes S.A.S - Soluciones con el acero, 2022)



Figura 12. Vigas tipo H roladas

Fuente: (Ferrocortes S.A.S - Soluciones con el acero, 2022)

Perforación de elementos

La perforación de elementos es uno de los procesos básicos que se aplican a las estructuras de acero. Existen diferentes formas de realizar este proceso, sin embargo, los más utilizados son mediante taladros de banco, taladros magnéticos, taladros manuales y mediante una ponchadora o troquel.

Los taladros de banco consisten en una plataforma, donde se coloca el elemento a perforar y se asegura que no pueda moverse mediante prensas. Una vez que se asegura que la pieza no se puede mover, se baja el cabezal que tiene la broca giratoria y se realiza la perforación en el lugar indicado. La ventaja de este método es la precisión con la que se genera la perforación, sin embargo, resulta muy difícil colocar piezas pesadas o de gran tamaño dentro de un taladro de banco, por lo cual se recomienda utilizarlo para perforación de elementos como placas o soportes livianos.

Para la perforación de piezas grandes (por ejemplo, perforación de tubería, perfiles tipo W o elementos estructurales) se recomienda el uso de taladros magnéticos. Los taladros magnéticos son sumamente eficientes en comparación con un taladro de uso convencional, debido a que se anclan a la estructura a perforar mediante magnetismo, permitiendo al operario trabajar fácilmente sin realizar un gran esfuerzo para realizar la perforación. En la Figura 13 se muestra un taladro magnético.



Figura 13. Uso de taladro electromagnético en perforación de vigas

Fuente: (BDS Maschinen GmbH, 2020)

Otra ventaja de este tipo de taladros es que brindan un proceso semiautomático para el operario, ya que se pueden calibrar para que perforen a una velocidad constante y se eviten sobrecalentamientos y desgastes innecesarios de las brocas.

La perforación mediante el uso de ponchadora o troquel, es un proceso altamente productivo para trabajos asociados a una línea de producción repetitiva. El proceso utiliza una máquina que cuenta con una guía que ubica la placa en el lugar adecuado para realizar la perforación. Posteriormente, un punzón con el diámetro de la perforación que se necesita realizar baja, generando la perforación precisa en el lugar adecuado. Se podría comparar el proceso con las máquinas "sacabocados" para perforar papel. En la Figura 14 se muestran placas que han sido todas perforadas mediante este proceso.



Figura 14. Placas perforadas mediante ponchadora

Fuente: El autor

La gran ventaja de perforar mediante ponchadora es la velocidad y precisión con la que se realiza, sin embargo, solo sirve adecuadamente para procesos muy repetitivos, ya que, si se varía la medida de la ubicación del orificio o el diámetro, se debe estar cambiando constantemente la configuración de la máquina.

Biselado

El biselado de elementos es un proceso previo asociado a la preparación de la superficie para realizar una adecuada soldadura. Este proceso se puede ejecutar mediante 3 herramientas diferentes, obteniendo finalmente el mismo resultado, no obstante, algunas son más productivas que otras.

El proceso más común para realizar un bisel de una unión es mediante el desbaste del material con un esmeril con disco abrasivo de pulido. Es un proceso efectivo, en el cual el operario desgasta el material hasta alcanzar la geometría necesaria del bisel. No obstante, para biselar materiales de calibre mayor a 1/2" (12,7 mm) el proceso se vuelve muy lento y desgastante para el operario.

Por otra parte, especialmente en materiales gruesos, de 5/8" (15,88 mm) o superior, se puede aplicar un corte previo mediante plasma u oxicorte. De esta manera, se elimina el exceso de material del bisel y posteriormente, se limpia la unión con el esmeril para asegurar un acabado fino y que la geometría del bisel sea exacta como se indica en planos y normativa. En la Figura 15 se muestra la verificación con una galga de medición de ángulos de un bisel recién fabricado mediante el proceso de oxicorte. Es importante destacar que debido al tipo de acabado que genera el oxicorte, cuando se aplica este proceso es necesario siempre realizar la limpieza posterior, ya que el acabado no es exacto al requerido en la soldadura.



Figura 15. Verificación de ángulo de corte en biselado de lámina de 3/4" (19,05 mm) mediante oxicorte

Fuente: El autor

Finalmente, el proceso más recomendable para realizar los biseles es mediante una máquina biseladora. Estas máquinas eléctricas se anclan a la pieza mediante unas ruedas que presan firmemente el elemento a biselar, y aplican el corte en el ángulo y la velocidad adecuados para realizar el bisel. La ventaja de utilizar la esta herramienta es que es un proceso semiautomático, por lo que se asegura la geometría exacta del bisel y es altamente productiva.

Como desventaja se tiene que las biseladoras son herramientas eléctricas de alto costo. Además, las cuchillas que generan el corte del bisel deben estar afiladas o deben ser sustituidas constantemente, lo que genera mayores costos en la producción.

Roscado

En la sección 4.2.11 de la Metodología de Inspección, se explican las diferentes variables que se deben inspeccionar en pernos de anclaje y pernos de unión. El proceso de roscado de barras

es muy comúnmente utilizado para la fabricación de pernos de anclaje, los cuales se colocan dentro de los cimientos dejando fuera parte de la rosca, donde se instalarán posteriormente las columnas o elementos a instalar.

Según lo especifica el CSCR 2010 – Rev 2014, las barras permitidas para fabricar pernos de anclaje son las que cumplen con la norma ASTM F1554, no obstante, en ANSI/AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings (American Institute of Steel Construction, 2016) determina en la sección A3.4 que puede hacerse uso de las siguientes normas indicadas en el Cuadro 1 para pernos de anclaje, según el diseñador así lo determine.

Cuadro 1. Normas ASTM permitidas para la fabricación de pernos de anclaje

Normas aplicables para pernos de anclaje	
ASTM A36 / A36M	ASTM A572/A572M
ASTM A193/A193M	ASTM A449
ASTM A354	ASTM A588/A588M
ASTM F1554 (es la norma preferible de aplicar en pernos de anclaje)	

Fuente: (American Institute of Steel Construction, 2016)

En el inciso 10.1.3.1 del CSCR 2010-Rev2014 se especifica que los pernos de anclaje deben cumplir con la norma ASTM F1554, pero en su defecto es permitido utilizar los materiales permitidos por la norma ANSI/AISC 360-16 mostrado en el Cuadro 1.

En Costa Rica, es muy común el uso de la norma ASTM A193/A193M, conocida como barra B7. Estas barras se fabrican completamente roscadas, por lo que simplemente deben cortarse y colocar sus accesorios para estar listas. Esto genera mayores niveles de productividad en la fabricación, sin embargo, no tienen la misma capacidad que las barras F1554 y en algunos casos no es permitido su uso por parte de los diseñadores.

El proceso de roscado consiste en colocar la barra dentro de una máquina, que hace girar la pieza desbastando el material para fabricar la rosca. En la Figura 16 se muestra como quedan las barras después de aplicado el proceso descrito, el cual requiere de personal capacitado y una roscadora calibrada para asegurar que todos los hilos queden en la posición correcta.



Figura 16. Barras para tensores de nave industrial con extremos roscados

Fuente: El autor

Una vez que se han descrito los principales procesos de transformación del acero, a continuación, se describen brevemente algunos conceptos importantes sobre el proceso de soldadura y los métodos de preparación de superficies. Ambos temas se incluyen en la herramienta porque son relevantes para la mayoría de estructuras metálicas.

2.5.3. Soldadura

Concepto general

En términos generales, la soldadura es la unión de dos o más materiales entre sí, de tal forma que se conviertan en una sola pieza. Para nuestro caso de análisis, este material es el acero. Por lo tanto, se define que la soldadura es una coalescencia localizada, donde es producido un calentamiento a una temperatura adecuada, con o sin presión, y en la mayoría de las ocasiones con el uso de un metal de aporte para aumentar el área de la sección soldada y su penetración. (West Arco - Número uno en soldadura, 2015)

El proceso de soldadura es muy utilizado en la construcción debido a que tienen amplias ventajas sobre otros tipos de uniones: las uniones soldadas tienen una mayor rigidez, se necesita una menor cantidad de acero en las uniones (no es necesario el uso de placas de unión), se permite una mayor limpieza en la unión y es mucho más fácil de aplicar en estructuras ya existentes (Dias, 2020).

Una de las desventajas de aplicar un proceso de soldadura es la dificultad para soldar en algunas posiciones, además de que la inspección de la calidad debe ser realizada por personal certificado y experto, lo que podría elevar los costos del proyecto. Además, si en algún momento se necesita realizar el desmontaje de una estructura que está soldada, es considerablemente más complejo que una estructura atornillada. En estos aspectos los procesos como el apernado resultan más favorables.

Como se analizará posteriormente en la sección 4.2.10 de la Metodología de Inspección, la soldadura es un proceso donde intervienen muchas variables que deben ser inspeccionadas. Por esta razón, es necesario que el inspector tenga conocimientos generales sobre el proceso para que pueda tener un criterio técnico acertado y fundamentado en cuanto a las decisiones en los procedimientos.

En la presente sección, se definirán y ejemplificarán conceptos básicos y generales acerca del proceso de soldadura, que sirvan como una base técnica para que el inspector pueda realizar una inspección utilizando la herramienta desarrollada y pueda dirigir a los equipos más especializados en el área. Es esencial tener un conocimiento básico para poder tomar decisiones con criterio técnico y fundamentado.

Seguridad ocupacional

En la sección 4.2.6 de la Metodología de Inspección, se describe en detalle el equipo de seguridad que debe portar un soldador para realizar la aplicación. En esta sección se incluye una breve descripción general, ya que la seguridad ocupacional es un aspecto fundamental en la ejecución de todo proceso de soldadura. La aplicación e inspección de la soldadura debe realizarse de forma segura y responsable. Durante la aplicación de la soldadura se corre el riesgo de recibir descargas eléctricas y de sufrir quemaduras graves en caso de no contar con la protección adecuada.

En la Figura 17, se muestra el equipo básico de protección que debe tener un soldador. Se debe destacar que la mascarilla contra gases debe ser especial para trabajos de soldadura, además, los zapatos de seguridad deben ser aislantes, para prevenir descargas eléctricas.

Es importante que tanto el soldador como el encargado conozcan bien el equipo de seguridad requerido y deben saber cómo debe colocarse correctamente y asegurar que sea utilizado siempre en las tareas a ejecutar. El asegurar que se cumplan las medidas de seguridad es una responsabilidad compartida con varios equipos de trabajo, no obstante, el ingeniero o persona a cargo del proyecto debe ser estricto y tomar las medidas correspondientes en caso de que no se acaten las medidas de seguridad, tanto en taller como en campo.



Figura 17. EPP básico para un soldador

Fuente: (Revista Constructivo, 2019)

Tipos de soldadura

En esta sección se mencionará las principales características de los principales tipos de soldadura utilizados en la industria de la metalmecánica, especialmente los tipos utilizados en la construcción de estructuras de acero.

Shield Metal Arc Welding (SMAW): Es el procedimiento más utilizado por los fabricantes de estructuras de acero, ya que es la técnica más accesible de todas y la más conocida. La coalescencia en este proceso es obtenida por el calentamiento producido por un arco eléctrico generado entre un electrodo revestido y el metal base (ver Figura 18). La protección de la

soldadura al momento de la aplicación es obtenida por la descomposición de los componentes presentes en el recubrimiento del electrodo. El interior del electrodo es el metal de aporte a la soldadura, con la que aumenta la penetración y la sección transversal de la costura. (West Arco - Número uno en soldadura, 2015)



Figura 18. Aplicación de proceso de soldadura SMAW

Fuente: (ESAB, 2020)

Debido a que en este proceso se utilizan electrodos con revestimientos, una vez finalizada la costura debe retirarse la escoria o residuo que queda sobre la soldadura.

Al aplicar la soldadura SMAW se debe tener muy clara la designación y tipo de electrodos disponibles, además del significado de las siglas que caracterizan a cada uno de ellos. En la Figura 19 se muestra un ejemplo de la identificación que tienen todos los electrodos revestidos.



Figura 19. Ejemplo de identificación de electrodos revestidos mediante su nomenclatura

Fuente: (Revista TYT, 2016)

En la Figura 20 se muestra la información que debe indicarse en el electrodo según las especificaciones de AWS.

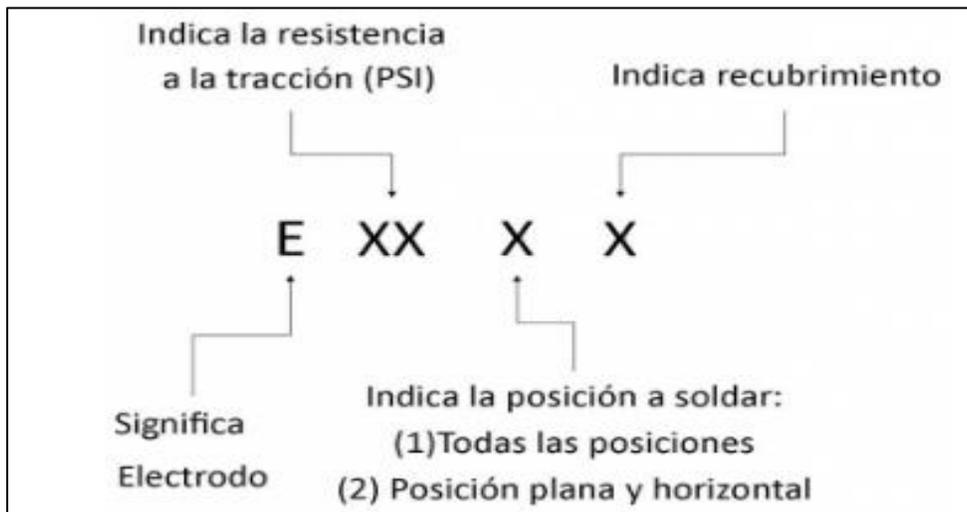


Figura 20. Clasificación de los electrodos según normativa AWS

Fuente: (Herrera, 2016)

Gas Metal Arc Welding (GMAW): El proceso de soldadura GMAW, más conocido como MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas), es otro proceso ampliamente utilizado en la fabricación de estructuras de acero. Este es un método que se utiliza mucho más en talleres y ambientes controlados, debido a que para su aplicación se aplica una protección gaseosa en el punto donde se ejecuta la soldadura, por lo que trabajar en exteriores con viento es más difícil.

En términos generales, la soldadura GMAW se aplica mediante una máquina eléctrica que genera un arco cuando entran en contacto el alambre o metal de aporte y la pieza de metal base. Este alambre sólido forma la soldadura, la cual no contiene ningún tipo de revestimiento como lo es en el caso de los electrodos revestidos; por lo que es necesario que cuando se aplique la soldadura y esté activo el arco exista un recubrimiento de un gas protector. Usualmente se utiliza dióxido de carbono (CO_2), argón, o una mezcla de ambos.

Es un proceso muy efectivo en condiciones controladas, debido a que aumenta la productividad de la soldadura de elementos y brinda excelentes acabados siempre y cuando sea bien aplicado. Además, se pueden realizar costuras más largas sin la necesidad de detenerse a colocar otro electrodo, ya que las máquinas de soldar de tipo GMAW proveen el metal de aporte de forma continua mientras se ejecuta el proceso. En la Figura 21 se muestra la aplicación de soldadura mediante este proceso y en la Figura 22 se muestra un rollo de alambre sólido como se compra en cualquier proveedor.



Figura 21. Soldador aplicando proceso GMAW en apuntalamiento de estructura liviana

Fuente: El autor



Figura 22. Rollo de soldadura de alambre sólido para soldadura tipo GMAW (MIG/MAG)

Fuente: (MetríaTools, 2022)

Es importante destacar que el proceso de GMAW es mucho más limpio que el FCAW o el SMAW. Esto debido a que el aporte es un alambre sólido y una vez finalizada la soldadura no es necesaria la remoción de escoria.

Flux Core Arc Welding (FCAW): El proceso de aplicación de soldadura FCAW es similar al proceso de GMAW. De hecho, es posible realizar la aplicación mediante las mismas máquinas, cambiando algunos detalles menores para evitar problemas en la antorcha. La mayor diferencia entre una técnica y la otra, es el material de aporte que se utiliza.

En FCAW el alambre o material de aporte, en vez de ser un alambre sólido, es un alambre tubular, que contiene su propia protección a la hora de ser aplicado, por lo que no es necesario el uso de la protección gaseosa como en el proceso GMAW. Esto facilita trabajar en exteriores y mantener el mismo nivel de productividad que en los talleres.

Por otra parte, como el mismo material de aporte contiene el revestimiento de protección, similar a los electrodos revestidos, es necesario retirar la escoria una vez finalizada la costura de soldadura.

El proceso de FCAW es uno de los más aplicados actualmente en conjunto con el SMAW y el GMAW, debido a la velocidad de aplicación, lo que mejora la productividad de los soldadores.

Además, se mantiene una gran calidad de aplicación y se controla mejor el cumplimiento de todos los parámetros solicitados.

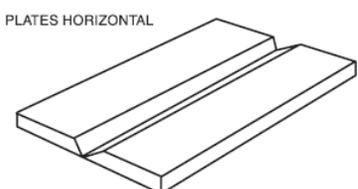
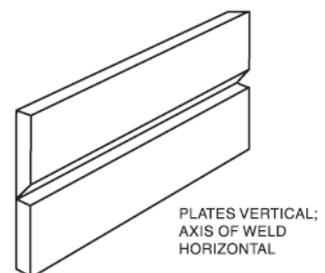
Posiciones de soldado

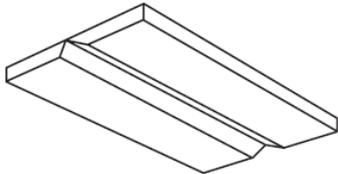
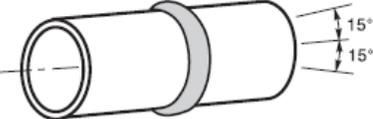
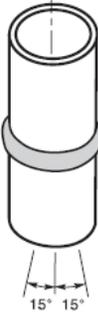
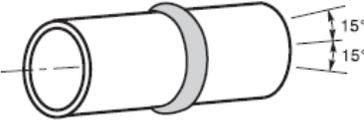
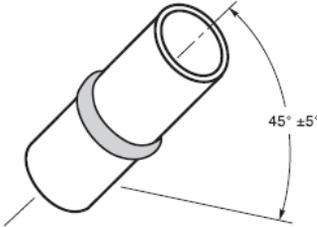
Las posiciones en las que se aplican las soldaduras son muy importantes de definir y asegurar que el soldador que las va a aplicar tiene la capacidad para realizar ese proceso. Las diferentes posiciones se asocian directamente al tipo de certificación que debe poseer un soldador (WPQ), al tipo de soldadura que se aplica y también, al electrodo o alambre que está utilizando. Por ejemplo, los electrodos tipo 2, solo pueden aplicarse en posición plana y horizontal.

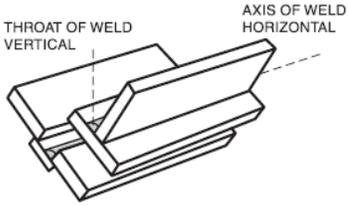
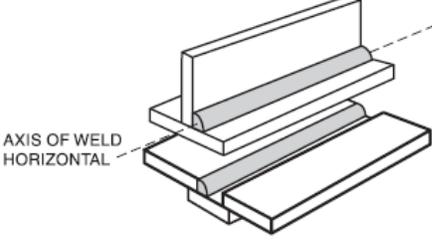
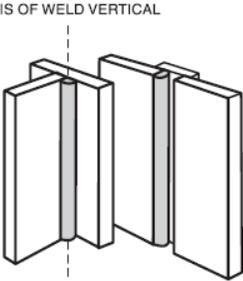
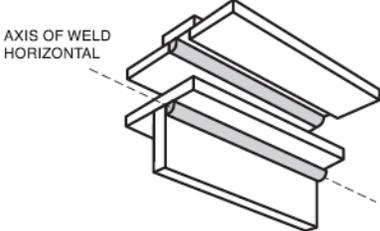
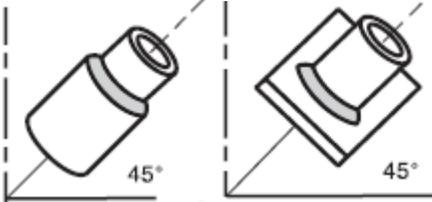
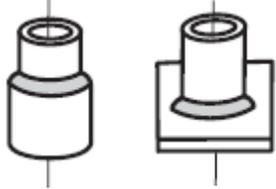
En el Cuadro 2 se muestran las posiciones para realizar una soldadura y su código o clasificación. También se agregan diagramas de la posición en la que se realizaría la soldadura incluidos en AWS-D1.1-2010 (American Welding Society, 2010) con el fin de ejemplificar gráficamente la posición de aplicación. Las principales posiciones son: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

Es importante mencionar que la clasificación mostrada en la segunda columna del Cuadro 2 indica el nivel de complejidad de la aplicación de la soldadura. Entre mayor sea su número, mayor complejidad se tendrá. Bajo este concepto, la posición 6G, 4F (placas) y 5F (Tubería), con las más difíciles de aplicar.

Cuadro 2. Posiciones de soldadura y su clasificación

Posición	Clasificación	Diagrama
Plana	1G	
Horizontal	2G	

Posición	Clasificación	Diagrama
Vertical	3G	 <p data-bbox="1073 281 1208 331">PLATES VERTICAL; AXIS OF WELD VERTICAL</p>
Sobre cabeza	4G	<p data-bbox="940 560 1089 575">PLATES HORIZONTAL</p> 
Plana	1G (En tubería, rotando el tubo)	 <p data-bbox="1084 856 1398 919">PIPE HORIZONTAL AND ROTATED. WELD FLAT ($\pm 15^\circ$). DEPOSIT FILLER METAL AT OR NEAR THE TOP.</p>
Horizontal	2G (En tubería, sin rotación)	 <p data-bbox="956 1249 1263 1312">PIPE OR TUBE VERTICAL AND NOT ROTATED DURING WELDING. WELD HORIZONTAL ($\pm 15^\circ$).</p>
Plana, vertical y sobre cabeza	5G (En tubería, sin rotación)	
Posición múltiple	6G (En tubería, sin rotación)	

Posición	Clasificación	Diagrama
Plana	1F	
Horizontal	2F	 <p data-bbox="906 751 1175 777">Note: One plate must be horizontal.</p>
Vertical	3F	
Sobre cabeza	4F	
Plana	1F (En tubería, con rotación del tubo)	
Horizontal	2F (En tubería, sin rotación)	

Posición	Clasificación	Diagrama
Horizontal	3F (En tubería, con rotación)	
Sobre cabeza	4F (En tubería, sin rotación)	
Posiciones múltiples	5F (Sin rotación)	

Fuente: (American Welding Society, 2010)

El encargado de la inspección debe verificar que el personal y equipo a utilizar cumplen con los parámetros para la adecuada aplicación del proceso de soldadura especificado para el proyecto particular.

Preparación y tipos de uniones

La inspección de la preparación de los bordes y las superficies a soldar es importante porque la limpieza, regularidad de los elementos y especialmente, respetar la geometría y espaciamiento entre los biseles son el primer paso para aplicar una soldadura correctamente.

Existen muchos tipos de uniones en soldadura, no obstante, se pueden englobar en varios tipos generales, como se muestra en la Figura 23. Es importante que el profesional inspector conozca estos tipos de unión, ya que la preparación de las superficies es distinta en cada una de ellas.

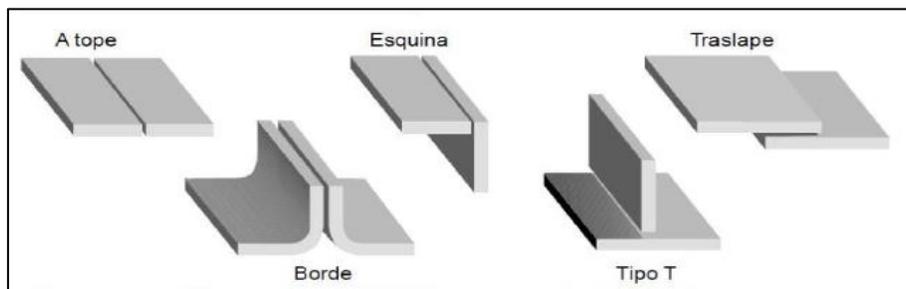


Figura 23. Tipos de uniones más comunes en soldadura

Fuente: (Díaz del Castillo Rodríguez, 2018)

También es importante resaltar el tipo de junta tipo tapón (izquierda en Figura 24), y tipo ranura (derecha en Figura 24). Estas son muy utilizadas cuando el espacio es reducido para aplicar las que se muestran en la Figura 23 o bien, realizar algún tipo de reforzamiento en la unión.

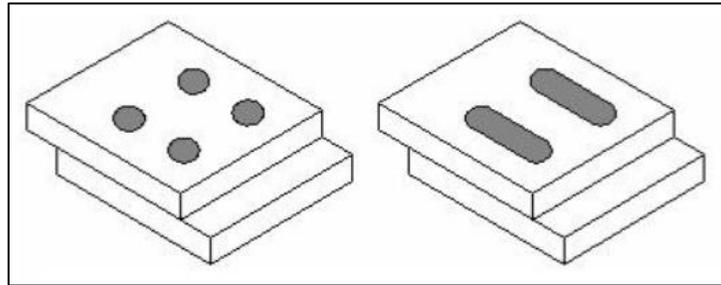


Figura 24. Soldaduras de tipo tapón y ranurado

Fuente: (Díaz del Castillo Rodríguez, 2018)

Por otra parte, en el caso de las uniones a tope que se muestran en la Figura 23, normalmente son juntas de penetración completa (CJP). Esto quiere decir que se debe asegurar la penetración total en todo el espesor del material a soldar y para alcanzar esto, deben elaborarse biseles en uno o ambos elementos. En la Figura 25 se muestran las configuraciones de biselado más comunes para uniones a tope.

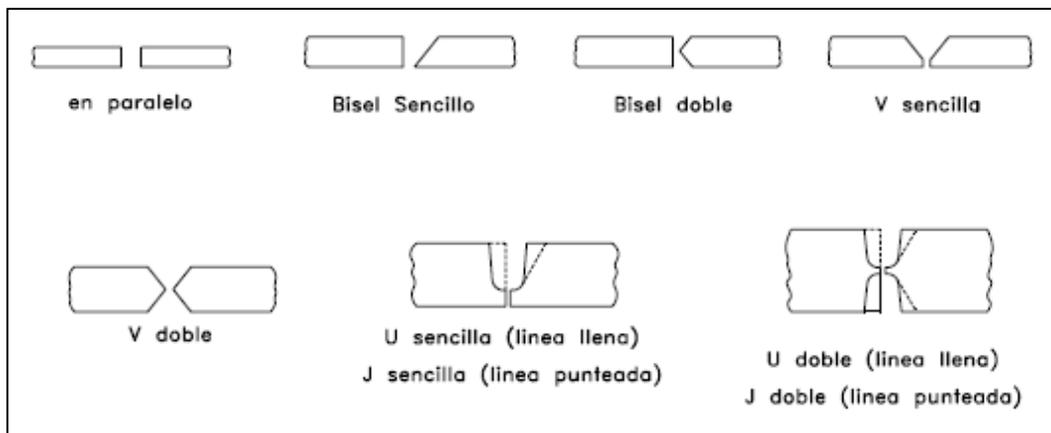


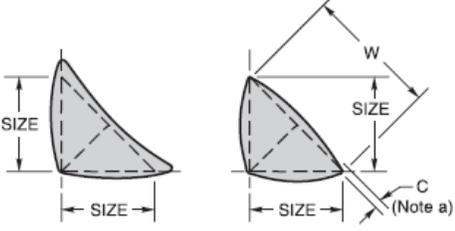
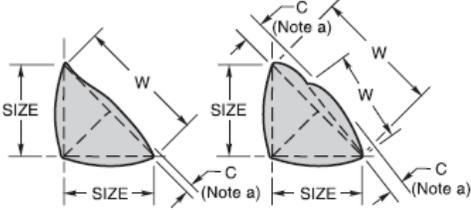
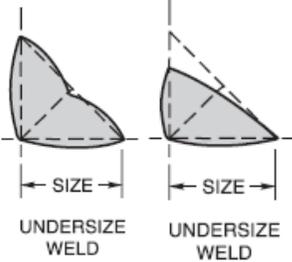
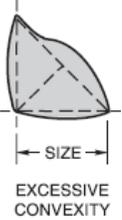
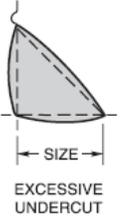
Figura 25. Configuraciones de biselado en uniones a tope

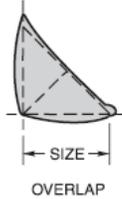
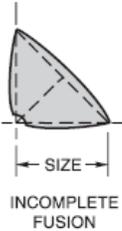
Fuente: (Díaz del Castillo Rodríguez, 2018)

En el caso de las uniones de tipo T o filete, no es necesaria la elaboración de biselado, ya que no son CJP. Sin embargo, debe asegurarse que la garganta efectiva sea la adecuada, además de cumplir con la geometría correcta según lo especifica AWS la sección 5 del D1.1 Structural Welding Code – Steel. En el Cuadro 3 se muestran las secciones transversales de las soldaduras

que AWS considera aceptables para uniones de tipo filete, así como las que no serían aceptables al realizar la inspección.

Cuadro 3. Secciones de soldadura aceptables y no aceptables para uniones de tipo filete

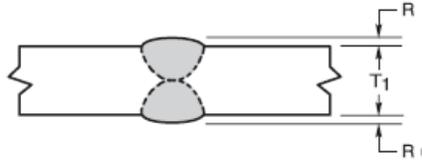
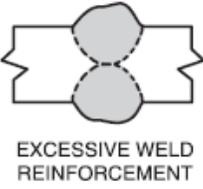
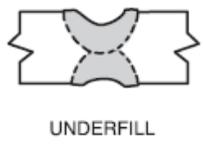
Tipo de unión	Descripción	Diagrama / Imagen
Unión en T o Filete	Perfil deseable	
Unión en T o Filete	Perfil aceptable	
Unión en T o Filete	Perfil inaceptable (No cumple con el tamaño especificado)	
Unión en T o Filete	Perfil inaceptable (Convexidad excesiva)	
Unión en T o Filete	Perfil inaceptable (socavación excesiva)	

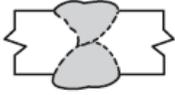
Tipo de unión	Descripción	Diagrama / Imagen
Unión en T o Filete	Perfil inaceptable (superposición de soldadura)	
Unión en T o Filete	Perfil inaceptable (falta de penetración o falta de fusión)	

Fuente: (American Welding Society, 2010)

En el caso de las uniones a tope, las secciones aceptables se muestran en el Cuadro 4. Es importante destacar, que las uniones no siempre son de materiales del mismo calibre, caso que se muestra claramente en el cuadro.

Cuadro 4. Secciones aceptables y no aceptables en uniones a tope

Tipo de unión	Descripción	Diagrama / Imagen
Junta a tope	Perfil aceptable en láminas de mismo espesor	
Junta a tope	Perfil aceptable en láminas de distinto espesor	
Junta a tope	Perfil inaceptable (Exceso de reforzamiento en soldadura)	
Junta a tope	Perfil inaceptable (Falta de reforzamiento en soldadura)	

Tipo de unión	Descripción	Diagrama / Imagen
Junta a tope	Perfil inaceptable (Socavación excesiva)	 <p>EXCESSIVE UNDERCUT</p>
Junta a tope	Perfil inaceptable (Superposición de soldadura)	 <p>OVERLAP</p>

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Perforaciones de acceso

Cuando se desea realizar una CJP de una viga a una columna, o bien, a algún otro elemento, deben realizarse perforaciones de acceso, con el objetivo de asegurar que las soldaduras tengan la penetración completa. Para esto, se realiza un corte y se retira una pequeña sección del alma, justamente donde toca el ala. De esta forma, se asegura que la junta sea de penetración completa sin tener la sección de alma que no permitiría continuidad en la junta. En la Figura 26 se muestra una unión donde se combina el uso de pernos con soldaduras de penetración completa en las alas.

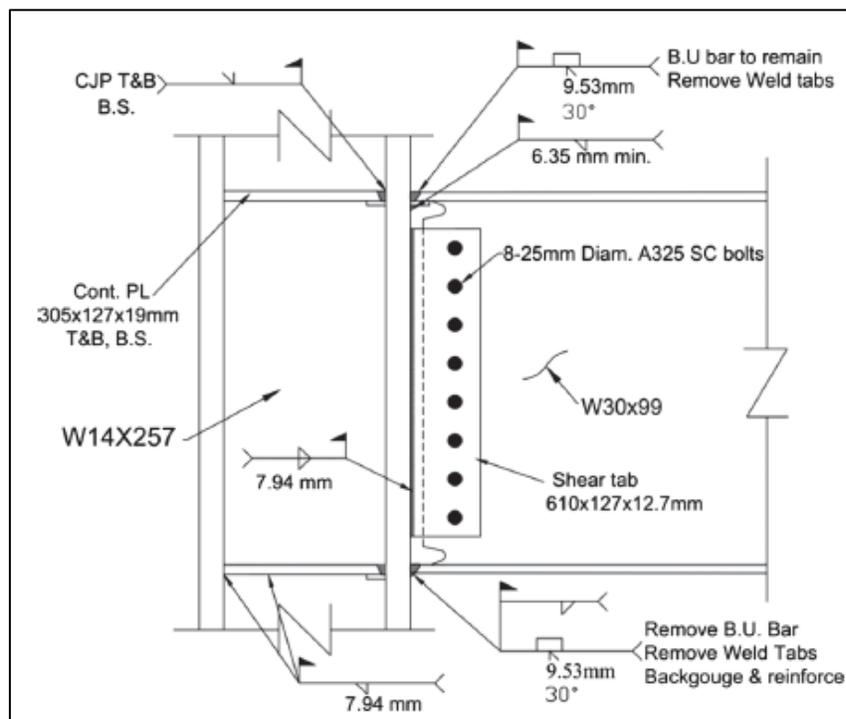


Figura 26. Detalle típico de perforación de acceso en unión Viga – columna.

Fuente: (Leigh Morrison, Quinn Schweizer, & Hassan, 2016)

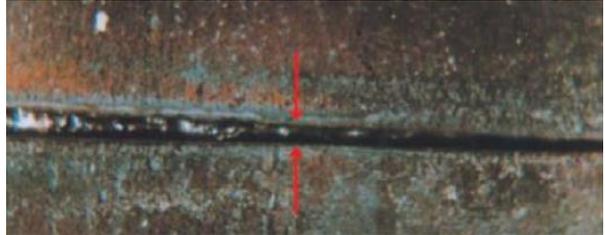
Según lo especificado en el CSCR 2010 – Rev 2014, las perforaciones de acceso deben cumplir con lo especificado en D1.8 Structural Welding Code – Seismic Supplement de AWS.

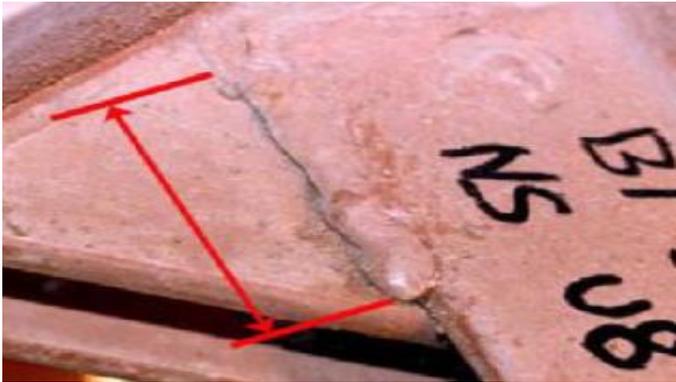
Defectos más comunes hallados en soldaduras

La inspección visual de soldaduras es el primer proceso que se aplica para identificar posibles defectos. Normalmente hay errores o daños muy evidentes, los cuales incluso el ojo inexperto podría identificar. Sin embargo, hay defectos que no son tan fáciles de identificar y que necesitan corregirse y requieren que se utilicen otras herramientas de inspección, como pueden ser los ensayos no destructivos (END)

En el Cuadro 5, se muestran los defectos más comunes hallados en soldadura mediante una inspección visual indicados en AWS B1.11M/B1.11:2015 Guide for Visual Examination of Welds (American Welding Society, 2015).

Cuadro 5. Defectos más comúnmente hallados en soldaduras mediante inspección visual

Defecto	Imagen
Porosidad	
Fusión incompleta	
Penetración incompleta	

Defecto	Imagen
Socavación del material base	
Relleno insuficiente	
Sobreposición de soldadura	
Agrietamientos	
Inclusiones metálicas y no metálicas	

Defecto	Imagen
Salpicaduras excesivas	

Fuente: (American Welding Society, 2015)

2.5.4. Limpieza, recubrimientos y corrosión

La corrosión es una de las principales desventajas que tiene el uso del acero como material de construcción. En el caso que no se aplique un proceso adecuado para el nivel de exposición y se le brinde el mantenimiento a la estructura, la oxidación de elementos estructurales puede conllevar a graves daños e incluso, a la falla a largo plazo de la estructura de acero.

Para inspeccionar adecuadamente los materiales base y el proceso de aplicación del sistema de protección de la estructura, es necesario conocer las generalidades de los pasos a seguir y conceptos técnicos básicos en el proceso de protección de estructuras de acero mediante recubrimientos. Algunos puntos clave de la inspección de recubrimientos son: Conceptos generales de la corrosión, preparación de superficies, tipos de recubrimientos, formas de aplicación e instrumentos básicos de medición.

Conceptos generales de la corrosión

La corrosión es un fenómeno natural que ocurre a lo largo del tiempo en los metales. Es una reacción electroquímica con el ambiente, por lo que es necesario que el material interactúe con ciertos factores específicos para que el fenómeno se lleve a cabo. En el caso del acero la corrosión es la tendencia del material a volver a su forma química más estable. El acero es una combinación de hierro y otros elementos para lograr una mayor dureza y capacidad estructural, que además puede moldearse en las formas que se necesitan en las estructuras, sin embargo, es inestable y no es el estado natural de los elementos que le componen. (NACE Internacional, 2011)

Para que se dé el fenómeno de la corrosión, es necesario que existan 4 elementos principales: Ánodo, cátodo, conductor y un electrolito. (NACE Internacional, 2011)

- **Ánodo:** Es la parte del material que se corroe, se disuelve en el electrolito en forma de iones positivos.
- **Cátodo:** Es la parte de la celda menos activa de la placa metálica (electrodo) y es positivo con respecto al ánodo.
- **Conductor:** Es el material que funciona como puente entre el ánodo y el cátodo.
- **Electrolito:** Solución líquida que es capaz de conducir la electricidad.

Si se analizan estos componentes, una placa metálica sin protección posee 3 de estas variables necesarias para iniciar el proceso de oxidación (ánodo, cátodo y conductor). Únicamente es necesario aplicar un electrolito para iniciar la reacción. Esta es la razón por la que se aplican recubrimientos, los cuales evitan que el material entre en contacto con electrolitos que inicien el proceso de corrosión.

La corrosión genera problemas tanto a nivel de la apariencia del material, como a nivel de la capacidad estructural por la pérdida de sección transversal en los elementos dañados. Por esta razón, es fundamental proteger los materiales y evitar que la oxidación pueda llegar a dañar la estructura.

Al analizar el material crudo, es decir, cuando no se le ha realizado ningún proceso de limpieza, la persona encargada de la inspección debe analizar las condiciones en las que se encuentra el material para evaluar qué tipo de limpieza va a ser necesaria. Según la normativa ISO 8501-1 "Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados", se especifican 4 niveles de corrosión en los que se puede encontrar un material, los cuales se muestran en el Cuadro 6 a continuación.

Cuadro 6. Grados de corrosión del acero según norma ISO 8501-1

Grado de corrosión	Características de identificación	Imagen de referencia Fuente: (INGEPINT, 2019)
Grado A	Chapa de laminación intacta, prácticamente sin indicios de corrosión en la superficie del material.	

Grado de corrosión	Características de identificación	Imagen de referencia Fuente: (INGEPINT, 2019)
Grado B	Principios de corrosión aislados y puntuales. Se logra observar áreas donde aún queda chapa de laminación adherida al material	
Grado C	Sin chapa de laminación. La corrosión es superficial, se puede retirar fácilmente mediante herramienta manual o mecánica.	
Grado D	Sin chapa de laminación y con cavitación de la superficie, hay pérdida de sección debido al alto nivel de oxidación.	

Fuente: (International Organization for Standardization, 2008)

Además, de identificar el grado de corrosión que posee el material, también es importante determinar el tipo de corrosión que se está llevando a cabo. Algunos de los más comunes se detallan a continuación (NACE Internacional, 2011):

- Oxidación superficial: Se da en la superficie del material y se presenta como manchas que van empeorando progresivamente con el tiempo. En materiales que ya poseen un recubrimiento se conoce como "blush rusting" y en material crudo como llama "flash rusting".
- Oxidación galvánica: Para este tipo de oxidación, es necesario que exista el contacto de dos metales diferentes. Los metales tienen diferentes grados de oxidación, por lo que los más activos se corroen primero que los menos activos. Es por esto, que se conoce como "oxidación de sacrificio", ya que un material se corroe para proteger el otro. Es común ver que en ocasiones un tornillo o un remache se corroen primero que

el resto del material. Este es el principio básico de los recubrimientos por inmersión, como el galvanizado de elementos.

- Por agrietamiento: Se da cuando la protección aplicada sufre agrietamientos, los cuales permiten el ingreso del electrolito y se completa así el esquema para iniciar el proceso de corrosión. Además, la humedad queda atrapada en las grietas y se acelera el proceso.
- Oxidación en forma de picadura: Ocurre cuando las fuerzas de corrosión están concentradas en un área pequeña y la pérdida de sección se concentra dentro de la pieza y no a nivel superficial. Se generan picaduras en el material y es conocida como "pitting".

Con base a la información que recolecta el inspector se toman decisiones para analizar cuál es el mejor método de limpieza o incluso, de reparación del material a utilizar. En casos en donde el nivel de oxidación es demasiado elevado y se ha sufrido pérdida de material, se recomienda no aceptar el material y reemplazarlo por material en buenas condiciones.

Preparación de superficie

La preparación de la superficie es el proceso más importante previo a la aplicación de recubrimientos. Existen muchas formas de realizar la limpieza, algunas más rápidas y eficientes, pero de mayor costo económico. Los procesos más comunes son el uso de herramientas manuales, como lijas y cepillos; las herramientas eléctricas, como los cepillos eléctricos y las lijadoras eléctricas y el proceso de arenado o "sandblasting", el cual implica menor tiempo, pero es de mayor costo que los anteriores.

Es importante destacar, que el concepto de "perfil de anclaje" y "grado de limpieza", no son lo mismo. Normalmente en el proceso de limpieza se tienden a confundir los conceptos, y puede llegar a ser grave en caso de que no se corrijan y se prepare la superficie conforme con los valores adecuados de ambas variables.

El perfil de anclaje se refiere directamente al nivel de rugosidad que posee la superficie para que un producto específico tenga la adherencia suficiente y el sistema funcione adecuadamente. Además, el perfil de anclaje se mide igual que los espesores de película de pintura mediante instrumentos de medición que brindan los datos en micras o mills.

Por otra parte, el nivel de limpieza que posee el material se refiere más a su estética y calidad en la superficie. Algunos procesos de limpieza pueden abrir un perfil de anclaje mayor que otros, por lo que debe aplicarse el nivel adecuado previo a la aplicación de la pintura. En el Cuadro 7 se resumen los diferentes niveles de limpieza según la clasificación de la Society for Protective Coatings (SSPC) y la metodología a aplicar para llegar a cada uno de ellos. La SSPC es una asociación estadounidense especializada en los sistemas de protección contra la corrosión. Las siglas se derivan del nombre original de la asociación, Steel Structures Painting Council, y las normas de esta asociación se utilizan frecuentemente como referencia internacionalmente.

Cuadro 7. Normas SSPC sobre grado de limpieza en superficies de acero

Norma SSPC	Tipo de limpieza	Herramienta aplicada o acabado
SSPC-SP1	Limpieza mediante solventes	-
SSPC-SP2	Limpieza con herramientas manuales	Cepillos, lijas, etc.
SSPC-SP3	Limpieza con herramienta eléctrica	Herramienta eléctrica o neumática
SSPC-SP4	Limpieza de acero a la llama	-
SSPC-SP5	Limpieza con chorro abrasivo a metal blanco	Equipo de sandblasting
SSPC-SP6	Limpieza con chorro abrasivo a grado comercial	Equipo de sandblasting
SSPC-SP7	Limpieza con chorro abrasivo a granallado ligero	Equipo de sandblasting
SSPC-SP8	Limpieza mediante químicos o ácidos	-
SSPC-SP10	Limpieza con chorro abrasivo a metal casi blanco	Equipo de sandblasting
SSPC-SP11	Limpieza manual con herramientas mecánicas a metal blanco	Herramienta eléctrica o neumática
SSPC-SP12	Limpieza con agua a presión	Equipo de agua a presión

Fuente: (MontiPower, 2020)

Tipos de recubrimientos

Cuando se habla de recubrimientos, mayoritariamente se entiende que es el uso de pinturas industriales sobre las estructuras de acero. Con la mayoría de pinturas lo que se busca es proteger el acero de las sustancias electrolíticas que completan la reacción de la oxidación. Además de los sistemas de pintura existen sistemas de inmersión, tal como el galvanizado, que protegen la integridad del material mediante un sistema de "oxidación por sacrificio" o protección galvánica.

Según se especifica en el manual del programa de inspectores Coating Inspector Program (NACE Internacional, 2011) las pinturas son el recubrimiento más utilizado a nivel nacional para proteger estructuras de acero. Las pinturas se componen en su mayoría por dos componentes básicos: Los pigmentos y el vehículo. Los pigmentos son partículas sólidas que tienen funciones tanto de protección como de estética o decoración. Pueden también brindar propiedades de permeabilidad o mejorar las condiciones de anclaje y capacidad mecánica de la pintura, entre otros.

Por otra parte, el vehículo se refiere a la parte líquida de la pintura, compuesta por un ligante, solventes y cualquier otro aditivo aplicado a la mezcla del producto. Los ligantes son denominados principalmente a partir de la resina de la cual son fabricados. La resina, la cual es el principal componente del vehículo, tiene como principal función formar la película de protección entre el ambiente y el acero. Es necesaria para la humectación y adherencia, resiste el vapor de agua y oxígeno, los cambios físicos y químicos y brinda una película estable que mantiene sus propiedades por largos periodos de tiempo.

Por otra parte, se tienen los solventes. Su función principal es hacer la mezcla más trabajable según el tipo de aplicación que se vaya a realizar y controlar la tasa de evaporación y posible secado de la pintura. Es importante destacar que entre más solventes se agreguen a la mezcla, menor será el espesor de película seca (DFT) potencial, debido a que disminuyen los sólidos disueltos en la mezcla total.

Los aditivos de una mezcla se utilizan para realizar variaciones en el comportamiento de la pintura. Estos pueden ir desde aumentar la dureza o flexibilidad del producto, a aceleradores o retardadores del proceso de curado, según sea necesario en el proyecto.

Tipos de aplicación de recubrimientos

Una vez finalizado e inspeccionado el proceso de limpieza y preparación de la superficie, se debe realizar la aplicación del recubrimiento. Esta aplicación puede realizarse de muchas formas distintas y las más utilizadas son la brocha, el rodillo, el equipo de aire presurizado con pistola y el equipo "airless". La escogencia de cuál es el método más adecuado, depende de las siguientes variables: tamaño y tipo de trabajo, accesibilidad y configuración de las áreas de trabajo, áreas críticas cercanas que pudieran dañarse por la aplicación de algún método, tipo de pintura a aplicar, habilidad del pintor y presupuesto asignado al proceso de aplicación. Con base a estas variables se toma la decisión de cual proceso es más adecuado para un proyecto en particular. Por ejemplo, el uso de la brocha es normalmente aplicado para trabajos pequeños, donde se realizan recortes o se aplica pintura en bordes y esquinas. Además, la brocha se utiliza específicamente en el proceso del "*Stripe Coating*", altamente recomendado en estructuras de acero, el cual consiste en la aplicación de una capa adicional de pintura en los bordes, soldaduras, sistemas de sujeción y otras superficies irregulares para proporcionar una protección adicional contra la corrosión. Además, es importante recalcar que la aplicación mediante brocha es la que genera una mayor humectación de pintura en la superficie de acero.

Por otra parte, la aplicación mediante un rodillo es ideal para superficies planas, no obstante, su aplicación es más lenta que cuando se utiliza el sistema de pistola a presión. La aplicación con rodillo brinda excelentes acabados y buen rendimiento en superficies amplias y el nivel de desperdicio es menor que con pistola convencional. Una desventaja es que en ocasiones es difícil obtener un espesor de película uniforme en toda el área de trabajo.

La aplicación con pistola convencional tiene como ventaja que su aplicación es fácilmente ajustable mediante la modificación de los parámetros en la pistola, como la presión y la longitud del abanico. Brinda acabados de muy alta calidad por lo que es el proceso más utilizado para aplicar pintura en estructuras de acero. Su principal desventaja es que es necesario el uso de equipo de alta presión y genera altos niveles de desperdicio en caso de no aplicarlo adecuadamente. Además, requiere personal más capacitado para su aplicación, ya que la técnica de aplicación es más compleja.

Tanto la aplicación mediante pistola convencional como equipo "airless", generan un mayor nivel de peligrosidad para el aplicador, debido a que es más fácil ingerir las partículas de pintura

por el método de aplicación. En la sección 4.2.6 de la Metodología de Inspección se muestra en detalle el equipo básico que debe utilizarse para estas aplicaciones.

El equipo tipo "airless" es uno de los más eficientes actualmente, ya que no es necesario el uso de un compresor para su aplicación. Funciona con una bomba que inyecta presión a la pintura expulsándola por una boquilla, por lo que se pueden utilizar pinturas con altos niveles de sólidos disueltos. Esto genera que se alcancen espesores altos con mayor facilidad y en menor tiempo. Para la aplicación con equipos airless, aparte de las recomendaciones en EPP ya mencionadas, se debe tener especial cuidado con el nivel de presión que puede generar en su boquilla, ya que, si llega a activarse cerca de la piel de un colaborador, esta inyecta con facilidad pintura dentro de la piel y genera graves heridas en la zona afectada. En la Figura 27 se muestra un equipo airless convencional.



Figura 27. Equipo tipo "airless" para aplicación de pinturas

Fuente: (Publishers Representatives Limited, 2022)

Instrumentos de medición

Con el objetivo de asegurar que el proceso de aplicación haya sido el adecuado, existen diferentes instrumentos para realizar medición e inspección. Algunos de los más importantes y utilizados son los siguientes:

Galga para medición de película húmeda (WFT): Esta es una herramienta sencilla pero sumamente útil y se utiliza apoyando el lado dentado de la galga sobre la pintura recién aplicada. Con esto, se conoce de inmediato el WFT y se puede verificar si es el estipulado en el proceso.

Teniendo la información del WFT, se puede predecir con bastante exactitud, el espesor de película seca (DFT), aplicando la siguiente expresión:

$$SV = \frac{DFT}{WFT} * 100$$

Donde: SV = Sólidos por volumen

DFT: Espesor de película seca

WFT: Espesor de película húmeda

De esta manera, se puede planificar adecuadamente la aplicación e inspeccionar durante el proceso de pintura en taller o campo, con el fin de asegurar que se obtendrá el DFT requerido.

Para la medición de espesores en pintura seca (DFT) también se hace uso de los micrómetros. Estos equipos son altamente precisos, sin embargo, se necesita capacitación para utilizarlos adecuadamente y deben ser calibrados siempre que se van a utilizar. Desde el punto de vista del inspector, el uso del micrómetro para la medición del DFT, es una herramienta básica y valiosa en su labor diaria de verificación de los procesos. (NACE Internacional, 2011) Alcanzar los espesores mínimos estipulados en el contrato y la ficha técnica del producto es una de las variables más importantes para proteger adecuadamente la estructura. El procedimiento para realizar las mediciones de película seca está especificados en las siguientes normas:

- ASTM D 7091
- SSPC-PA2

Existen otras herramientas menos utilizadas que los micrómetros que también son importantes de mencionar. Por ejemplo, los medidores de discontinuidades, los cuales detectan si hay alguna porosidad o discontinuidad en la película de pintura, sonando una alarma al pasarlo por la zona afectada.

3. CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DEL CONOCIMIENTO DE PROFESIONALES EN INGENIERÍA CIVIL ACERCA DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO

3.1. Objetivo de la encuesta

Identificar las principales fortalezas y debilidades de la inspección de estructuras de acero en Costa Rica, así como las principales herramientas, prácticas y oportunidades de mejora presentes en el sector de la construcción en acero.

3.2. Limitaciones

La población de interés de la encuesta corresponde al conjunto de profesionales en Ingeniería Civil que realizan inspección de estructuras de acero, sin embargo, en Costa Rica no se cuenta con un listado o cuantificación de esta población. De esta forma, la muestra fue voluntaria de acuerdo con la participación de los profesionales a los que se les remitió la encuesta.

3.3. Recopilación de los datos

Se realizó a través de internet, por medio de la herramienta *Google Forms*. La encuesta se remitió a todos los profesionales en Ingeniería Civil registrados en las siguientes bases de datos:

- Asociación Costarricense de Ingeniería Estructural y Sísmica (ACIES): la encuesta se envió el 4 de noviembre del 2020 desde el correo oficial de la asociación.
- Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica (CIC): la encuesta se envió en dos ocasiones, el 11 de noviembre del 2020 y el 20 de enero del 2021, por medio de los boletines semanales.

Adicionalmente, se identificaron las principales empresas de construcción civil en acero en Costa Rica y se remitió la encuesta a los encargados de las áreas de ingeniería y calidad.

La encuesta se mantuvo activa por más de 3 meses, desde el 4 de noviembre del 2020 hasta el 18 de febrero del 2021. Durante este periodo se logró recopilar un total de 60 respuestas.

3.4. Análisis de los resultados

3.4.1. Información general y experiencia laboral

Objetivo de la sección

Caracterizar la muestra de profesionales en Ingeniería Civil que respondieron la encuesta, con el fin de conocer características generales como los años de experiencia profesional, formación universitaria, áreas de desempeño laboral y experiencia en inspección de estructuras de acero.

Resumen de resultados

La muestra de profesionales en Ingeniería Civil que respondieron la encuesta se encuentra conformada en partes casi iguales por personas con experiencia de más de 10 años (53%) y profesionales que recientemente ejercen la profesión (47%); así como profesionales colegiados hace más de 10 años (47%) y con menor antigüedad desde su incorporación (53%) al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). La diferencia puede explicarse por el hecho de que algunas personas comienzan a ganar experiencia antes de finalizar sus estudios e incorporarse al colegio profesional. El detalle de los resultados se puede observar en los siguientes gráficos (Figura 28 y Figura 29):

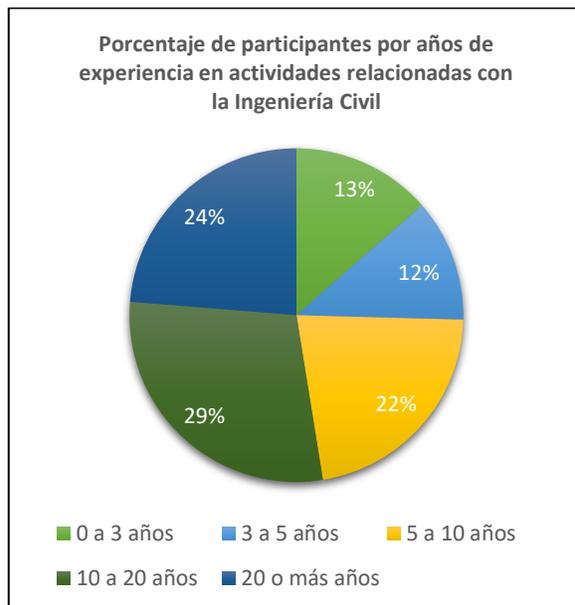


Figura 28. Años de experiencia en Ingeniería Civil

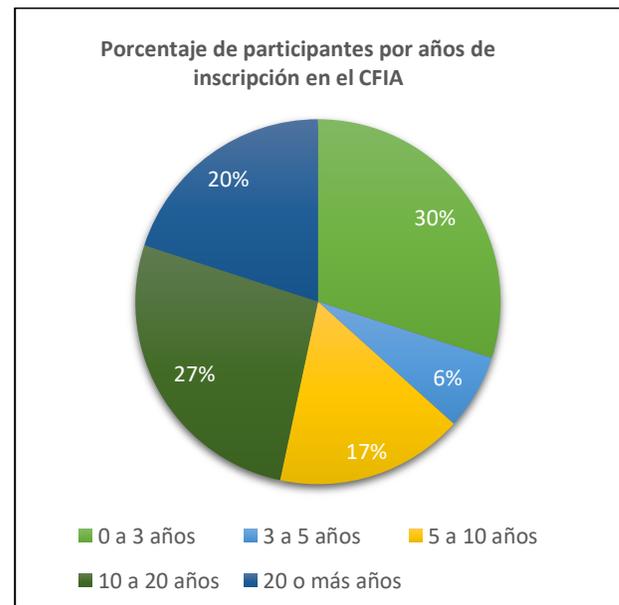


Figura 29. Años de colegiatura en CFIA

Por otra parte, el 58% de los participantes de la encuesta se graduó de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica y el porcentaje restante realizó sus estudios en la Universidad Latina de Costa Rica (12%), la Universidad Fidélitas (12%), la Universidad Central (5%), el Tecnológico de Costa Rica (5%) y otras universidades (7%). Dentro de estas últimas se encuentran la Universidad Isaac Newton y los centros de educación extranjeros: Universidad del Valle (Cali, Colombia), Universidad Central de Venezuela y Universidad Nacional de Ingeniería (Nicaragua).

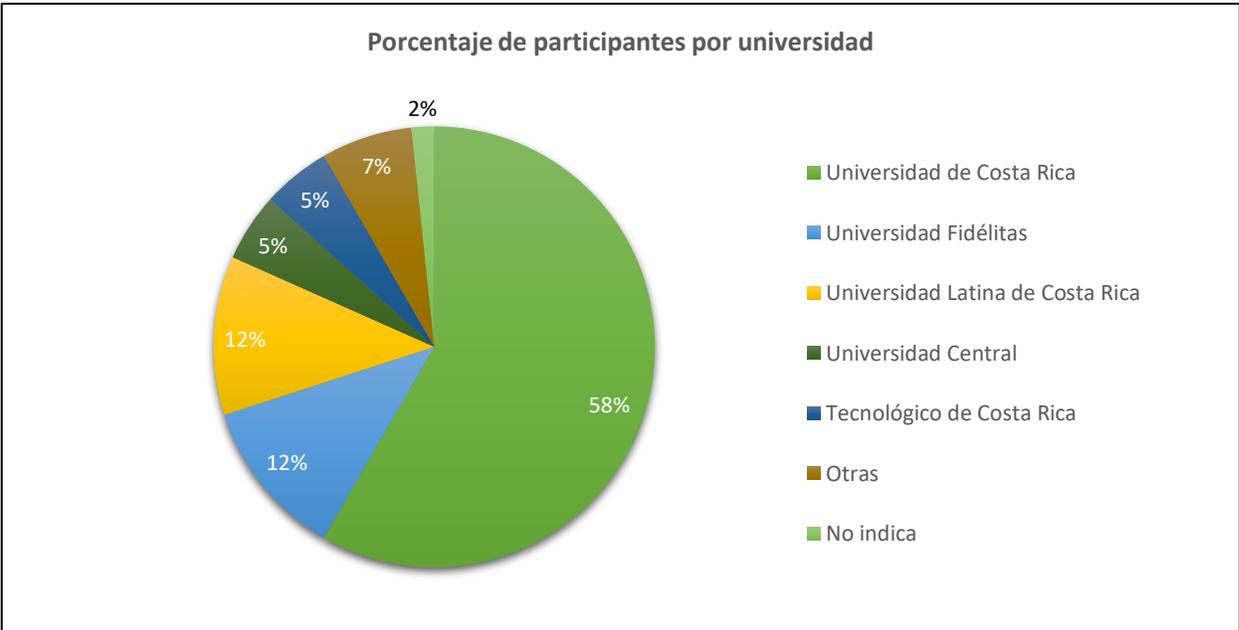


Figura 30. Universidad de la que se egresaron los participantes

En general, se puede apreciar que la muestra es variada a nivel de experiencia, antigüedad de incorporación y formación universitaria.

En cuanto a las áreas en que se han desempeñado los participantes, se encuentra que las principales son: Construcción, Diseño y análisis estructural e Inspección de obras. Por otra parte, las áreas en que se desempeñan menor cantidad de participantes son: Transportes y carreteras, Investigación en ingeniería, Hidráulica e hidrología y Otros (Geotecnia, Diseño de Casas Prefabricadas, Asesor Comercial Técnico). Cabe destacar que las áreas de desempeño laboral no son excluyentes entre sí. En el Cuadro 8. Áreas de desempeño laboral de la totalidad de participantes se detallan los porcentajes de participantes que se han desempeñado en cada área:

Cuadro 8. Áreas de desempeño laboral de la totalidad de participantes

Áreas de desempeño	Porcentaje de participantes
Construcción	72%
Diseño y análisis estructural	63%
Inspección de obras	60%
Gestión de proyectos	42%
Transportes y carreteras	17%
Investigación en ingeniería	15%
Otros	10%
Hidráulica e hidrología	8%

De la muestra total de participantes, el 80% indicó haber realizado inspecciones de estructuras de acero, mientras que el 20% no ha realizado este tipo de inspecciones, tal como se muestra en la Figura 31.



Figura 31. Experiencia en inspecciones de estructuras de acero

A continuación, en la Figura 32 se detalla para cada área de desempeño laboral considerada, el porcentaje de participantes que ha tenido experiencia en inspección de estructuras de acero y el porcentaje de los que no han realizado inspecciones de estructuras de acero.

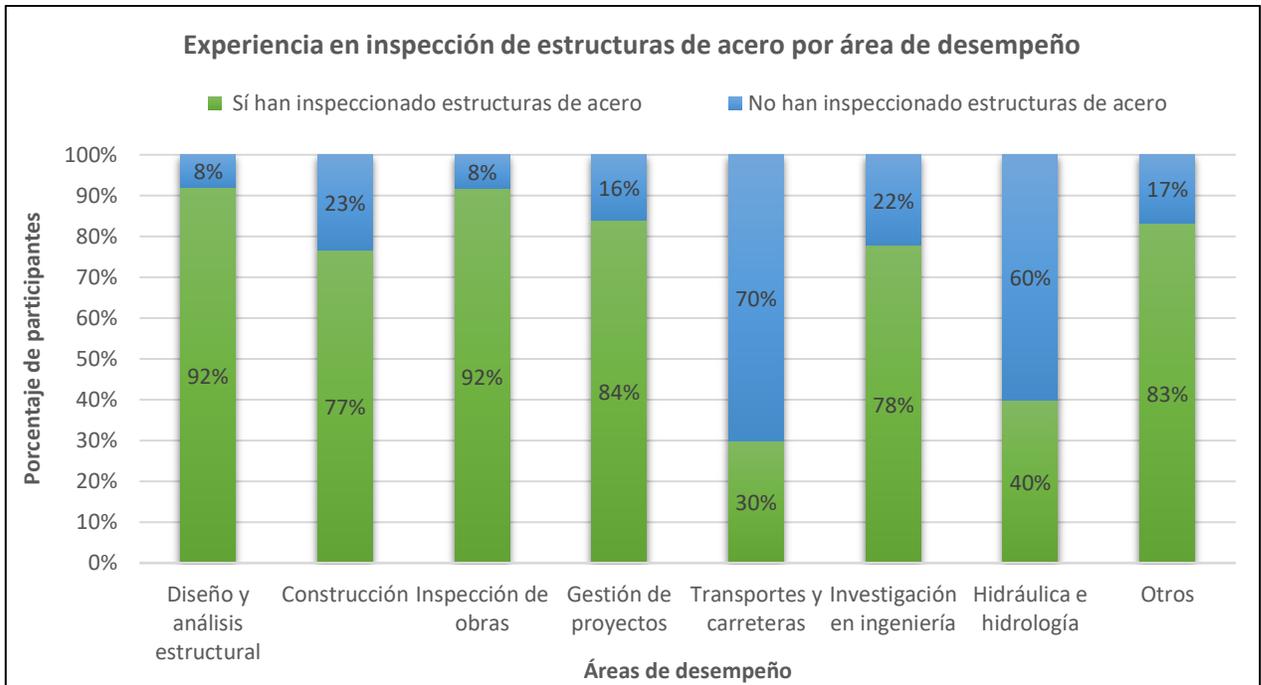


Figura 32. Experiencia en inspección de estructuras de acero por área de desempeño

En la Figura 33 se muestra a cuál área de desempeño laboral se dedican los participantes que indicaron que sí han realizado inspecciones de estructuras de acero.

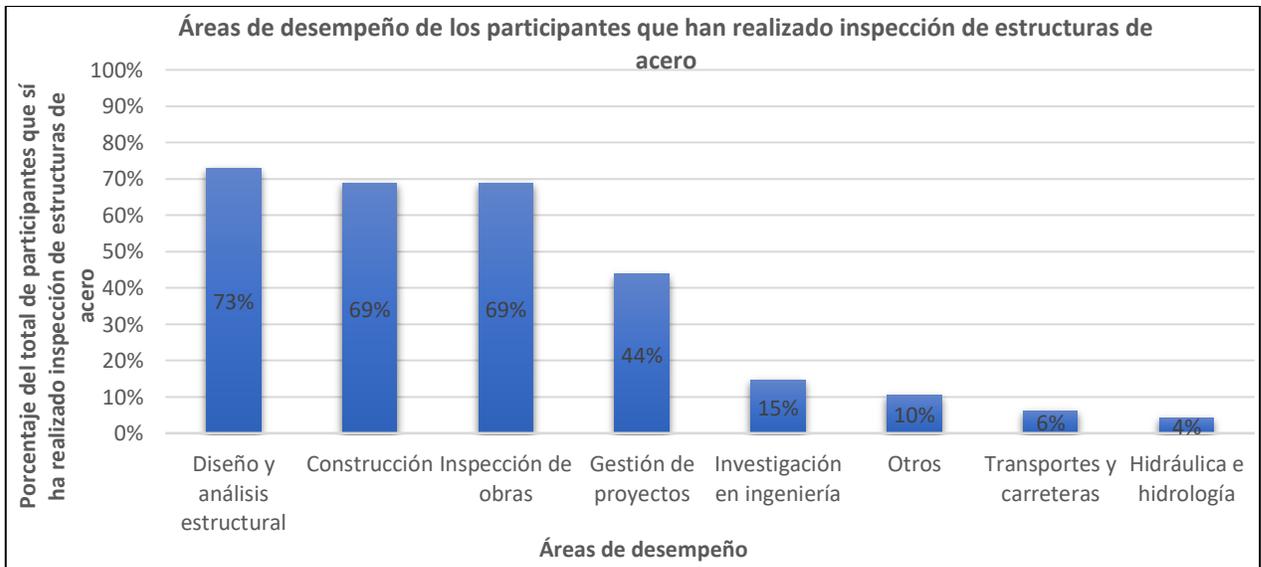


Figura 33. Áreas de desempeño laboral de los participantes que sí han tenido experiencia en inspección de estructuras de acero

Al analizar las áreas en que se desempeñan los participantes que sí han realizado inspección de estructuras de acero (80% de los participantes), se identifica que las principales corresponden a: Diseño y análisis estructural (73%), Construcción (69%) e Inspección de

obras (69%). Cabe destacar que las áreas de desempeño laboral no son excluyentes entre sí. Las áreas en las que se presenta mayor porcentaje de profesionales que han realizado inspecciones de estructuras de acero son las esperables, ya que son las directamente relacionadas con el diseño y construcción de estructuras. Sin embargo, también es importante señalar que en todas las áreas de desempeño existe un porcentaje de profesionales que indica haber realizado inspecciones de estructuras de acero. Este resultado sugiere que la mejora en la capacitación en la inspección de estructuras de acero es importante para la formación de los ingenieros civiles en general, no exclusivamente a los especializados en estructuras.

Se consultó a los profesionales que indicaron no haber realizado una inspección de estructuras de acero cuáles serían las razones por las que no lo habrían hecho. Este grupo representa el 20% de profesionales consultados y se dedican en su mayoría a las áreas de construcción, transportes y carreteras. Las principales razones por las cuales estas personas afirman que nunca han realizado inspecciones de estructuras de acero son las siguientes: Porque no han estado involucradas en proyectos que lo requieran (67%), porque no es su área de desempeño laboral y/o porque no se ha capacitado adecuadamente para realizar la inspección. En la Figura 34 se muestra el detalle del porcentaje de personas que indicó cada uno de los motivos propuestos como explicación del porqué no ha realizado inspecciones de estructuras de acero. Es importante indicar que se permitía la selección de varios motivos.

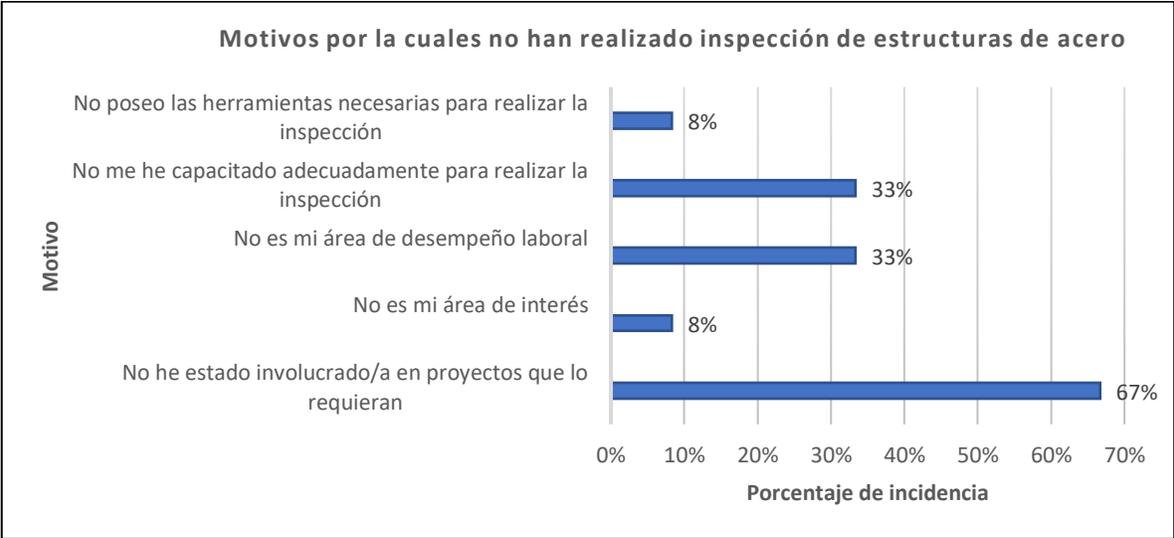


Figura 34. Motivos por los que los participantes no han realizado inspecciones de estructuras de acero

3.4.2.Herramientas y técnicas utilizadas en la inspección de estructuras de acero

Objetivo de la sección

Identificar las principales herramientas y técnicas utilizadas por los profesionales en Ingeniería Civil que indican sí haber realizado inspección de estructuras de acero, con el fin de analizar su alcance y aplicación en la inspección.

Resumen de resultados

El segmento de la muestra de profesionales que sí han realizado inspecciones de estructuras metálicas se compone en su mayoría por personas con al menos 10 años de experiencia en actividades relacionadas con la Ingeniería Civil (65%) y al menos 10 años desde su incorporación al CFIA (60%). También hay profesionales que tienen menos de 10 años de ejercer la profesión e incorporarse al colegio, pero representan el 45% respectivamente.

Al preguntarles sobre las etapas de la obra en que han realizado inspecciones, se identifica que la mayoría de los profesionales han realizado inspecciones durante el montaje de la obra (94%) y durante la fabricación de la estructura del taller (85%). Si bien hay un alto porcentaje de profesionales que han realizado inspección de estructuras en servicio (56%), la diferencia con respecto a las otras etapas es significativa; mientras que únicamente un profesional indicó haber realizado inspecciones en estructuras dañadas (ingeniería forense). En la Figura 35 se muestran los resultados. Se debe tener en cuenta que se permitía seleccionar varias opciones, ya que la inspección debería realizarse en todas las etapas.

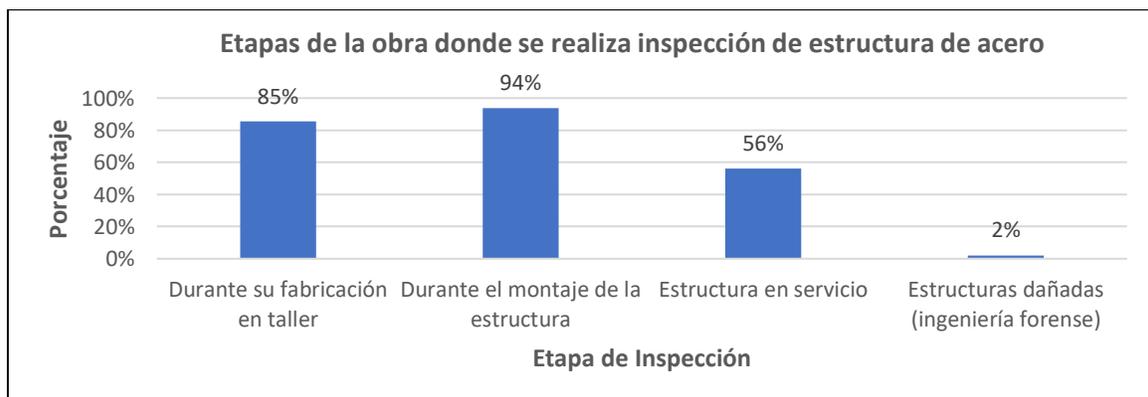


Figura 35. Etapas en las que los encuestados realizaron inspección

El capítulo 10 del Código Sísmico de Costa Rica (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2010 - Rev 2014), brinda los parámetros generales de diseño, fabricación y

erección de estructuras de acero. Sin embargo, está muy dirigido a diseño de las mismas, y tiene pocas secciones puntuales con respecto al aseguramiento de la calidad (ver sección 10.9 del código). Por otra parte, al estudiar la "ANSI/AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings" (American Institute of Steel Construction, 2016), se tiene el capítulo M denominado "Fabrication and Erection", el cual brinda detalles completos de los procesos de fabricación y montaje. Además, el capítulo N de la especificación, denominado "Quality Control and Quality Assurance", brinda parámetros detallados de inspección de estructuras de acero. Es importante destacar que tanto en el Código Sísmico de Costa Rica y en la especificación AISC 360-16, que se hace una diferenciación marcada entre las etapas de la estructura: Fabricación, montaje y estructura en servicio.

Mediante el análisis de los datos obtenidos en la encuesta, se observa en los resultados en cuantas de las etapas descritas en los códigos un mismo profesional realiza la inspección. Se identifica que una mayoría del 48% tiene experiencia en inspección de estructuras en las tres etapas principales (durante su fabricación en el taller, durante el montaje de la estructura y mientras la estructura está en servicio), casi un 40% ha realizado la inspección en dos de las etapas y un 12.5% tiene experiencia realizando inspecciones en solamente una de las etapas de la obra.

Respecto a las herramientas o técnicas utilizadas para realizar la inspección de la estructura de acero, destaca en mayoría la experiencia personal (85%), seguido de los ensayos no destructivos (69%) y la normativa nacional o internacional (65%). Por otra parte, los protocolos propios de la empresa (42%) y la opinión de expertos (46%) son las herramientas o técnicas menos utilizadas. En la Figura 36 se muestra el porcentaje de uso de cada herramienta o técnica por rango de experiencia profesional:

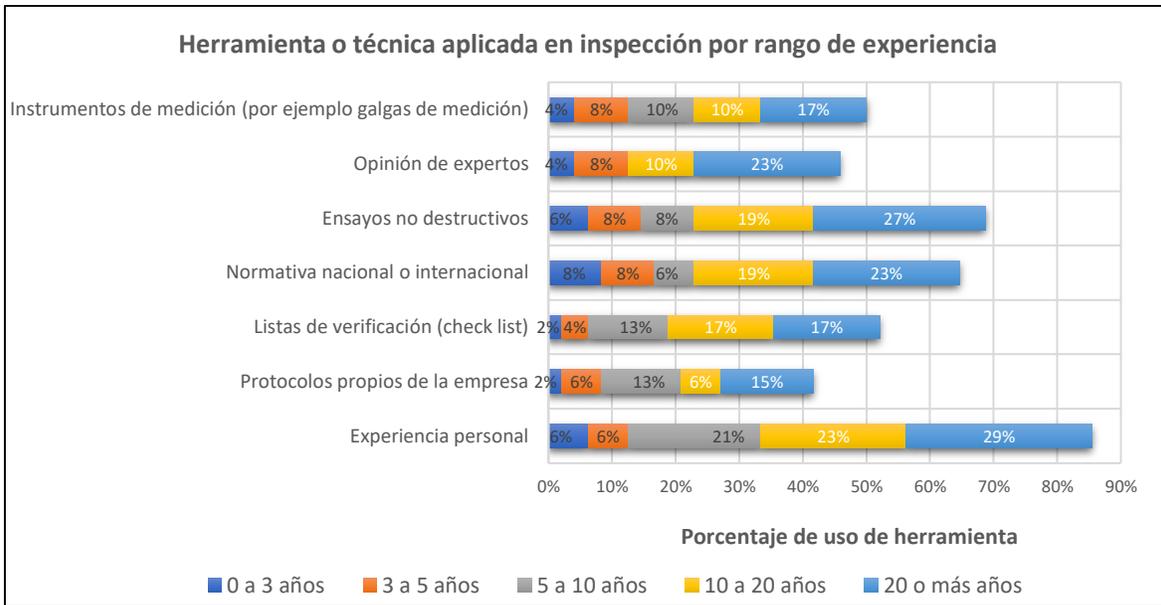


Figura 36. Herramientas o técnicas aplicadas en la inspección de estructuras de acero

Al analizar Figura 36 se puede identificar que la experiencia profesional es la herramienta o técnica más utilizada por profesionales con más de 5 años de experiencia y que su uso se incrementa conforme aumentan los años de experiencia laboral. En el caso de los profesionales que tienen 5 años o menos de experiencia en actividades de la Ingeniería Civil, utilizan mayoritariamente la normativa nacional o internacional para realizar las inspecciones. En promedio, los profesionales utilizan 4,5 herramientas o técnicas diferentes de inspección.

La especificación (American Institute of Steel Construction, 2016), indica como principal herramienta la documentación. En este caso se destacan los procedimientos de control de calidad (QC) de los fabricantes y los procedimientos de aseguramiento de la calidad (QA), por parte de entidades externas a los fabricantes. Además, también se necesitan los QC de los encargados del montaje de la estructura de acero, que en el país normalmente es el mismo encargado de la fabricación.

La normativa destaca el uso de ensayos no destructivos (END) como una de las principales herramientas de inspección. Además, en el caso de inspección de soldadura, se enfatiza en el uso de documentación del personal calificado, el Welding Procedure Specification (WPS) y uso de herramientas para medir las propiedades físicas de las soldaduras.

La experiencia personal es sumamente valiosa, sin embargo, no resulta válida utilizarla como única herramienta de aseguramiento de calidad. El uso de documentación oficial de los procesos, herramientas de medición, ensayos no destructivos y consulta a expertos (personal certificado en inspección) son herramientas esenciales para un adecuado análisis.

Normativas y códigos

Al revisar las normativas y códigos utilizados en la inspección de estructuras de acero, una mayoría del 78% de los profesionales indicó aplicar el Código Sísmico de Costa Rica 2010-14. Las otras normativas y códigos aplicados por más del 50% de los profesionales corresponden en orden de mayor a menor porcentaje de uso: D1.1 Structural Welding Code - Steel (AWS), Steel Design Guide (AISC), Steel Construction Manual (AISC) y el Reglamento de Construcciones (25%). El detalle del porcentaje de uso de cada normativa y código se encuentra la Figura 37.

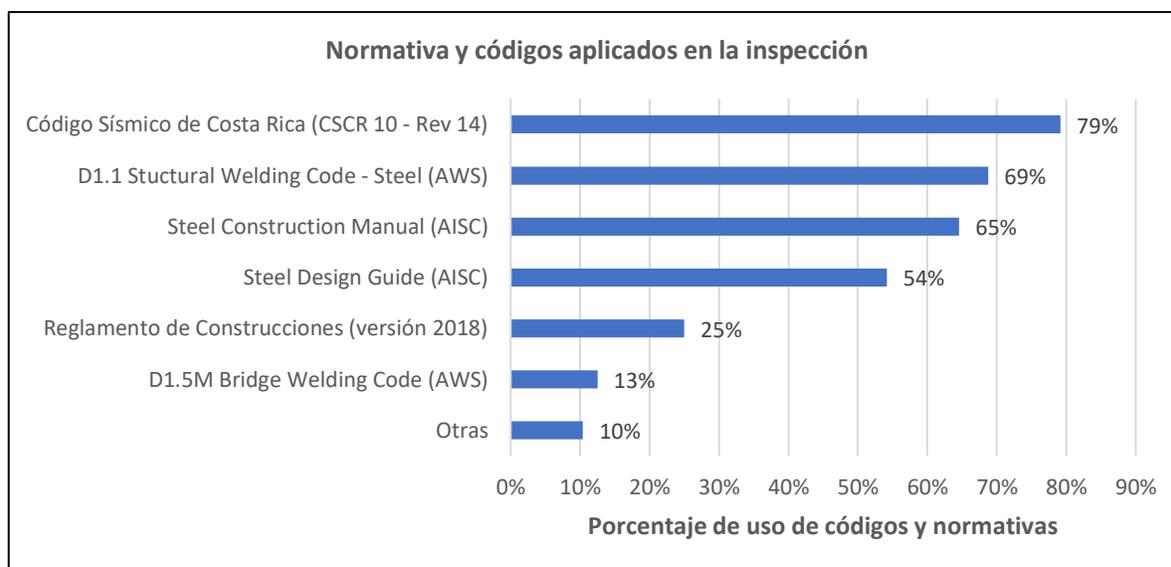


Figura 37. Normativa y códigos aplicados en la inspección de estructuras de acero

No obstante, al consultar a los profesionales si consideran que la normativa nacional les brinda una guía suficiente para realizar una adecuada inspección de estructuras de acero, una amplia mayoría del 90% respondió que no. Lo anterior contrasta con el hecho de que la normativa nacional o internacional es una de las herramientas más utilizadas para realizar la inspección de las estructuras de acero (65% de los profesionales que indican haber realizado inspección la utilizan, ver Figura 36); además de que la normativa internacional que complementa la normativa nacional no es de fácil acceso para los profesionales en

Ingeniería Civil. Existe inevitablemente una brecha idiomática con las normativas internacionales, que si bien es cierto muchos profesionales son bilingües, no resultan de fácil comprensión. Además, las normativas tienen un elevado costo económico que puede también hacerlas de difícil acceso para algunos profesionales.

Insumos para realizar inspección

El control de calidad es un proceso que inicia desde el planeamiento del proyecto, por lo que proyectar y analizar cuáles insumos serán necesarios para esas inspecciones son la base de un buen plan de inspección. Durante la fabricación de las estructuras de acero y durante el montaje de las mismas es donde más errores podrían identificarse, es por esto que es crítica y necesaria la inspección en estas etapas. Además, es en estas etapas donde se debe asegurar que las estructuras se construyen según fue previsto en el diseño. En la Figura 38, se muestra la lista de insumos básicos para realizar inspección durante la fabricación en taller, donde se muestra que los planos e información de los materiales se considera fundamental (81%) o muy importante (13%), mientras que tener procedimientos de soldaduras establecidos y personal capacitado para desempeñarlos también se considera fundamental (60%) o muy importante (32%), mientras que tener procedimientos de soldaduras establecidos y personal capacitado para desempeñarlos también se considera fundamental (60%) o muy importante (32%).

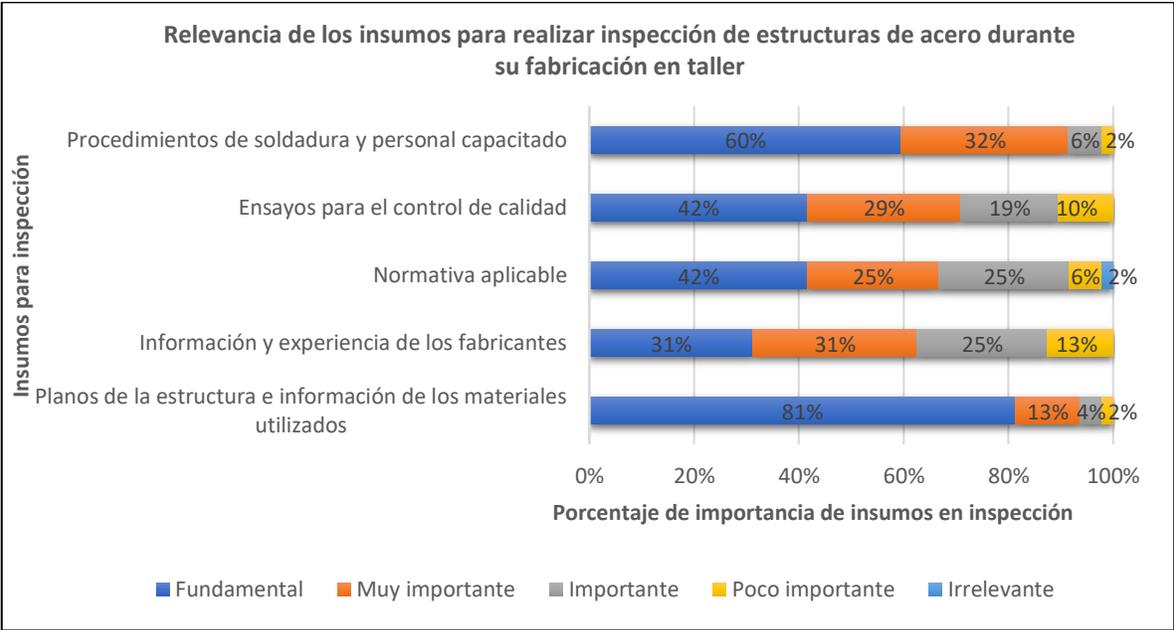


Figura 38. Relevancia de los insumos para realizar inspección de estructuras de acero durante su fabricación en taller

De la Figura 38 también se puede identificar que el insumo de menor importancia para los encuestados es la información y experiencia de los fabricantes, ya que solo un 31% lo considera fundamental para la inspección y un 13% lo considera poco importante o irrelevante. Este resultado es relevante para los contratistas, ya que según los encuestados es más importante que el fabricante tenga planos de taller claros, bien elaborados y procedimientos de soldadura y personal calificado, incluso sobre la experiencia de la empresa en proyectos similares, lo cual se esperaría tuviera un mucho mayor peso. Es importante destacar, que la información de los fabricantes según Specification for Structural Steel Buildings (AISC), es fundamental. Asegurar que el contratista tiene las condiciones y atestados válidos para cumplir con la correcta fabricación es el primer insumo necesario para iniciar un proyecto, por lo que se contradice la práctica usual con lo que brinda la normativa.

Por otra parte, al analizar la Figura 39, la cual muestra la relevancia de insumos para realizar inspección de estructuras que ya están en servicio, los planos de la estructura siguen siendo el insumo fundamental para la inspección (62% lo consideran fundamental y un 21% muy importante), mientras que en este caso, la información de los materiales utilizados también resulta fundamental (49%) o muy importante (34%) en la inspección. Resulta importante destacar estos resultados, ya que en estructuras de gran antigüedad es difícil tener esos insumos, lo que dificulta la inspección adecuada.

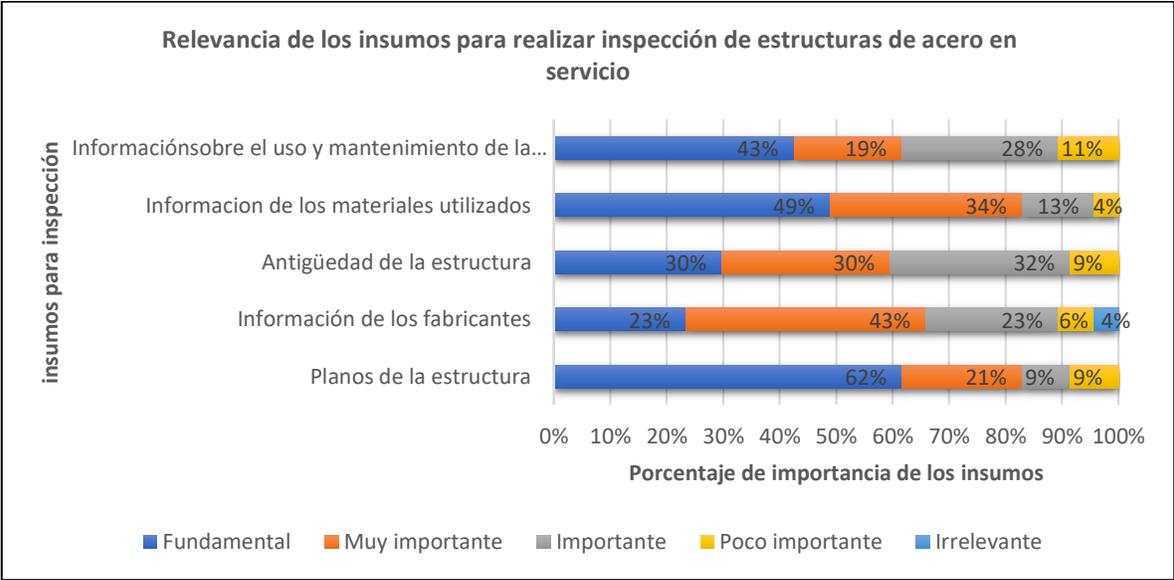


Figura 39. Relevancia de los insumos para realizar inspección de estructuras de acero que están en servicio

Nuevamente la información de los fabricantes es el insumo al que se le da menor importancia para la inspección, incluso un 10% de los encuestados lo considera irrelevante (4%) o poco importante (6%). Mantiene el mismo comportamiento que se observó en la Figura 38 con respecto a los insumos para inspección en taller.

Es importante destacar que la información del uso y mantenimiento de la estructura (69%) y la antigüedad de la estructura (66%) también son insumos muy representativos e importantes para realizar la inspección, sin embargo, no se asegura que se tenga acceso a esta información en todos los proyectos.

Inspección de soldaduras

La inspección de soldaduras es un eje fundamental de la inspección de estructuras de acero. La capacidad de las estructuras y su correcto funcionamiento ante las cargas aplicadas va a verse directamente comprometido por la calidad de las uniones, y resultan un punto crítico a inspeccionar.

El control y aseguramiento de la calidad se da desde el planeamiento del proyecto, es por eso que es primordial que las soldaduras sean correctamente diseñadas por el profesional a cargo y que se coloquen los detalles en los planos de taller para su respectiva fabricación.

En la Figura 40, se muestra que un 31% de los profesionales que sí realizan inspección de estructuras de acero, no realizan el diseño de las soldaduras ni colocan detalles de las mismas en sus planos, mientras que un 27% de los encuestados consideran que no aplica en su área de desempeño laboral. Resulta crítico para la inspección y la calidad, que se realice el diseño de las soldaduras, y los resultados señalan que se está dejando a consideración del fabricante el proceso a aplicar.

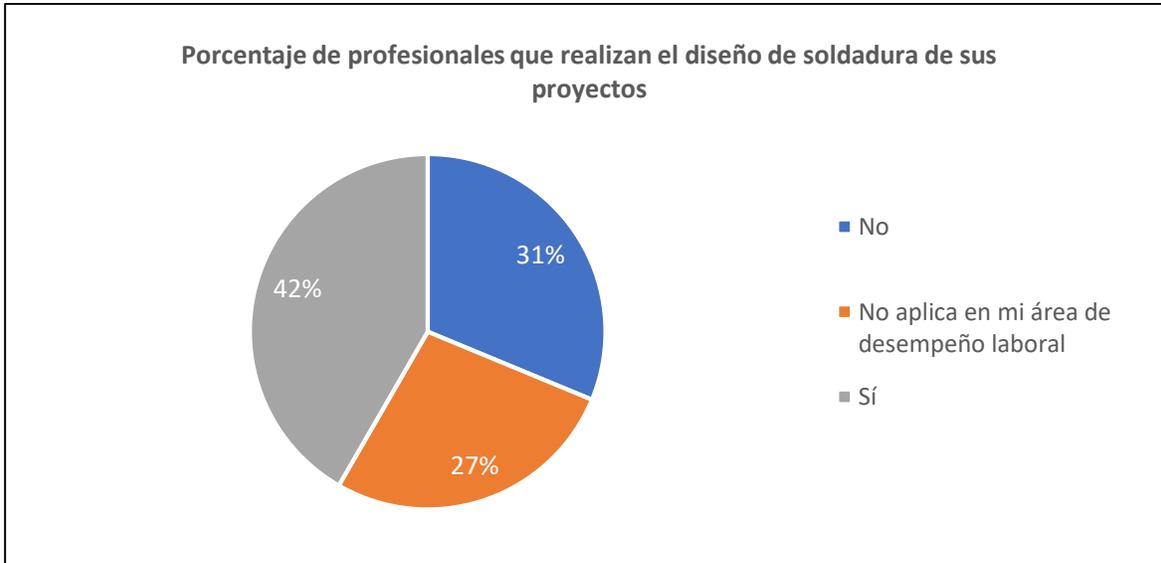


Figura 40. Porcentaje de profesionales que diseñan la soldadura

La Figura 41 se muestra que el porcentaje de ingenieros estructurales que sí realizan el diseño de soldaduras es de un 47%, mientras un 32% dice no realizar el diseño o incluso consideran que no aplica en su área de desempeño laboral (13%). Los resultados señalan que a pesar de ser los ingenieros estructurales los responsables del diseño, no consideran el diseño de las uniones como parte del mismo o lo delegan.

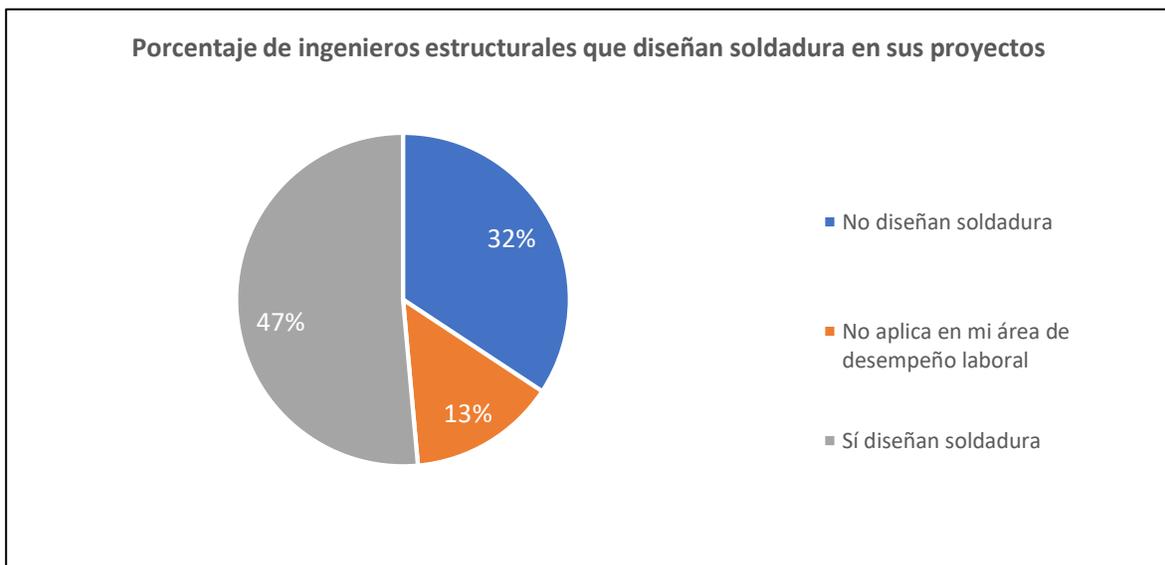


Figura 41. Porcentaje de ingenieros estructurales que diseñan la soldadura de sus proyectos

Esto es un hallazgo crítico. El 53% de los ingenieros estructurales que afirman haber realizado inspección de estructuras de acero, no diseñan las soldaduras que inspeccionan en campo de sus propios proyectos. Esto abre las puertas a la subjetividad en la fabricación,

ya que el contratista puede optar a aplicar las configuraciones y técnicas que mejor se adapten a su capacidad y presupuesto, sin tomar en cuenta en ocasiones, con las necesidades específicas del proyecto y sin tener bases sólidas de cumplimiento de normativa y prácticas recomendadas. Sería de igual manera responsabilidad del diseñador, asegurarse al menos que el fabricante tiene procedimientos estandarizados y personal capacitado para realizar las uniones soldadas que tenga el proyecto, y que cumpla con los parámetros mínimos descritos por la normativa vigente. El diseño de uniones debe recaer igualmente en el ente que realiza todo el diseño estructural, y nunca ser delegado al contratista y asumir que este puede ejecutar esta tarea sin análisis previo del diseñador.

Según la Specification for Structural Steel Buildings (American Institute of Steel Construction, 2016), en su capítulo N, la responsabilidad del control de la calidad durante la fabricación le corresponde al contratista encargado, sin embargo, el aseguramiento de la calidad depende de un ente externo a ellos. Es por esta razón que se considera que la calidad es una responsabilidad compartida. El ingeniero estructural tiene la responsabilidad del diseño y la correcta indicación en planos de las soldaduras a aplicar, por lo que debe asegurarse que sus indicaciones sean aplicadas en la estructura una vez que se está fabricando.

Ahora bien, cuando el ingeniero encargado de la inspección de soldaduras realiza esta gestión, logra identificar algunos errores comunes en las uniones. En la Figura 42 se muestran los principales defectos que han identificado los encuestados durante sus inspecciones de campo, que comúnmente se pueden hallar en uniones soldadas. Todos estos defectos tienen diferentes causas y consecuencias, por lo que en la sección 2.5.3 del presente documento se explican ampliamente.

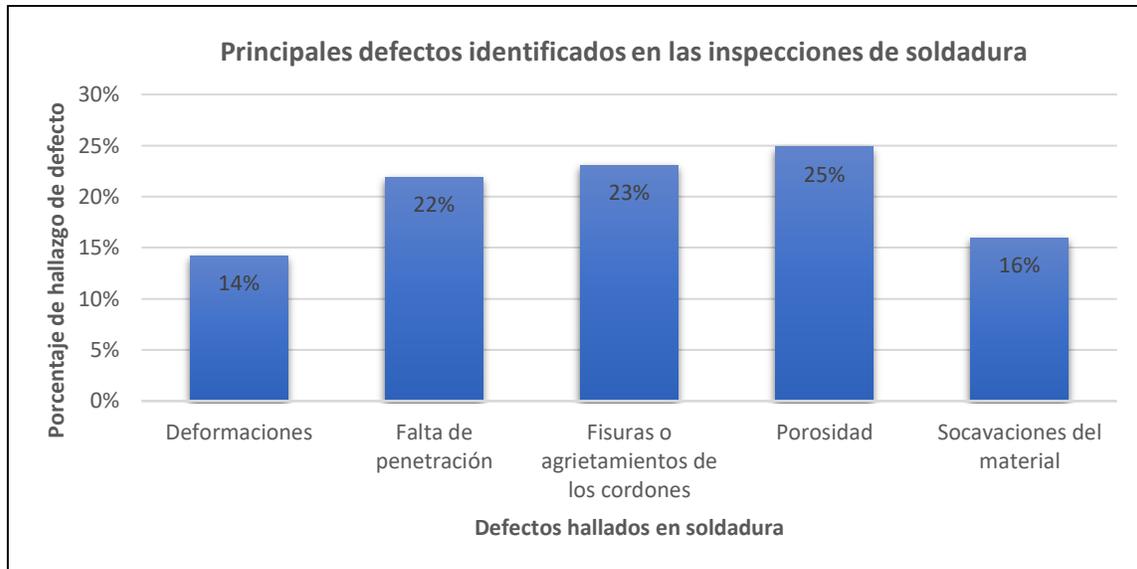


Figura 42. Defectos comúnmente identificados en uniones soldadas

Cuando se realizan inspecciones de soldadura, hay defectos que pueden considerarse evidentes mediante una inspección visual. Una soldadura que resulte irregular, con porosidad, falta de fusión con el material o socavación del material base es fácil de identificar incluso para inspectores con poca experiencia. Sin embargo, para una inspección adecuada, especialmente en proyectos grandes o estructuras con alta demanda de cargas, es necesaria la aplicación de ensayos no destructivos (END), mediante los cuales se podrá identificar defectos que en una inspección visual resultan imposibles de observar.

Como se muestra en la Figura 42, la porosidad es el defecto más comúnmente identificado en las soldaduras (25%). Además, un 23% dice haber hallado fisuras o agrietamiento en los cordones de soldadura, y un 22% han hallado falta de penetración. En el capítulo 6, específicamente en la parte D "NDT Procedures" del Structural Welding Code – Steel (American Welding Society, 2009), se especifica cada procedimiento de ensayo no destructivo disponible para el estudio de soldaduras y materiales base de acero. En esta sección, se analizan ampliamente los alcances y limitaciones de cada uno de los procedimientos, y cómo un ensayo es más adecuado que otro dependiendo de lo que se pretende medir.

Es importante mencionar, que los ensayos de inspección visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas permitirán analizar discontinuidades superficiales del material y las soldaduras, sin embargo, no brindarán ninguna información con respecto a falta de

penetración, o porosidad interna. Es por esto, que el estudio radiográfico y ultrasónico toman un papel tan importante en la inspección de estructuras de acero, ya que permiten ver el interior de las uniones e identificar discontinuidades que superen los parámetros establecidos.

En la Figura 43 se muestran los END utilizados por los ingenieros participantes en la encuesta. Como es de esperar, la inspección visual de las soldaduras es la más aplicada, con un 39% del total. Esta inspección brinda una evaluación general del estado de la unión y por ende, la primera que se debe aplicar en cualquier inspección.

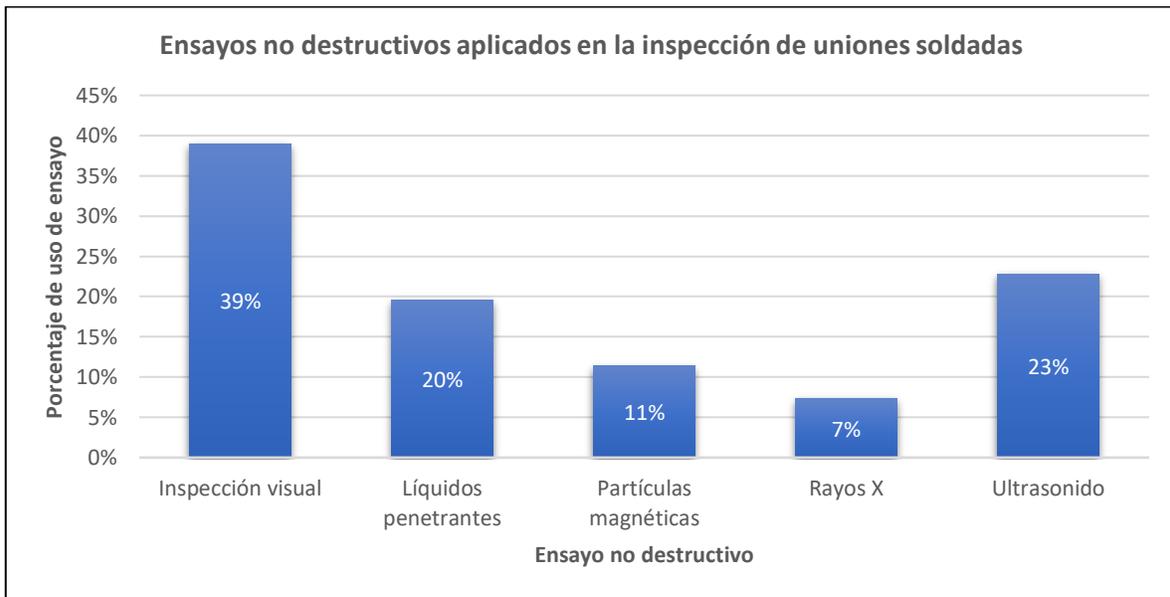


Figura 43. Ensayos no destructivos aplicados en la inspección de soldaduras

Un 23% de los encuestados dice haber aplicado ultrasonido alguna vez en las inspecciones de soldaduras. El uso de ultrasonido requiere de un inspector certificado, ya que para el uso del equipo de ultrasonido e interpretación de los resultados se requiere una gran expertiz. Es por esto que este END no es tan accesible como la inspección visual o los ensayos de líquidos penetrantes y partículas magnéticas e incluso tiene un costo más elevado. Es importante mencionar que en el país si hay inspectores certificados en la ejecución de estos ensayos.

Es primordial que el ingeniero inspector conozca los diferentes ensayos disponibles en el mercado y su funcionalidad específica, ya que esto va a definir directamente cuál ensayo

debe aplicar en los diferentes casos. En la sección 4.2.15, de la Metodología de Inspección, se indica cual es el ensayo más adecuado según la información que se necesita averiguar.

3.4.3. Formación académica de los inspectores de estructuras de acero

Objetivo de la sección

Conocer el nivel de capacitación de los profesionales que ejercen inspección de estructuras de acero en Costa Rica, así como indagar cuales medios y centros de capacitación son los más utilizados por los profesionales para la formación profesional en el tema.

Resumen de resultados

Para realizar una adecuada inspección es fundamental que el profesional encargado de la inspección cuente con una adecuada formación teórica. No es posible verificar si los elementos estructurales o la unión fueron construidos adecuadamente si desconoce la forma correcta de diseñar y construir las estructuras de acero y la forma en la que debe efectuar la inspección. Por esta razón resulta primordial que los encargados se capaciten adecuadamente y conozcan las bases teóricas y técnicas para poder hacer una inspección correcta y obtener un resultado objetivo que no esté basado en interpretaciones o criterios subjetivos, sino en normativas, buenas prácticas establecidas y procesos estandarizados de inspección.

Al preguntar a los encuestados si han recibido o no capacitaciones en el país acerca de inspección de estructuras de acero, se observa cómo un 56% de los profesionales nunca se han capacitado formalmente para esta tarea. Este resultado demuestra que los profesionales admiten que no cuentan con formación en el tema y se deja abierto a la interpretación del inspector la forma en la que se realiza la inspección y es posible que no exista un conocimiento básico de los parámetros críticos a inspeccionar. En la Figura 44 se muestra la distribución de participantes que han recibido capacitación formal en el área de estructuras de acero.

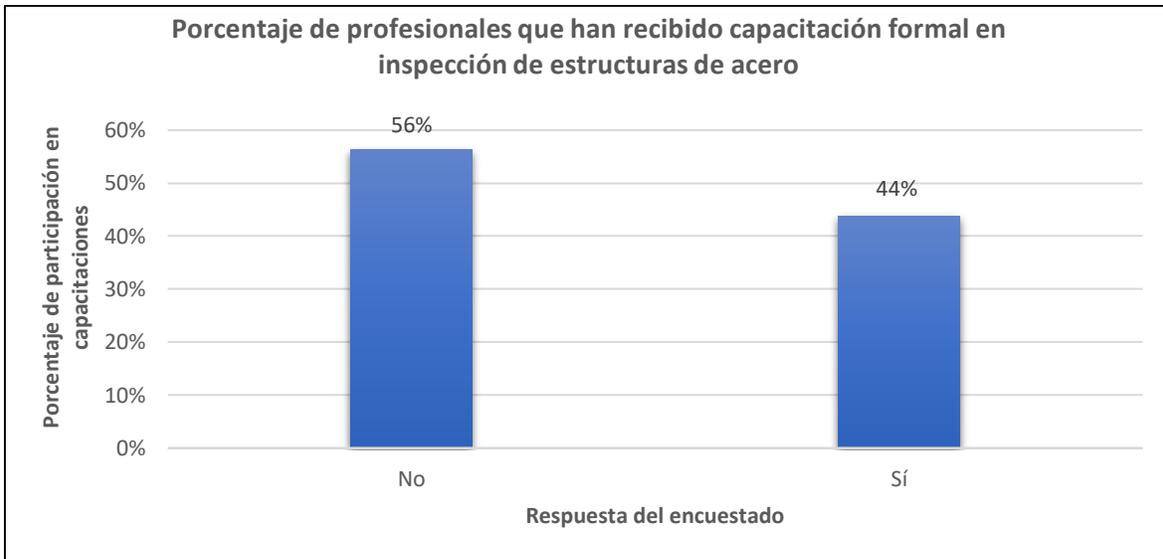


Figura 44. Porcentaje de profesionales que han recibido capacitación formal en inspección de estructuras de acero

Por otra parte, en la Figura 45 se muestra como existe casi un 88% de los encuestados que no conoce la oferta de capacitación disponible en el país, lo cual indica que no hay una suficiente oferta de capacitaciones o bien, no se dan a conocer de la forma adecuada.

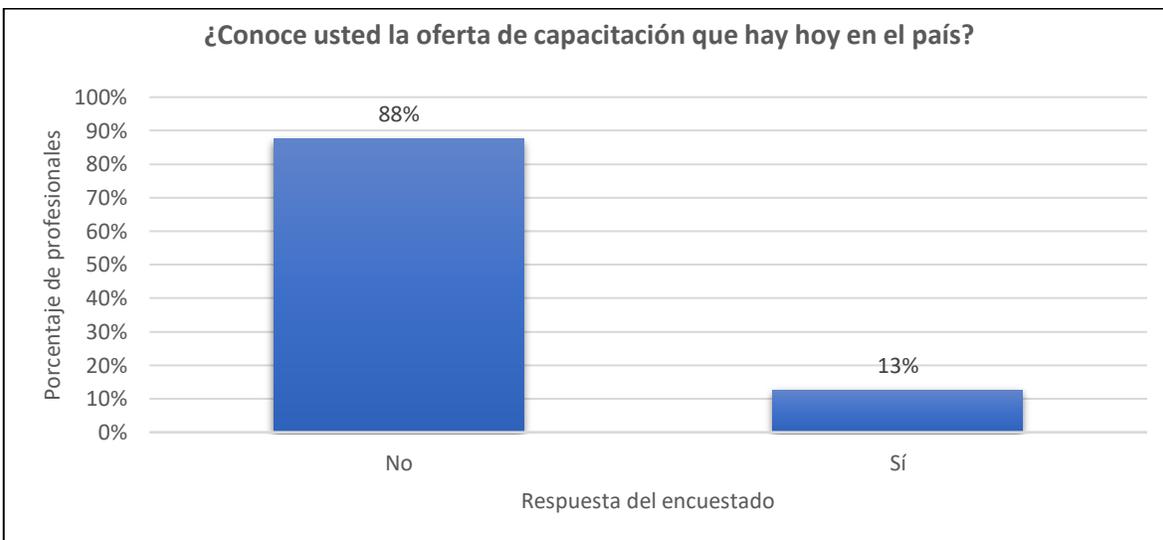


Figura 45. Conocimiento por parte de encuestados de la oferta de capacitación disponible en el país

La conclusión más importante y preocupante que se puede denotar de esta sección es el desconocimiento generalizado que tienen los profesionales de capacitación formal en el tema, ya que únicamente un 13% de los encuestados conocen sobre la oferta disponible en el país. No se puede afirmar con certeza que este comportamiento sea por una falta de

interés de parte de los ingenieros, sino por desconocimiento de las instituciones que podrían brindar capacitación y por qué existe una oferta limitada en el país.

Capacitarse adecuadamente es la base de una buena inspección. Tener los conocimientos para aplicarse en el momento y forma adecuados, es el factor más significativo entre una inspección subjetiva y basada en la intuición y otra objetiva con fundamento teórico y práctico.

Los profesionales que han recibido capacitación en el área de estructuras de acero, lo han hecho mediante instituciones nacionales e internacionales. En el Cuadro 9 se muestran los principales centros de capacitación donde han realizado sus estudios.

Cuadro 9. Centros de capacitación utilizados por los profesionales

Institución o centro de enseñanza donde realizó la capacitación	Porcentaje de profesionales
Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Asociación Costarricense Ingeniería Estructural y Sísmica (ACIES), Colegio de Ingenieros Civiles (CIC)	30%
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR)	17%
Otros	13%
Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)	8%
Oferta Privada	8%
American Institute of Steel Construction (AISC)	4%
American Welding Society (AWS)	4%
Escuela de Ingeniería Mecánica UCR	4%
Instituto Nacional de Aprendizaje (INA)	4%
Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)	4%
Universidad de Costa Rica (UCR)	4%

Cabe destacar, que en la categoría "otros" se incluyen las siguientes instituciones: American Concrete Institute (ACI), Centrales nucleares de la ex Unión Soviética, Alemania del Este y Bulgaria y North Carolina State University. Se agruparon en una sola categoría debido a que no resultan comunes como centros de especialización en el país, además que la ACI, es especializada en el diseño de concreto y no del acero, por lo que se consideró que no aplica en el análisis, sin embargo, se documenta el dato.

Al analizar los datos mostrados en el Cuadro 9, se muestra que la institución más utilizada por los profesionales para la capacitación es el CFIA, CIC y el ACIES. Esto puede deberse a

que son instituciones oficiales y de contacto cercano con el profesional, por lo que resulta como primera opción entre los ingenieros que quieren capacitarse. Además, los cursos tienen un costo accesible y son brindados por personas de mucha experiencia en el área. No obstante, los cursos brindados en estas organizaciones tienen un enfoque en el diseño estructural de acero, y no necesariamente en la inspección de las mismas, por lo que profundizar en el tema de inspección, lo debe hacer el profesional por cuenta propia. Sin embargo, la identificación de que son las instituciones a las que preferentemente acuden los profesionales en ingeniería para capacitación, sería conveniente fomentar que en estas instituciones brinden oportunidades de capacitación en inspección de estructuras metálicas.

En segundo lugar, de los centros de capacitación más utilizados (17%), se encuentra al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR). Recientemente el LanammeUCR por medio del Programa de Ingeniería Estructural, ha organizado cursos de capacitación que se brindan en torno a estructuras de acero. Las actividades realizadas han sido charlas cortas para informar a los profesionales sobre temas relacionados con la inspección de estructuras de acero. Sin embargo, el alcance de las charlas es únicamente informativo y no constituyen cursos de capacitación práctica.

Como se mencionó anteriormente, el INA es una institución especializada en la formación técnica. No obstante, solo una persona de las encuestadas la mencionó como centro de capacitación en estructuras de acero. El INA actualmente tiene un subsector de capacitación denominado "Construcciones Metálicas", en la cual se brindan los cursos para certificar soldadores en diferentes procesos (Instituto Nacional de Aprendizaje, 2021). Pero estos cursos no están dirigidos a profesionales encargados de una inspección, sino más dirigido a personal operativo que quiera optar por mejorar sus capacidades técnicas y certificarse eventualmente.

Por otra parte, el INA brinda en su rama de metalurgia el curso de "Inspector/a de calidad de Estructuras Metálicas", el cual brinda una opción para especialización mayor en el área. El curso consiste en 358 horas presenciales, por lo que la inversión de tiempo especialización es considerable. Este programa de capacitación es el más completo disponible en el país, pero el enfoque es para técnicos especializados.

Se tiene conocimiento que se está desarrollando una serie de cursos cortos de capacitación impartidos por instructores del INA dirigidos a ingenieros civiles y de construcción

desarrollados en conjunto con el Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR. Estos cursos estarían dirigidos a ingenieros a cargo de los proyectos de construcción de estructuras metálicas. Se están realizando acercamientos con instituciones especialistas en capacitación en metalmecánica, como es el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), para generar espacios de capacitación y formular cursos dirigidos a ingenieros en ejercicio de la profesión, que sean de fácil acceso y provean a los encargados de las obras de herramientas técnicas y prácticas para realizar inspecciones.

Por último, es importante mencionar las capacitaciones internacionales de la American Welding Society (AWS) y de American Institute of Steel Construction (AISC), que, aunque el porcentaje de respuestas es bajo (4% cada una), son instituciones que están a la vanguardia en la capacitación y cursos para los profesionales y marcan la pauta en innovación, requerimientos y buenas prácticas de inspección de obras de acero. Es por esto que se destacan y se consideran valiosos para la investigación. También es importante destacar que sí existen en el país profesionales que ha recibido capacitaciones por entes calificadores y certificadores, como es el AWS.

3.4.4. Inspección de recubrimientos de estructuras de acero

Objetivo de la sección

Identificar las principales prácticas utilizadas en el país para inspeccionar los procesos protección contra la oxidación y el fuego mediante la aplicación de recubrimientos en las estructuras de acero.

Resumen de resultados

En esta sección se detalla el análisis de la inspección de recubrimientos mediante los cuales se protege la estructura, y evita que esta sufra problemas de oxidación que puedan llegar a afectar la integridad de la obra.

El uso de recubrimientos, como pinturas o procesos de inmersión de piezas (galvanizado o protección catódica), resulta fundamental para asegurar la vida útil de la estructura, ya que, al no tener la protección adecuada, el proceso de oxidación comenzará prácticamente de inmediato al tener la pieza expuesta. Es por esta razón, que resulta esencial que el profesional conozca las herramientas y bases técnicas para realizar una inspección detallada y correcta de la aplicación de los recubrimientos.

Sin embargo, hay factores que independientemente del producto que se aplique, siempre va a ser necesario inspeccionar y que son fundamentales para asegurar la correcta protección de la estructura. Uno de estos es el espesor del recubrimiento aplicado.

Existen diferentes métodos o herramientas utilizados para medir el espesor de un recubrimiento, dependiendo si este se realiza durante la aplicación (espesor húmedo), o una vez que ya secó (espesor seco).

En la Figura 46 se muestra el porcentaje de uso de herramientas de medición de espesores de recubrimientos en estructuras de acero utilizados por los encuestados. Entre las principales herramientas utilizadas por los profesionales encuestados se detalla que el micrómetro es la más recurrente (37%), mientras que las galgas metálicas, que solo sirven para medir espesores en húmedo, tienen un 19% aproximadamente junto con la medición mediante ultrasonido. (Ver Figura 46)

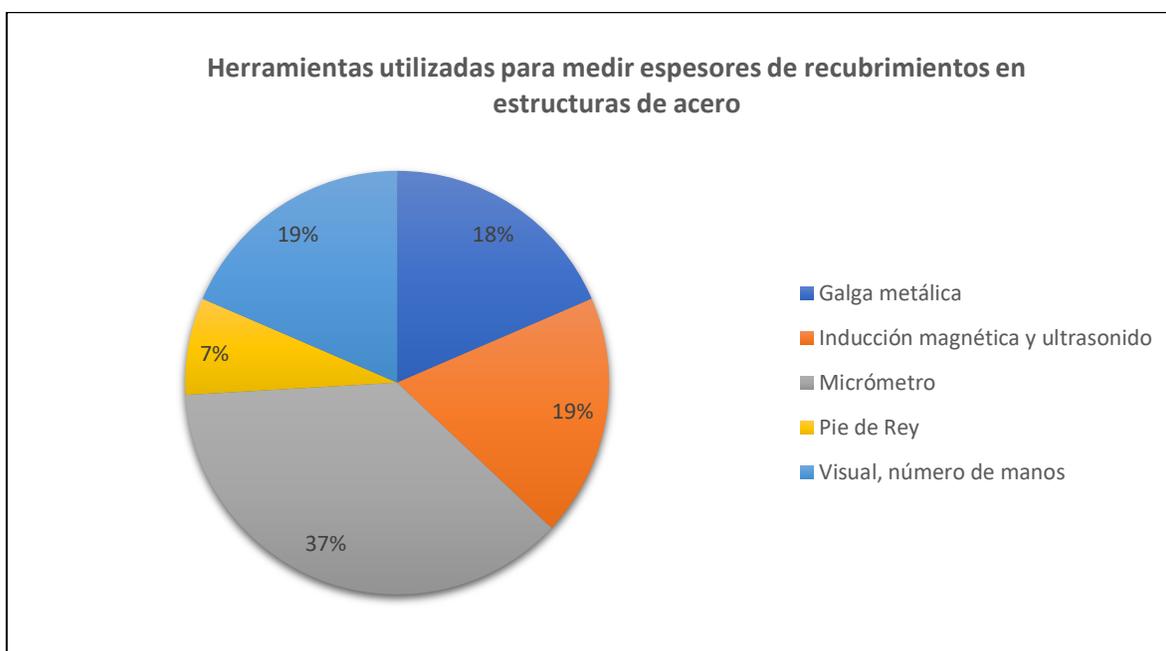


Figura 46. Herramientas utilizadas por los encuestados para medir espesores de recubrimientos en estructuras de acero

Es importante recalcar, que un 7% de los encuestados mencionó hacer medición con un vernier o "pie de rey", lo cual es una metodología totalmente inadecuada para la medición de espesores de revestimientos. La precisión de esta herramienta no es suficiente y no debería ser aplicada para esta tarea.

Por otra parte, si bien es cierto la inspección visual y número de capas de diferentes colores (19%) es una técnica muy usual, no necesariamente es la correcta. No se asegura que las capas tengan el espesor adecuado, por lo que podría no estarse alcanzando el nivel de protección necesario para la exposición de la pieza, o incluso, aplicando un espesor mucho mayor al necesario, por lo que elevaría los costos de producción.

La forma más adecuada de hacer medición de espesores de revestimientos es haciendo una inspección completa durante todo el proceso (MontiPower, 2020). La medición de espesores húmedos es fundamental para realizar correcciones durante la aplicación, ya que, según el espesor húmedo y el porcentaje de sólidos presentes en el revestimiento aplicado, así será el espesor seco obtenido. Por otra parte, una vez que el revestimiento curó, se debe hacer las mediciones mediante micrómetro o ultrasonido, ya que son los métodos que brindan precisión en las mediciones y aseguran que se haya alcanzado el nivel adecuado de protección.

Por otra parte, los recubrimientos para la protección de estructuras de acero no son únicamente para evitar la oxidación. Existen diversos productos que se pueden aplicar para proteger las estructuras en caso de incendio y mantener su capacidad estructural por un tiempo determinado, con el fin de evacuar las personas que están dentro de la estructura o bienes materiales. Estos revestimientos especiales son protección pasiva contra fuego y debe diseñarse apropiadamente su aplicación, además de fundamentar apropiadamente su uso debido a que tienen un elevado costo.

Como parte de la investigación, se consultó a los ingenieros estructurales que completaron la encuesta si ellos detallaban o utilizaban protección pasiva contra fuego en sus diseños estructurales, obteniendo que casi un 68% de los encuestados sí lo han aplicado, lo que resulta positivo ya que, en caso de un siniestro, brinda una mayor oportunidad de salvar las vidas de las personas que ocupen la estructura en ese momento, así como minimizar los daños materiales.



Figura 47. Porcentaje de ingenieros estructurales que indican protección pasiva contra fuego mediante recubrimientos

Es importante destacar, que, según el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios, (Bomberos de Costa Rica - Unidad de Ingeniería, 2020) no a todas las estructuras de acero que se fabrican es necesario aplicar medidas de protección pasiva contra incendio, sin embargo, las que tengan condiciones especiales o de mayor riesgo, sí es fundamental aplicar todas las medidas de protección posibles. En la Figura 47 se muestran los porcentajes de profesionales que indican o no la debida protección pasiva contra incendio mediante recubrimientos. Es importante destacar, que se le realizó la consulta a la Unidad de Ingeniería de Bomberos de Costa Rica, acerca del porcentaje de estructuras que se tramitan con protección pasiva contra fuego. El resultado de esta consulta resulta bastante contradictorio con respecto a lo obtenido en la encuesta, ya que, según el Ing. Rolando Leiva Ulate, de 5000 proyectos de construcción tramitados a través de bomberos, únicamente en 152 se valoró el uso de protección pasiva contra incendio mediante el uso de recubrimientos. Esto representa apenas un 3% de las estructuras tramitadas, siendo mucho menor que el 68% obtenido en la encuesta.

Por otra parte, es importante determinar la causa por la cual el 32% de los encuestados indican no utilizar los productos, ya que, en la medida de lo posible, este porcentaje debería ir disminuyendo con el tiempo, y esta información sería fundamental para conocer de antemano como capacitar mejor a los encargados de los diseños estructurales. Una posible razón del poco uso de recubrimientos intumescentes es el elevado costo que tiene su

aplicación, lo cual conlleva que su uso genere que el acero sea menos competitivo en términos de costos con respecto a materiales como el concreto.

3.4.5. Inspección de pernos de anclaje y uniones apernadas

Objetivo de la sección

Analizar las principales prácticas utilizadas por los profesionales con respecto al uso de pernos de anclaje y uniones de elementos de acero apernados. Además, se procura identificar los errores más comunes en la utilización de pernos para anclaje o de unión de elementos de acero.

Resumen de resultados

El capítulo 10 del Código Sísmico de Costa Rica, brinda las disposiciones generales que rigen el diseño, la fabricación y montaje de estructuras de acero. También se indica cuáles son los requerimientos de las uniones en acero, las cuales pueden ser soldadas o bien, apernadas. En la sección 10.1.3.1.b del código, se define el tipo de pernos que deben utilizarse tanto en uniones apernadas como en pernos de anclaje. Se especifica lo siguiente:

"Los pernos y accesorios de conexión de los sistemas sismorresistentes deben satisfacer una de las siguientes especificaciones de la ASTM: A325, F1852, A490 o F2280. Los pernos de anclaje de los sistemas sismorresistentes deben satisfacer la especificación ASTM F1554 o, en su defecto, podrían utilizarse materiales permitidos por la referencia 1 o similares".

Al preguntarle a los profesionales encuestados en qué casos se debería hacer uso de tornillería de alta resistencia se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Uso de tornillería de alta resistencia

¿Cuándo debe hacerse uso de tornillos de alta resistencia?	Porcentaje
Siempre	27%
Solo en elementos que componen el sistema sismo-resistente	54%
Depende del tamaño del proyecto	11%
Depende del sistema constructivo	8%

Al analizar los resultados obtenidos, se observa que un 27% de los encuestados consideran que siempre debe hacerse uso de tornillería de alta resistencia, incluso cuando estos no vayan a estar en elementos que resistan carga sísmica. La utilización de pernos de alta resistencia en todas las uniones resultaría en un incremento en los costos de fabricación.

Un 54% de los encuestados consideran que debe hacerse uso de este tipo de tornillería solo en los elementos que conforman el sistema sismo-resistente, que es tal y como lo nombra la normativa nacional.

Los pernos designados por el Código Sísmico, que cumplen con las normas ASTM A325 y A490, normalmente no son fáciles de conseguir en el país y su costo de importación resulta elevado. Posiblemente la dificultad de conseguir los pernos de alta resistencia esté relacionada con lo indicado por algunos encuestados, ya que un 11% de los encuestados considera que el uso de esta tornillería es determinado por el tamaño del proyecto y un 8% por el tipo de sistema constructivo que se esté utilizando. Para proyectos grandes, de gran tonelaje de estructura de acero, existe un mayor cumplimiento de las especificaciones debido a que existe una mayor inspección de obra y además, existe un mayor presupuesto. La mayoría de veces cuando se tienen obras de gran tamaño se tiene inspección por parte del cliente, el diseñador y el contratista.

Por otra parte, en proyectos de menor tamaño, los presupuestos son más ajustados y no existe una cultura de inspección, o incluso no se considera este rubro dentro de la cotización inicial del proyecto. Por esta razón, se reducen costos y se utilizan pernos no especificados en el Código Sísmico.

Es importante recalcar, que los pernos A325 y A490 tienen un alto costo y no todos los proyectos tienen la capacidad de colocarlos. Por esta razón, el profesional a cargo del diseño estructural tiene una gran responsabilidad y debe tener claro la relación de diseño y costo. Si un proyecto tiene una alta demanda de carga sísmica, o bien, la estructura va a estar sometida a cargas dinámicas reversibles, como por ejemplo, las grúas viajeras de las naves industriales, se debe especificar y verificar el uso de los pernos correctos, sino no es un costo justificado en el proyecto.

Por otra parte, también se le consultó a los encuestados qué tipo de perno utilizarían en una unión de elementos del sistema sismo-resistente. Las respuestas se muestran en la Figura 48.

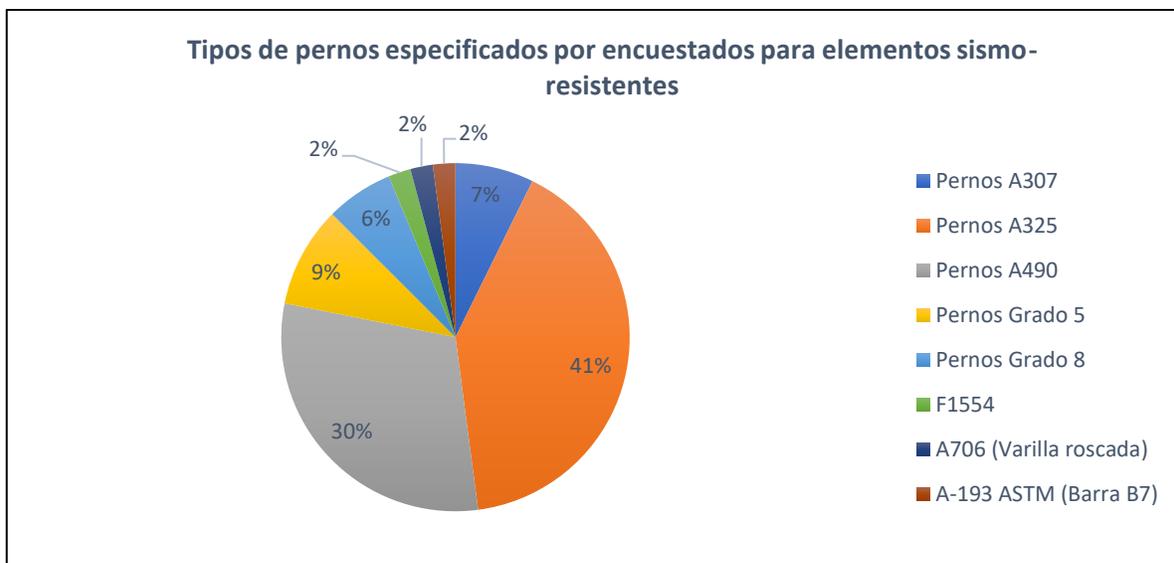


Figura 48. Tipos de pernos utilizados en uniones de elementos sismo-resistentes según encuestados

Al analizar las respuestas obtenidas, se observa como una amplia mayoría utilizaría pernos A325 (41%) o pernos A490 (30%), lo cual según el Código Sísmico es lo correcto y lo especificado. No obstante, es importante analizar las demás respuestas, ya que muestran prácticas comunes en el país con respecto al uso de tornillería.

Por ejemplo, el uso de pernos A307 (7%) no debería ser aplicado en elementos sismo-resistentes, y están especificados para uniones de menor demanda. Por otra parte, utilizar barras F1554 (ASTM International, 2020), A706 (Barboza & Castillo Barahona, 2016) y A-193 (ASTM International, 2020), para unión de elementos de acero es un error, ya que estas designaciones son para acero de refuerzo o pernos de anclaje a cimentaciones.

Por último, se nombra los pernos grado 8 (6%) y los pernos grado 5 (9%). Esta designación de grados resulta muy comúnmente utilizada en el país, no obstante, no es la mencionada en la normativa vigente. Según (American Screw Chile SPA, 2020), los pernos grado 5 y 8 tienen mucha similitud con los pernos A325 y A490 respectivamente. Sin embargo, esta denominación pertenece a la norma SAE (Society of Automotive Engineers), y en nuestro medio, la más utilizada es la ASTM (American Society for Testing Materials), además de ser la nombrada en el Código Sísmico vigente.

Si bien es cierto existen una amplia similitud entre ambos tipos de pernos, una diferencia importante hallada entre ambos, es el nivel de pretensión que se debe alcanzar. Se observó, mediante tablas comparativas de (American Screw Chile SPA, 2020), que el nivel de

pretensión que se debe alcanzar en los pernos A325 y A490 es mayor que los de Grado 5 o Grado 8. Esto significa una diferencia importante a considerar ya que, en caso de no tener la especificación adecuada, se podría estar aplicando un torque equivocado y tener resultados no esperados en la unión.

3.4.6. Certificación de profesionales inspectores y personal calificado

Objetivo de la sección

Identificar cuáles son los principales requisitos exigidos a los fabricantes de estructuras de acero, además de analizar el porcentaje de uso de profesionales especializados en el área de ensayos no destructivos para la inspección de estructuras de acero.

Resumen de resultados

Para poder asegurar la calidad y un proceso adecuado de fabricación, se debe asegurar también que la mano de obra encargada de la producción e inspección está capacitada para su labor. Existen métodos o buenas prácticas para comprobar estas capacidades, tanto de los fabricantes de la estructura, como de los profesionales que van a estar a cargo de la inspección durante su fabricación y montaje.

Se le consultó a los encuestados cuáles requisitos solicita a los encargados de la fabricación de la estructura de acero, específicamente en el área de aplicación e inspección de soldadura. Los resultados se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Requisitos exigidos por los encargados de obra a los soldadores

Requisito exigido por encargado de obra	Porcentaje
Experiencia comprobable en el área de la soldadura	62%
Certificación por ente nacional o internacional que haga constatar conocimiento de los procedimientos en soldadura	32%
No solicito ningún requisito al soldador encargado de ejecutar la obra	4%
Cursos de metalmecánico del INA	2%

Según los resultados obtenidos, existe un 62% de los encargados que al menos exige experiencia comprobable en el área de la soldadura. Esto resulta positivo, ya que es un porcentaje amplio de profesionales que son conscientes que un adecuado proceso de

soldadura depende directamente de mano de obra bien capacitada, y que la integridad de estas uniones va a ser sujeta por la calidad y experiencia de los colaboradores encargados de ejecutar esta tarea.

Este procedimiento se observa cuando se realiza contratación de soldadores en empresas contratistas. A los colaboradores que participan en un proceso de selección, se les comprueba inicialmente sus capacidades teóricas, mediante preguntas generales de los procesos de soldadura. Posteriormente, se analiza su experiencia laboral, para de esta manera finalmente, se les aplique una prueba práctica estándar de soldadura. Si logran cumplir con los estándares de calidad mínimos que posee la empresa, se le considera elegible para el puesto.

Por otra parte, según los resultados mostrados en el Cuadro 11, un 32% de los profesionales exige algún tipo de certificación nacional o internacional que avale la experiencia y capacidad del soldador. En este caso, el aseguramiento de la mano de obra bien calificada para la tarea de soldadura es aún mayor, por lo que la práctica es adecuada.

Con base a los resultados obtenidos, se observa un comportamiento positivo. Sumando el porcentaje de profesionales que exigen experiencia comprobable en el área de soldadura (62%), más los profesionales que exigen una certificación de sus capacidades (32%) se obtiene un 96%. Esto quiere decir que prácticamente todos los encargados exigen de una u otra forma, mano de obra capacitada para ejecutar sus obras.

Ahora bien, tener la mano de obra adecuada para el armado y resoldado de estructuras es el primer paso para asegurar el éxito en la fabricación y montaje, sin embargo, tener una contraparte competente, encargada de realizar una inspección y aseguramiento de la calidad (QA) acorde a los estándares exigidos, planificada y frecuente es igual de importante durante todas las etapas de la estructura de acero. Unas de las herramientas utilizadas para inspección y aseguramiento de la calidad son los ensayos no destructivos (END). Es por esto que se incluyó la pregunta sobre su uso.

Cuando se les consultó a los ingenieros mediante la encuesta, quienes habían hecho uso de los servicios profesionales de un inspector certificado o calificado, o bien un experto en la aplicación e interpretación de ensayos no destructivos para el estudio de elementos de acero se obtuvieron los siguientes resultados descritos en la Figura 49.



Figura 49. Porcentaje de uso de inspectores calificados o especialistas en END

Como se observa en la Figura 49, una mayoría (63%) de los encuestados sí han hecho uso de inspectores o especialistas en estructuras de acero para controlar la fabricación y montaje de sus obras. El 37% restante señala que nunca ha hecho uso de este recurso, no quiere decir exactamente que haya actuado de forma errónea ya que puede que los proyectos en los que se estuvo involucrado, no eran necesarios ensayos o inspecciones de este tipo.

3.4.7. Opinión de encuestados acerca del estado actual de la inspección de estructuras de acero en Costa Rica

Objetivo de la sección

Conocer la opinión general de los encuestados con respecto al alcance y eficiencia de la inspección de estructuras de acero en Costa Rica, así como qué puntos se consideran debilidades que son oportunidades de mejora a considerar en la metodología de inspección.

Resumen de resultados

Se consideró un insumo valioso para el análisis de la encuesta la valoración que dan los profesionales a la inspección de estructuras metálicas según su experiencia y conocer deficiencias que han identificado los encargados a lo largo de su ejercicio profesional. Por esta razón, se realizó una pregunta abierta, donde cada profesional tuviera el espacio para mencionar las debilidades y puntos de mejora que se necesitan en las inspecciones de estructuras de acero.

Se le consultó a los encuestados si consideraban que la inspección y seguimiento de la calidad en la fabricación de estructuras de acero era adecuada. En la Figura 50 se observa

que el 75% de los encuestados consideran que no es adecuada, que no está bien especificada y que normalmente los encargados no tienen la capacidad para ejecutarla adecuadamente. Además, un 18% considera que sí es adecuada, pero depende directamente del tamaño del proyecto. Esto se ha logrado observar varias veces durante el análisis de la encuesta, donde se cataloga que un proyecto pequeño, no necesita o no tiene la capacidad de tener una inspección efectiva, mientras que proyectos de mayor presupuesto, sí deben cumplir con todas las especificaciones y personal capacitado para la tarea.

Al tener un porcentaje tan amplio que considera que la inspección actual no es la adecuada, se logra justificar la importancia de estandarizar y guiar a los profesionales en una correcta inspección. La elaboración de una guía de inspección de estructuras de acero es necesaria con el objetivo de mejorar las condiciones y facilitar el aprendizaje y adopción de buenas prácticas avaladas por la experiencia y normativas vigentes en el país.

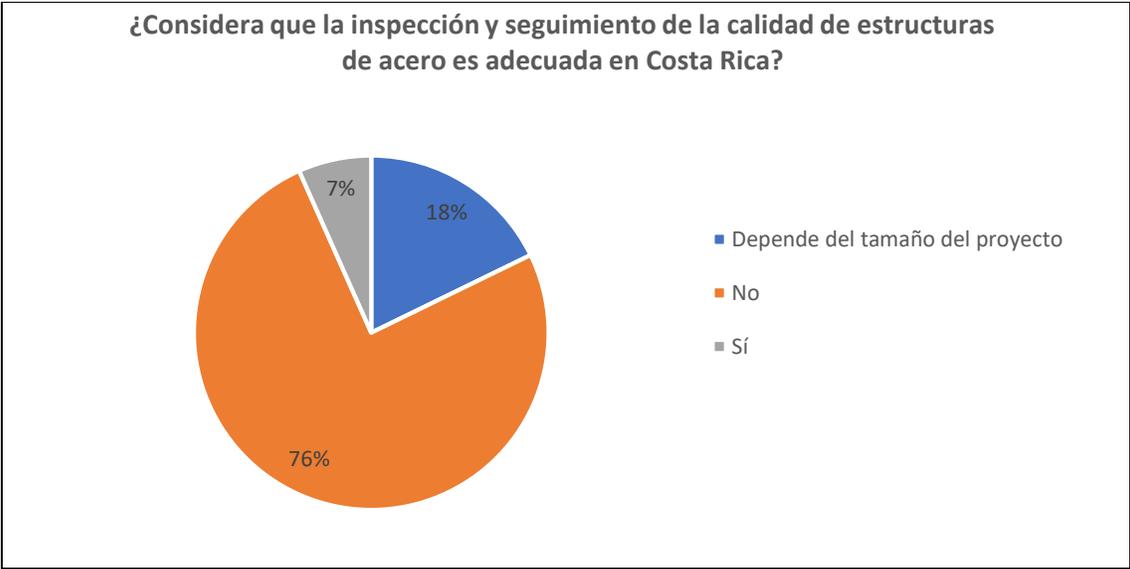


Figura 50. Opinión de calidad y alcance de estructuras de acero en Costa Rica

Posteriormente, se le consultó a los encuestados qué oportunidades de mejora observaban con respecto a la inspección de estructuras. Esta pregunta es esencial en el desarrollo de la metodología de inspección, ya que si bien es cierto a lo largo de la encuesta se identifican debilidades en el proceso, aquí se exponen de forma directa desde la experiencia del profesional y dirigir esfuerzos en mejorar las condiciones expuestas en el Cuadro 12.

La principal oportunidad de mejora que halló fue la capacitación profesional de los inspectores (37%). Esto es consecuente con los demás resultados de la encuesta, por ejemplo, se muestra en la Figura 34 que un 33% no ha realizado inspecciones de estructuras porque no está suficientemente capacitados. Además, en la Figura 44 se muestra como un 56% de los encuestados nunca ha recibido capacitación en el área, además, un 88% de los encuestados ni siquiera conoce la oferta de capacitación disponible en el país (Figura 45).

Los resultados indican que la capacitación de los profesionales en ingeniería debería ser una de las prioridades a trabajar, para preparar adecuadamente a los encargados de obra para mejorar la inspección de estructuras de acero en el país. Además, se debe mejorar la promoción de la oferta de capacitación en el país. Actualmente existen varios cursos de capacitación, sin embargo, no es conocida por la mayoría de los profesionales.

También sería conveniente que se revise los programas de estudio en diferentes universidades. Los resultados indican que los profesionales en ingeniería civil reconocen que se gradúan con pocas herramientas para hacerle frente a un trabajo de inspección, por lo que se capacitan de forma autodidacta o bien, se ejecutan las labores según el criterio del profesional.

Otra oportunidad de mejora hallada en la encuesta es la inclusión del costo de inspección dentro del presupuesto inicial de la obra. Como se comentó anteriormente, se hace una distinción entre obras pequeñas y obras grandes. Sin embargo, este criterio resulta escueto y poco acertado para tomar la decisión de realizar un tipo de inspección o no. El criterio que debe valer en este caso es el del profesional a cargo, el cual debe guiar y proponer las medidas necesarias en la obra para asegurar la calidad e integridad del proyecto. Una propuesta para realizar un adecuado costeo del proceso de inspección es utilizar adecuadamente la tarifa establecida por el CFIA, de esta manera, se escalaría proporcionalmente al costo total y magnitud del proyecto.

Además, el uso de detalles y procedimientos precalificados, es una estrategia efectiva para lograr disminuir los costos de inspección de estructuras donde no exista un monto a la inspección asociado.

Debe tomarse en cuenta y realizar un planeamiento previo de inspección de la estructura. Si bien es cierto no todos los proyectos van a necesitar aplicación de ensayos no

destructivos, o la visita de un inspector certificado todas las semanas, se debe planificar y presupuestar en caso de que sí lo sea. Esto es un rubro primordial para asegurar la buena ejecución del proyecto.

Cuadro 12. Oportunidades de mejora identificadas por encuestados

Oportunidades de mejora	Porcentaje
Capacitación profesional de inspectores	37%
Inclusión de costo de inspección en presupuesto	13%
Normativa o procedimiento de inspección adecuado	13%
Certificación de materiales y soldadores	8%
Uso de END	8%
Acreditación de personal inspectores y soldadores	5%
Proyectos grandes más rigurosos, proyectos pequeños es un costo que no se paga	5%
Formación académica, curso práctico de acero	2%
Frecuencia de inspecciones	2%
Inspección de soldadura	2%
Planos de taller de mala calidad	2%
Uso de personal calificado	2%
Inspección más adecuada en mejoramiento de suelos mediante pilotes metálicos	1%

Es importante destacar que el 13% de los encuestados considera no tener una normativa o procedimiento de inspección adecuado para guiarse y ejecutar bien esa labor. Los resultados de la encuesta confirman la necesidad de desarrollar una guía de inspección.

Se destacan también varias oportunidades de mejora que se incluyen en la guía de inspección. Por ejemplo, el uso de END, el uso de personal calificado para las inspecciones, mejorar la frecuencia de las inspecciones, mejorar los planos de taller e incluso la certificación de los materiales que se están utilizando en el proyecto.

4. CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

El proceso de inspección de las estructuras de acero es crítico durante un proyecto que involucre el uso de este material. No obstante, cuando se habla de inspección de estructuras de acero no se delimita únicamente a inspeccionar la calidad de los materiales, las soldaduras o los pernos en sus uniones, sino que es un proceso amplio, que nace desde la concepción del proyecto hasta el momento en que la estructura está en servicio.

En el Capítulo 3 del presente documento, se logró evidenciar la importancia de la elaboración de una metodología de inspección de estructuras de acero en Costa Rica, además de las principales oportunidades de mejora identificadas por los ingenieros encuestados. El objetivo principal de este capítulo es brindar una descripción general de la herramienta de inspección que se le brindará a los ingenieros o directores de proyecto, basándose en los resultados de la encuesta, en la experiencia de los expertos entrevistados, en la revisión de la bibliografía y normativa aplicable para cada uno de los diferentes procesos de fabricación de estructura de acero considerados en este proyecto. Esta metodología de inspección tiene el propósito de servir de guía para realizar un trabajo objetivo y fundamentado, además de ofrecer la información de referencias adicionales en caso de necesitar profundizar en una temática específica. La herramienta fue desarrollada en Excel para que sea fácilmente utilizable por parte de los profesionales y además para que sea adaptable a diferentes proyectos. En el Apéndice 1 se incluyen cada uno de los formularios elaborados para facilitar la inspección de los diferentes aspectos que se debe evaluar en un proyecto que involucre estructuras de acero. En este capítulo se presenta únicamente las generalidades con el propósito de brindar una visión global de la metodología.

4.1. Estructura general de metodología

Toda metodología debe tener una estructura general definida, en donde se establezca adecuadamente las diferentes etapas del proyecto, para así guiar al usuario y brindar una mejor aplicabilidad del proceso.

En los proyectos de construcción en Costa Rica es común que se haga el uso del "PMBOK GUIDE", elaborado por el Project Management Institute (PMI). Esta guía es utilizada para la gestión de proyectos de todo tipo y normalmente es muy utilizada en la gestión de proyectos

de construcción a nivel nacional. Además, esta metodología se basa en la norma ISO 21500 "Guía para la gestión de proyectos", la cual es una norma de referencia internacional en la gestión de proyectos. El PMBOK Guide posee una estructura aplicable a cualquier proyecto, ya sea de construcción o de otras áreas productivas. Debido a que esta estructura ya ha sido adoptada por el sector construcción del país y existe una amplia capacitación en esta área, se utilizó una estructura similar para la guía de inspección del proyecto de graduación. Al tener una organización que se adapta fácilmente a escenarios tan distintos uno de otro, se considera que es valioso porque la guía de inspección de estructuras de acero pretende lo mismo. Se presenta un modelo amplio, que guíe al profesional en cualquier proyecto que incluya estructuras de acero. En la Figura 51 se muestra el diagrama general del planteamiento del PMBOK Guide para la gestión de proyectos, mientras que en la Figura 52 se muestra un diagrama general de la metodología de inspección propia.



Figura 51. Estructura general del PMPBOK Guide (PMI)

En la Figura 52 se muestra una generalización de toda la metodología, con el propósito de ejemplificar la estructura de la guía de inspección de estructuras de acero que se plantea en la investigación. No se pretende seguir la metodología *del PMBOK Guide* al pie de la letra,

sino elaborar una adaptación con base a todos los insumos necesarios para elaborar una metodología fácil de aplicar y útil en la realidad nacional.



Figura 52. Diagrama de estructura general de metodología de inspección

El PMBOK Guide tiene definidas 5 etapas de vida de un proyecto, con 10 áreas de conocimiento que se relacionan entre sí, además de un total de 49 procesos específicos. Todos estos procesos tienen como objetivo común llevar al éxito al proyecto que se está gestionando. En la Figura 53 se muestra un diagrama de las 5 etapas de vida de un proyecto, las cuales serán las mismas 5 etapas que se aplican en la guía de inspección propia. De esta manera, se mantiene una estructura fácil de utilizar, que resulta clara, define los límites y alcances de cada uno de los procesos y los responsables en cada uno de ellos. En la Figura 54 se presentan los procesos identificados para un proyecto que incluya estructuras metálicas.

La metodología también tiene como objetivo facilitar la asignación de los responsables de cada uno de los procesos, identificando los diferentes partícipes de cada etapa y su grado de responsabilidad en la misma. Esto es fundamental para ordenar el proceso, ya que actualmente se ha logrado identificar, según los resultados de la encuesta realizada, que no resulta claro el alcance del trabajo de cada uno de los involucrados en los proyectos de

estructuras metálicas, y es algo que debe definirse apropiadamente en la etapa inicial del proyecto.



Figura 53. Etapas de un proyecto según el PMBOK Guide

Fuente: (Lledó, 2017)

De la figura anterior, es importante destacar que el proceso de monitoreo y control está presente a lo largo de todo el proyecto. La inspección de estructuras de acero forma parte de este proceso, ya que es donde se identifican errores y se les da seguimiento hasta asegurar su debida corrección.

Según se indicó anteriormente, los procesos por inspeccionar en estructuras de acero se muestran en la Figura 54. Estos procesos son puntos críticos y deben analizarse para asegurar la calidad de las estructuras. Los diferentes procesos identificados se asignan a las 5 etapas del proyecto y se define un eje lógico de inspección. En el Cuadro 13 se muestra la distribución de los procesos de inspección en cada una de las etapas de la metodología.

Es importante destacar que hay procesos que se encuentran a lo largo de varias etapas de la metodología, sin embargo, tienen enfoques distintos en cada una de ellas. Los procesos que abarcan varias etapas son procesos críticos que deben planificarse, ejecutarse, controlarse y entregarse al cliente de forma detallada, por lo que no se pueden delimitar a una sola etapa del proyecto. Algunos de los procesos críticos que se encuentran en varias etapas de la metodología son: soldadura, recubrimientos y aseguramiento de la calidad. Para estos procesos críticos se debe asegurar tener todos los insumos para su correcta ejecución, por lo que se considera que pertenecen tanto a la etapa de planificación, como a la ejecución y monitoreo de las actividades. Otra actividad crítica es el montaje de la estructura, para la cual se debe analizar un "plan de izaje" desde la etapa de planificación,

con el fin de reducir riesgos durante este proceso y asegurar condiciones óptimas de equipo y ejecución del montaje.

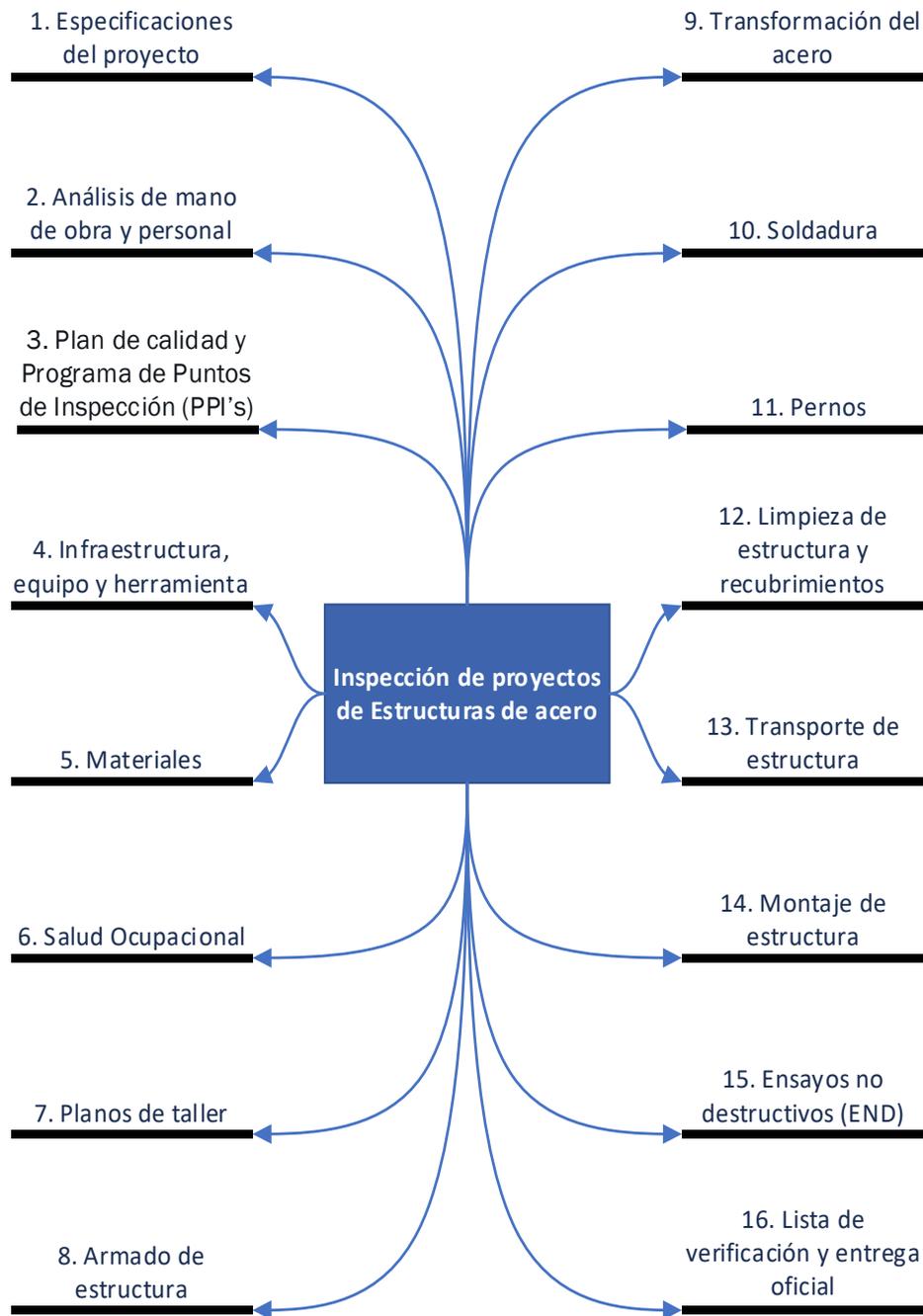


Figura 54. Diagrama de procesos a inspeccionar en estructuras de acero

Cuadro 13. Etapas de metodología de inspección y distribución de procesos críticos

						Etapas de metodología de inspección				
						A. Inicio	B. Planificación	C. Ejecución	D. Monitoreo y control	E. Cierre
Procesos críticos a inspeccionar	1. Especificaciones del proyecto		2. Análisis de mano de obra y personal		6. Salud Ocupacional		15. Ensayos no destructivos (END)		16. Lista de verificación y entrega	
			3. Plan de calidad y Programa de Puntos de Inspección (PPIs)		7. Planos de taller					
			4. Infraestructura del fabricante, equipo y herramienta		8. Armado de estructuras					
			5. Materiales		9. Transformación del acero					
					10. Soldadura					
					11. Pernos					
					12. Limpieza de estructura y recubrimientos					
					13. Transporte de estructuras					
					14. Montaje de estructura					

Además de mostrar la distribución de los procesos en las diferentes etapas del proyecto, es importante notar del Cuadro 13 la numeración de cada uno de los procesos. Según se puede observar en el Apéndice 1, para cada uno de los procesos se elaboró una hoja o formulario en Excel. El número indicado en el Cuadro 13 es el que se utiliza para identificar cada uno de los procesos en la herramienta.

A continuación, se describe brevemente cada una de las etapas de la metodología de inspección, haciendo énfasis en las responsabilidades del ingeniero director del proyecto, por ser a quién estaría dirigida la herramienta de inspección. El ingeniero o director de proyecto tiene diferentes responsabilidades en cada una de las etapas de la metodología de inspección, por lo que se detalla cada una de las etapas con el fin de delimitarlas adecuadamente para brindar mayor claridad.

A. Inicio

Es la etapa inicial una vez adjudicado un proyecto. En esta etapa se define el objetivo principal del proyecto y se conocen todas las especificaciones que exige el cliente en términos de calidad e inspección de las estructuras. En esta etapa se sientan las bases de la planificación y se definen los principales insumos para los planes de calidad. Además, en esta etapa se define quienes son los responsables del proyecto, por lo que se identifican todos los interesados y el nivel de involucramiento que tendrán en las distintas etapas y procesos del proyecto.

Por otra parte, se identifica a quienes se deben rendir cuentas del trabajo realizado y a quien deben exigírsele informes de labor y calidad. La definición de los responsables es un insumo fundamental para todo proyecto, ya que al establecer la responsabilidad de cada parte se eliminará dudas y se guiará adecuadamente al equipo de trabajo para asegurar el éxito del proyecto.

B. Planificación

Una adecuada planificación puede significar el éxito o no de un proyecto, por lo tanto, cuando se trata de la inspección del proceso de fabricación y montaje de estructuras de acero no es la excepción.

En esta etapa se identifican todas las variables del proyecto y se elabora un plan para cumplir con cada una de las especificaciones bajo el estándar exigido. Se deben analizar las variables como herramientas y equipos necesarios. También se debe elaborar un plan de control de calidad completo, el análisis de la mano de obra y personal encargado de realizar las inspecciones. Se realiza el análisis preliminar de los planos de taller, de las condiciones del taller fabricante y, además, se debe planificar los procesos de soldadura, limpieza y aplicación de recubrimientos, ya que son procesos amplios y que según las especificaciones del proyecto pueden ser muy diferentes de una obra a otra.

Otra variable que debe analizarse en la etapa de planificación es el almacenamiento de los materiales, ya que las condiciones de bodegaje y exposición del material antes de procesarse puede afectar su integridad física e incluso las condiciones de seguridad de los trabajadores.

C. Ejecución

La etapa de ejecución es la que contiene más procesos de inspección, por lo tanto, se considera como la más crítica de todas. En esta fase el ingeniero o director de proyecto tiene un papel de integración de equipos de trabajo, con el objetivo de asegurar que cada uno cumpla su papel en el proceso de fabricación e inspección de la obra metálica.

Como se describió en el Cuadro 13, algunos de los procesos críticos a inspeccionar durante esta etapa son: el cumplimiento de todas las normas de salud ocupacional, requerimientos del equipo y herramienta, verificación al detalle de planos de taller, armado y trazo de estructuras, transformación del acero, soldadura, limpieza de estructura, aplicación de recubrimientos según las especificaciones iniciales, transporte de la estructura hasta el sitio de montaje, izaje de la estructura y fijación de la misma. Todos estos procesos tienen puntos críticos a inspeccionar, y se detallarán ampliamente en la herramienta de inspección del presente documento (Ver Apéndice 1).

D. Monitoreo y Control

Como se mencionó anteriormente, la etapa de monitoreo y control se extiende a lo largo de todo el proyecto, con un mayor énfasis durante la etapa de ejecución. En esta etapa el ingeniero o encargado de la obra tiene la responsabilidad de ejecutar el aseguramiento de la calidad según corresponda, además que se hace la recolección de todos los datos e informes que demuestren la correcta ejecución de todos los procesos. Estos documentos y datos serán la base de la etapa de cierre, donde se deben guardar todas las lecciones aprendidas del proyecto.

Asimismo, en esta etapa se ejecutan los ensayos no destructivos y los destructivos con el propósito de identificar todas las acciones correctivas que se deban hacer durante la ejecución, y se brinda una trazabilidad, según corresponda, para asegurar la corrección de los procesos mal ejecutados.

E. Cierre

Es la etapa final del proyecto. En este caso, la principal responsabilidad del encargado es hacer la debida entrega del producto terminado, realizando una verificación de cumplimiento de todos los procesos anteriores de la metodología. Además, se debe realizar una

compilación de toda la información obtenida a lo largo del proyecto, como los puntos débiles identificados en las otras etapas y conservar esa información como lecciones aprendidas para tener una mejora continua en proyectos futuros. Adicionalmente, esta información que se recopila a lo largo del proyecto es también una prueba de la ejecución de un proceso adecuado de inspección y fabricación, ya que brinda evidencias y garantía de un trabajo bien hecho. El trabajo de inspección de un proyecto es amplio, y debe hacerse de la mejor manera en todas las etapas del proyecto, por lo que esta información podría resultar fundamental en caso de que a largo plazo exista algún reclamo o inconveniente en la calidad y garantía de la obra.

4.2. Procesos de inspección de estructuras de acero

Como se mostró en la sección anterior, en el Cuadro 13 se muestran todos los procesos que engloba la inspección de estructuras de acero según la presente propuesta. Cada uno de esos procesos está vinculado a una etapa específica de los proyectos con el fin de seguir una línea lógica y coherente en la metodología de inspección. En la presente sección se describen los 16 procesos propuestos, manteniendo una estructura similar en cada uno de ellos. Para cada proceso se incluyen los siguientes aspectos:

- Descripción general.
- Responsable de ejecución del proceso.
- Responsable de inspección del proceso.
- Normativa o reglamento aplicable.
- Insumos necesarios para realizar una inspección adecuada.
- Puntos críticos por inspeccionar.
- Resultados del proceso de inspección y comentarios generales.

Esta es la estructura básica mediante la cual se analiza y propone un método de inspección para cada proceso, integrando finalmente toda la información en la herramienta en Excel incluida en el Apéndice 1. La estructura utilizada permite que sea fácil de aplicar en campo y tener trazabilidad a lo largo de todo el proceso de inspección del proyecto.

En el caso de la herramienta de inspección elaborada en Excel, se genera una hoja programada para cada uno de los 16 procesos descritos en la Figura 54. En la Figura 55 se muestra un ejemplo de un proceso descrito en la herramienta, con una estructura definida similar a la planteada en esta sección. Las partes principales de cada hoja de la herramienta

son la descripción general del proceso, responsables, insumos necesarios para realizar el proceso de inspección y los puntos críticos a inspeccionar.

PROCESO 01. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO			
Descripción general del proceso			
Análisis de las condiciones generales del proyecto, con base a la información contenida en el cartel de licitación, contrato entre partes interesadas y especificaciones técnicas puntuales. Es fundamental para identificar necesidades especiales del proyecto y planificar su adecuada ejecución.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso de análisis de especificaciones			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
01. Materiales	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Las especificaciones están completas?			05. Materiales
¿Se identifican el tipo de secciones de acero a utilizar?			Anexo 1
¿Qué grado de acero se utilizará? (Según normas ASTM)			[2]
¿Nacional o de importación?			
02. Normativa, códigos o reglamentos internos			
¿Se aplican estándares de calidad normados o sistemas de gestión de la empresa?			
¿Existe normativa específica para el proyecto? Especifique:			
03. Cronograma general de la obra			
¿Se tiene un cronograma general?			
¿Se proyecta iniciar a tiempo?			
Posibles atrasos en inicio de producción:			
04. Mano de obra			02. Análisis de Mano de obra
¿Se requiere mano de obra especial para ejecutar el proyecto? Indique:			
¿Es necesaria la presencia permanente de un ingeniero en obra?			
¿Es necesaria la estancia permanente de un CWI?			CWI
05. Restricciones en obra			04. Infraestructura y equipo
¿Hay espacio para bodega / Oficina?			
¿Hay espacio para armado y movimiento de piezas?			
¿Existen estructuras sensibles a daños en la obra? Especifique:			
¿Espacio para almacenamiento de material?			
06. Salud ocupacional			06. Salud Ocupacional EPP
¿Es obligatorio el uso de EPP certificado?			
¿Es necesario recibir charla para ingreso a proyecto? ¿Quién brinda la charla?			
¿Aplica alguna norma especial de salud ocupacional?			
07. Equipos o herramientas especiales			04. Infraestructura y equipo
¿Se cuenta con el equipo necesario?			
¿Se debe importar equipo?			
¿Se indican detalles del equipo a utilizar? Indique:			
08. Tipos de soldadura			10. Soldadura Glosario
Proceso de soldadura:			
Otras especificaciones:			
09. Preparación de superficies y recubrimientos			12. Limpieza y recubrimientos
Grado de limpieza de superficie			
Tipo de recubrimiento a utilizar:			
Años de garantía del recubrimiento:			
10. Tipos de pernos de anclaje y unión			11. Pernos
Tipo de perno de anclaje:			
Tipo de perno de unión:			
Otras especificaciones:			
11. Especificaciones de inspección			
Frecuencia de inspecciones:			
¿Es necesario personal certificado?			
Indique la certificación:			
12. Reglamentos ambientales			
¿Se especifica reglamento de disposición de residuos?			
¿Es un proyecto LEED?			LEED
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso	

Figura 55. Ejemplo de formato de análisis de proceso planteado en la herramienta de inspección de Excel

4.2.1. Especificaciones del proyecto

Descripción general

Las especificaciones técnicas de un proyecto son parte de los documentos que contiene el contrato en donde se definen las exigencias de calidad de este. En las especificaciones se define lo que el propietario de la obra desea y con base a esta información, se realiza la supervisión e inspección de los trabajos (Castañeda, 2011). Esta información resulta básica para elaborar un adecuado plan de calidad e inspección de la obra. Se debe conocer de antemano cuales van a ser las exigencias del cliente tanto para el fabricante de la estructura como para el responsable de la obra. EL cumplimiento con estas especificaciones disminuye los riesgos de problemas o reclamos y ejecución de garantías.

Responsable de ejecución del proceso

El análisis de las especificaciones del proyecto consiste en varias etapas. Normalmente existe un análisis por parte del equipo de presupuestos, el cual se encarga de analizar la obra y con base a planos originales, dar un precio por su fabricación. Posteriormente, una vez adjudicado el trabajo, el director de proyecto debe revisar las especificaciones previo a asumir el puesto asignado.

Responsable de inspección del proceso

Al ser un proceso interno del fabricante, no se considera que deba inspeccionarse el proceso por un ente externo. Es recomendable analizar el proyecto previo al inicio de la planificación, sin embargo, es decisión del fabricante de cómo y el alcance del análisis que se realice.

Normativa o reglamentos aplicables

Todos los proyectos de construcción se van a regir por normas, códigos o reglamentos previamente definidos, que van a garantizar la calidad con la que se ejecutan las diferentes actividades. Pero también las normas establecen algunas restricciones y es por esto por lo que resulta fundamental que el encargado de la obra conozca de antemano cuales son estas normas aplicables para poder ponerlas en práctica y planificar su ejecución en el proyecto. Por ejemplo, hay empresas que rigen sus estándares de calidad bajo la norma ISO 9001:2015 *Quality Management Systems* (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2015) o bien proyectos que se catalogan como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Si un proyecto está catalogado como LEED existe una serie de restricciones a nivel ambiental que deben analizarse previamente al inicio del proyecto.

Las normas anteriores se refieren a la ejecución de los proyectos, pero el diseño de las obras debe ser conforme con los códigos de diseño y construcción vigentes, tales como el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2010 Rev 2014), y los códigos que este mismo referencia con respecto a estructuras de acero (Códigos AWS y AISC).

Por último, cada empresa tiene sus propias reglas y especificaciones a seguir, por lo que es necesario analizarlas con el fin de poder aplicarlas en el proyecto.

Insumos necesarios para análisis

Para poder realizar un análisis completo de las especificaciones y tener claridad con respecto a las mismas, es necesario tener acceso a las siguientes documentaciones del proyecto:

- Cartel de licitación (en caso de que exista un proceso de este tipo)
- Contrato oficial firmado entre propietario y empresa encargada del desarrollo del proyecto.
- Presupuesto desglosado de la oferta adjudicada.
- Planos originales del proyecto.

Con base en estos documentos se analizan también las especificaciones del proyecto para tener un panorama claro y general de las necesidades, retos y responsabilidades que se deberán cumplir en el proyecto a ejecutar. En el caso de un proyecto de estructura de acero, las especificaciones pueden ser sumamente variables, por lo que resulta crítico realizar este análisis antes de iniciar todos los procesos y elaborar un plan de proyecto.

Puntos críticos por inspeccionar

Cuando se analiza las especificaciones de un proyecto de acero se deben tener claros los puntos que se detallan a continuación, ya que afectarán directamente el proceso de producción y montaje de las estructuras y por ende, la inspección de calidad.

Materiales

Se analiza el tipo de acero que se utilizará en la obra. Por ejemplo, si serán perfiles W, HSS, perfiles laminados en frío, secciones armadas, etc. Esto es de suma importancia ya que la disponibilidad de los materiales en el mercado local es limitada, y los tiempos de importación desde el extranjero pueden llegar a afectar el cronograma del proyecto y la calidad de este.

Con base en el análisis del material que se va a utilizar se definen los equipos, tipos de soldadura y demás procesos necesarios para poder procesarlo adecuadamente.

Otro aspecto fundamental por revisar es el grado del acero que se define tanto en las especificaciones como en los planos. Muchas veces los diseñadores estructurales no conocen los grados en que se fabrican los perfiles y por consiguiente se hace imposible encontrar ciertos materiales especificados para el proyecto.

Cronograma general de obra

Es necesario tener a disposición el cronograma general de la obra para poder planificar adecuadamente las inspecciones a realizar. Además, existen eventos críticos de producción y montaje que deben estar identificados con el fin de que exista una adecuada supervisión de estas actividades cuando vayan a ser ejecutadas. Esta información es base para un plan de calidad correctamente planificado.

Mano de obra

Se debe identificar el tipo de personal que va a ser necesario en la obra para poder ejecutar las actividades contratadas. En algunos carteles de licitación se exige la presencia permanente de profesionales de inspección e incluso de un inspector de soldadura certificado (CWI por sus siglas en inglés). Es necesario tener identificados los perfiles de puesto desde el inicio del proyecto, ya que, si la especificación o el contrato lo exigen, debe cumplirse y debe planificarse el recurso con anticipación y se debe contemplar el costo asociado al mismo.

Restricciones en obra

Cuando se realiza la inspección previa en el sitio de trabajo se debe identificar la mejor forma para realizar el montaje de la estructura y considerar las restricciones que existan en el diseño del montaje. Se debe analizar los espacios para movimientos de las piezas, armado en suelo y bodegaje de materiales. En muchas obras cuando se tienen varios contratistas trabajando simultáneamente se restringen los espacios de trabajo y se convierte en un reto alcanzar el balance de tener la cantidad adecuada de material para no detener el avance de la obra, pero no necesitar demasiado espacio para bodegaje de piezas. Es importante revisar las especificaciones para asegurar si es permitido mantener gran cantidad de material en sitio.

Otra restricción que se puede hallar en la obra son las estructuras ya existentes en campo. Frecuentemente se deben instalar elementos metálicos cerca de ventanales, pisos terminados o piezas arquitectónicas que ya están en su etapa de acabado final, por lo que

los trabajos de la estructura metálica podrían ocasionar daños a estos elementos. Es importante considerar este aspecto con antelación y presupuestar la protección adecuada de estas estructuras.

Salud Ocupacional

La salud ocupacional es uno de los puntos más críticos en el sector construcción. Existen reglas estrictas para asegurar que el personal operativo realice sus actividades de forma segura y controlada, tanto en taller como en campo. La salud ocupacional establece técnicas de trabajo mediante las cuales se disminuyen la posibilidad de accidentes incapacitantes o fatales, y también brinda una mayor comodidad y seguridad al empleado, por lo que será más eficiente y el resultado de su trabajo será de mejor calidad.

Como mínimo, se deben mantener estándares de salud ocupacional básicos para cada actividad de la fabricación y montaje de estructuras de acero. Sin embargo, hay clientes que tienen estándares más exigentes y deben de considerarse desde el inicio del proyecto, ya que esto implica contratación de personal, costos más elevados y una mejor planificación por parte del director de proyecto para asegurar que todas las especificaciones se cumplan y se trabaje en conjunto con el equipo de seguridad de la obra. Estas especificaciones se pueden revisar en el contrato y cartel de licitación del proyecto.

Equipos o herramientas

En el caso de los equipos o herramientas necesarios para la ejecución del proyecto, no necesariamente van a estar de forma explícita en las especificaciones, sino que es responsabilidad de los encargados del proyecto determinarlos al revisar las especificaciones de los materiales, de la pintura y montaje.

En algunos casos se exige el uso de herramientas de medición para la inspección, como micrómetros y galgas de medición de soldadura, por lo que debe tenerse previsto a tiempo estos equipos en el equipo de producción y control de la calidad.

Tipos de soldadura

En esta sección es de suma importancia analizar si se tiene la capacidad de realizar el tipo de soldaduras que se especifican en el contrato. La soldadura es un proceso que se relaciona directamente con los materiales, el equipo y la mano de obra, por lo que se deben analizar de forma conjunta.

Por ejemplo, normalmente en los talleres se realizan los procesos de soldadura mediante proceso GMAW y en campo se hace la aplicación del SMAW, sin embargo, si las especificaciones indican lo contrario se debe tomar en cuenta, ya que estas variaciones podrían afectar la calidad del producto final. (En la sección 2.5.3 de Marco Teórico se explican las diferencias de los procesos)

Preparación de superficie y recubrimientos

Tener claro el tipo de preparación de superficie y el tipo de recubrimiento que se va a aplicar es uno de los puntos más importantes al analizar las especificaciones generales del proyecto. Los diversos recubrimientos y métodos de preparación implican diferentes equipos, herramientas, personal capacitado y costos, por lo tanto, debe definirse desde el inicio del proyecto y planificar adecuadamente con antelación. Por ejemplo, los equipos y personal necesarios para alcanzar una superficie en grado de limpieza SSPC-SP3 (limpieza mecánica) es totalmente diferente a los equipos necesarios para un SSPC-SP6 (limpieza mediante chorro de arena) (Montipower - Surface preparation technologies, 2020). Los costos son diferentes y su inspección también, ya que se necesitan diferentes equipos de medición y un plan de trabajo más robusto para inspeccionar un proceso de "sandblasting".

De igual forma ocurre con los recubrimientos. Por ejemplo, la aplicación de pinturas epóxicas, las cuales necesitan condiciones ambientales específicas para aplicarse adecuadamente, generan un cambio importante en el plan de inspección y dirección de los proyectos.

El análisis a fondo y definición previa de los recubrimientos y métodos de limpieza son la base para elaborar un adecuado plan de inspección de recubrimientos en estructuras de acero.

Tipo de pernos de anclaje y unión

En el caso de los pernos de anclaje y pernos de unión entre elementos metálicos, es importante observar de qué tipo se necesitan de acuerdo con los planos y las especificaciones del proyecto. Con esto se puede definir si va a ser necesario la importación de pernos desde el extranjero, ya que en Costa Rica no existe un amplio "stock" de estos insumos.

El tipo de pernos que se utilice también afecta la inspección de la obra. Dependiendo del tipo de perno que se vaya a utilizar, también serán las condiciones de torque que se le apliquen y la forma en que se verifica, por lo que para el director de proyecto es importante conocer de antemano esta información antes del inicio del proyecto. Si existen especificaciones en el torque de los pernos se pueden necesitar equipos especiales para asegurar la presión en los anclajes.

Especificaciones de inspección

En algunos casos, en el cartel de licitación o en las especificaciones del proyecto se exige la permanencia o visitas recurrentes de un profesional supervisor en la obra. Esto debe analizarse con antelación, ya que implica planificación y un costo asociado elevado, ya que es mano de obra profesional calificada. Además, se debe analizar si el profesional que se exige en el proyecto debe cumplir con requerimientos específicos de certificación o experiencia mínima comprobable para poder ejecutar esta labor.

Reglamentos ambientales

En la actualidad, las reglas ambientales y manejo de residuos en el sector construcción son muy estrictas. Cada parte involucrada del proyecto tiene la responsabilidad de hacer un manejo adecuado de los residuos que genera en sus labores diarias.

En algunas ocasiones, en los carteles de licitación, contrato o especificaciones del proyecto, se incluye un apartado que indica la forma en la que se va a hacer la disposición de los desechos generados durante la ejecución del proyecto. Se debe prestar atención si esta disposición debe realizarse mediante un tercero certificado que brinde un comprobante que se hizo el adecuado proceso.

Otro punto importante a analizar es que algunos proyectos prohíben el uso de ciertas sustancias. Por ejemplo, el uso de recubrimientos o diluyentes que son más contaminantes por su composición química. Por lo anterior, debe analizarse si se puede hacer uso de estos materiales en el proyecto o deben hallarse alternativas que cumplan con la especificación.

Seguridad en la obra

Muchas obras tienen problemas a nivel interno con la seguridad del proyecto. Es común ver casos de robos de herramienta y materiales por parte de los mismos empleados de la obra o personas externas. En proyectos grandes donde convergen varios contratistas

simultáneamente generalmente es responsabilidad de cada contratista velar por la seguridad de sus equipos y materiales. Sin embargo, en proyectos donde se es el contratista general se debe especificar y controlar adecuadamente la seguridad.

Resultados del proceso de inspección y comentarios generales.

Como se describió anteriormente, el análisis de las especificaciones es amplio y de suma importancia, ya que se analiza la información básica con la cual se podrá dirigir y ejecutar el proyecto cumpliendo con lo especificado para que sea exitoso. Además, es importante señalar que en el contrato entre las partes se asume una responsabilidad por brindar un servicio adecuado y congruente con lo que el cliente espera, por lo que el análisis de las especificaciones es básico para cumplir adecuadamente con el trabajo asignado. Como principal resultado de este análisis se tiene:

- Claridad en alcance del proyecto en todos los aspectos descritos en esta sección.
- Información de las necesidades y retos que se tendrán en cada etapa de la construcción del proyecto.
- Información base para desarrollar un plan de calidad, para la elaboración de un plan de puntos de inspección y el cronograma de inspección de obra.
- Conocimiento detallado de cualquier especificación o necesidad no común en proyectos de construcción.

4.2.2. Análisis de mano de obra y personal

Descripción general

Al realizar el análisis de la mano de obra y personal del proyecto, se definen dos ejes principales y básicos:

- Capacidad de los colaboradores para ejecutar las actividades con la calidad especificada, el tiempo y forma requeridos.
- Condiciones de trabajo de los empleados, que sean dignas y que se cumpla con todos los requerimientos impuestos por ley en Costa Rica.

Es importante recalcar que las condiciones de salud ocupacional serán detalladas en la sección 4.2.6 en el proceso de "Salud Ocupacional" de la metodología de inspección. Se

detalla por aparte ya que es un proceso amplio y fundamental durante una inspección de obra.

Responsable de ejecución del proceso

El principal responsable de la gestión del personal es el director de proyecto, sin embargo, es una responsabilidad compartida con otros departamentos de la empresa. El departamento de recursos humanos, o bien, el encargado de la gestión debe velar por que se cumplan todos los requerimientos de ley y condiciones laborales apropiadas. Además, se debe realizar la contratación de personal competente y experimentado en las áreas requeridas en el proyecto.

Responsable de inspección del proceso

Existen entes externos que se encargan de velar el cumplimiento de requerimientos de personal. Por ejemplo, el cumplimiento de las condiciones mínimas de trabajo, como seguridad social y pólizas, son verificadas por las diferentes instituciones estatales o privadas que brindan el servicio. Además, se pueden contratar entes externos para la verificación y calificación del personal, para realizar un proceso más transparente y objetivo de las capacidades técnicas de los colaboradores.

Normativa o reglamentos aplicables

Como principales normativas relativas al estudio e inspección de la calidad de la mano de obra y condiciones labores se destacan los siguientes:

- Ley N° 2 de la República de Costa Rica – Código de Trabajo, promulgada el 27 de agosto de 1943.
- Inspecciones de trabajo en el sector de la construcción – Guía para inspectores del trabajo – Organización Internacional del Trabajo.
- AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel. (Ver sección 4. Qualification).

Insumos necesarios para análisis

Para poder realizar una adecuada inspección y estudio de la mano de obra del proyecto se debe contar con lo siguiente:

- Especificaciones del proyecto y contrato entre partes interesadas, con el fin de cumplir desde la planificación con todo lo estipulado y requerido en la ejecución y control.

- Presupuesto desglosado, con el fin de comprobar que está correctamente estipulado y considerado lo que se exige en el contrato. Un claro ejemplo es cuando no se toma en cuenta el costo de inspección especializada de la calidad, por lo que se termina afectando la utilidad del proyecto.
- Certificaciones del personal que ejecuta tareas técnicas.
- Procedimiento de evaluación de personal. Es necesario en caso de requerirse contratar personal nuevo para la ejecución de actividades en obra y asegurar el cumplimiento con el estándar de calidad mínimo requerido.

Puntos críticos a inspeccionar

Según la OIT, en su publicación "Inspecciones de trabajo en el sector de la construcción" (Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2018), en el proceso de inspección de mano de obra se tienen varios puntos críticos a analizar, los cuales se describen a continuación.

Preparación previa para la inspección y análisis de mano de obra

La preparación y planificación del análisis que se realizará tanto en taller como en campo es esencial para hacer una correcta inspección. Como se ha mencionado anteriormente, se debe elaborar una lista de ítems a evaluar durante la inspección, entre los cuales se tienen los siguientes:

- Identificación de los temas que se abarcarán durante la inspección. En este caso, se deben analizar temas básicos como las horas de trabajo, aseguramiento de pago de salario mínimo, trabajo no declarado (informalidad), la seguridad y salud en la obra. Además, se debe analizar que el personal esté capacitado para las tareas que esté ejecutando.
- Identificación del momento más adecuado para realizar la inspección. Hay ciertos momentos de la obra donde hay picos de personal en el proyecto, principalmente cuando se finalizan los procesos de excavación y se inicia con la parte estructural y en la etapa de acabados. En este momento es cuando es ideal analizar las condiciones de trabajo de los empleados ya que es cuando se es más propenso a sufrir un accidente laboral.
- Legislación nacional. Se debe conocer adecuadamente los deberes y derechos de ambas partes (patrono y empleado).

Nivel de formalización de los puestos de trabajo

En el sector construcción, es común la informalidad del trabajo. Constantemente se encuentra personal sin ningún seguro de riesgos de trabajo, sin seguridad social e incluso, trabajando por el debajo del salario mínimo estipulado por ley en el país. Es necesario realizar un esfuerzo, como parte de la responsabilidad social como encargados del proyecto, para que se cumpla con la legislación aplicable y con la formalización del trabajo en las obras que se tienen a cargo. Parte de los requerimientos básicos que se deben tener son los siguientes:

- Relación formal entre patrono y empleado. Se debe tener un contrato escrito y firmado, en el cual se estipulen las condiciones en las que se brinda el empleo y su duración.
- Pólizas de riesgos laborales.
- Inclusión del personal en planillas de la Caja Costarricense del Seguro Social.
- Comprobantes de pago al personal.
- Control de horas laboradas del personal y horario establecido.
- Pago de horas extra y dobles según legislación.
- Pago de todas las cargas sociales estipuladas por ley.

Si bien es cierto, todos estos detalles del personal tienden a ser administrativos e incluso responsabilidad del departamento de recursos humanos de una empresa, el ingeniero de proyecto debe velar también por el cumplimiento de estas obligaciones, debido a que en el momento que no se cumplan adecuadamente, el personal dejará la obra o bien, será poco productivo y eso afectará tanto el cronograma como la calidad en el proyecto.

Es muy común que en el sector construcción exista una tasa alta de rotación de personal. Por esta razón, cuando se tiene personal altamente capacitado y de confianza por su buen desempeño, se le deben brindar condiciones favorables para conservarlo por largos periodos de tiempo.

Condiciones generales de trabajo

Existen condiciones básicas de trabajo que aseguran tanto un ambiente digno como la seguridad de los colaboradores. Es responsabilidad de todo el equipo administrativo y de los directores de proyecto asegurar que se cumplan estas condiciones básicas:

- Lugares para descansar y alimentarse.
- Áreas para almacenar su EPP y pertenencias personales durante la jornada laboral.
- Servicios sanitarios en buenas condiciones y área de lavabos.
- Agua potable e hidratación.
- Igualdad de oportunidades y de trato (sin discriminación)

Cualificación y capacitación

El analizar y comprobar la capacidad de los empleados que están realizando las actividades en el proyecto es un eje principal de la inspección por parte del director de proyecto, ya que va a afectar directamente la calidad de la fabricación y montaje.

Existen diferentes disposiciones y exigencias en los proyectos en cuanto a la calificación del personal. Como se señaló en el Capítulo 3 del presente documento, específicamente en la sección de "Certificación de profesionales inspectores y personal calificado", los resultados de la encuesta muestran que un 62% de los profesionales exigen experiencia comprobable en soldadura y armado de estructuras y únicamente un 32% exigen que esta experiencia sea certificada por algún ente nacional o internacional. A pesar de que la exigencia de la certificación no sea una práctica común actualmente, se recomienda que se debe analizar que se cumpla con lo siguiente:

- En caso de que el proyecto exija personal certificado, el director de proyecto debe asegurarse que los documentos del personal sean válidos y estén al día, y además cerciorarse que la certificación abarca la actividad que está realizando.
- En caso de que no exista una obligación de presentar certificaciones formales, se deben ejecutar pruebas previas a la contratación ya estipuladas por la empresa que contrata. Estas pruebas deben ser específicas para cada puesto que se va a tener en el proyecto y deben ser realizadas y documentadas por personal capacitado en evaluar objetivamente las capacidades técnicas del profesional. Para actividades como soldadura, armado, montaje y pintura, es especialmente crítico que estas pruebas sean realizadas ya que es imprescindible tener experiencia previa para poder realizar las labores correctamente.
- El director de proyecto también tiene la responsabilidad de evaluar los conocimientos y cualificaciones de los supervisores de obra, ya que estos son los encargados de

dirigir al personal operativo en el día a día y tienen un alto grado de responsabilidad en el desarrollo de la obra.

- Es importante destacar que no solo deben evaluarse capacidades técnicas en el personal. El desarrollo de habilidades blandas como la comunicación, liderazgo, trabajo en equipo e innovación pueden resultar igual de importantes que el conocimiento técnico. Actualmente la dirección de equipos de trabajo en la construcción es sumamente compleja y la gestión de personal no es un trabajo sencillo. Si se tienen personas con habilidades en este campo se cuenta con una ventaja importante.

Resultados finales del proceso de análisis de mano de obra y personal

El manejo y dirección de personal no es una tarea sencilla, implica fortaleza y don de mando, además de amplios conocimientos técnicos para poder dirigir correctamente todas las tareas a ejecutar. Se necesitan personas con experiencia y comprometidas con el trabajo para desarrollar los proyectos exitosamente. La tarea del análisis de la mano de obra y personal no es exclusiva del director de proyecto, por el contrario, es una labor interdisciplinaria que debe realizarse en conjunto con el departamento de recursos humanos, los gestores de calidad y los capataces de los proyectos que trabajan día a día con el personal operativo.

Como principales resultados del proceso de inspección y análisis de mano de obra se tienen los siguientes:

- Certificaciones del personal que acreditan su experiencia en labores de metalmecánica.
- Pruebas teóricas y técnicas aplicadas al personal previo a la contratación, que brinden un aseguramiento de la capacidad técnica del colaborador para ejecutar las tareas para las que fue contratado.
- Reporte de condiciones laborales. En este caso se incluye que se cumpla con todas las leyes nacionales y especificaciones que aseguren condiciones dignas y seguras para los empleados de la obra.

4.2.3. Plan de Calidad y Programa de Puntos de Inspección (PPI's)

Descripción general

Como se describe en la sección 2.4 del Marco Teórico, la calidad de un proceso productivo debe planificarse y diseñarse. El plan de calidad va a estar vinculado directamente a las necesidades que tiene el cliente, ya que cumplir y satisfacer estas necesidades es la razón de ser de la actividad económica. Además, se debe tomar en cuenta que este proceso productivo debe estar siempre apegado a las normativas y estándares establecidos, por lo tanto, se debe planear como cumplir con estos dos requisitos de forma simultánea.

La elaboración de un Plan de Calidad que contenga PPI's específicos para cada actividad es una excelente herramienta para los gestores de calidad y personal productivo, ya que les brindará una guía detallada de cómo deben ejecutarse las actividades e incluso detectar cuando un procedimiento no se está aplicando o no está dando los resultados esperados.

Responsable de la ejecución del proceso

El Plan de Calidad del proyecto debe ser elaborado idealmente por el Departamento de Calidad (gestores) de la empresa fabricante, en caso de que exista esta unidad dentro de la estructura organizacional. Los gestores de calidad, en conjunto con los encargados del Sistema de Gestión, elaboran un Plan de Calidad específico para cada proyecto, tomando como base las especificaciones del contrato, las necesidades del cliente y normativa aplicable.

En caso de que no exista Departamento de Calidad, o bien, no se maneje un Sistema de Gestión en la empresa, el ingeniero director de proyecto debe elaborar un Plan de Calidad en donde se especifique los requerimientos mínimos a seguir según lo exigido en el proyecto. El plan de calidad permite coordinar a todos los interesados y colaboradores de forma que sea posible cumplir con el estándar de aceptación.

Responsable de inspección del proceso

El cumplimiento del Plan de Calidad es un trabajo de todos los colaboradores participantes del proyecto, ya que resulta imposible que haya un inspector durante todas las actividades de fabricación y montaje. En caso de inspecciones puntuales, generalmente se asignan gestores de calidad que verifican el cumplimiento de los procesos críticos (QC). También los

ingenieros residentes y directores de proyecto cumplen un papel primordial en la fiscalización de la calidad.

Por otra parte, el aseguramiento de la calidad (QA), debe ser asignado a un ente independiente de la empresa fabricante, la cual realizará verificación de puntos críticos y realizará todos los ensayos descritos en el contrato y el Plan de Calidad con el objetivo de asegurar el cumplimiento de todos los estándares necesarios en proyecto.

Normativa o reglamentos aplicables

Los parámetros de aceptación en el proceso de calidad se establecen a partir de las normas de consulta, reglamentos internos, las especificaciones del proyecto y necesidades establecidas por el cliente. En el caso específico del proceso de inspección de estructuras de acero, se consideran básicos los siguientes documentos:

- Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2010 – Rev 2014)
- D1.1 Structural Welding Code -Steel (AWS): Principalmente en la sección de fabricación de estructuras y soldaduras aceptables de los diferentes procesos.
- D1.5 Bridge Welding Code (AWS)
- D1.8 Structural Welding Code – Seismic Supplement (AWS)
- Specification for Structural Steel Buildings – American Institute for Steel Construction.
- Normas SSPC para preparación de superficies.
- Normas AMPP para aplicación de recubrimientos y fichas técnicas de productos a aplicar.
- Specification for Structural Joints Using High – Strength Bolts – Research Council on Structural Connections.
- Normativas de sistemas de gestión de la calidad.
- Normas ASTM aplicables.

Es importante mencionar que si la empresa ejecutora del proyecto tiene sus propios documentos para definir su estándar de calidad, deben ser incluidos en esta sección ya que son parámetros que deberán tomarse en cuenta en la ejecución del proyecto.

Insumos necesarios para el análisis

Como documentos o insumos necesarios para realizar un adecuado Plan de Calidad y su evaluación, se identifican los siguientes:

- Especificaciones del proyecto.
- Normativa o estándares de calidad a aplicar.
- Estructura de Desglose de Trabajo (EDT): muestra el diagrama de actividades a ejecutar, de forma que se puede planificar la inspección de actividades críticas.
- Contrato entre partes interesadas.

Puntos críticos por inspeccionar

Alcance y aspectos generales del proyecto

Es primordial definir previamente el alcance del proyecto. Esto se analiza ampliamente en el estudio de las especificaciones del proyecto cuando se revisan los planos y el contrato. Esta es la información base para definir el alcance del plan de calidad y los pasos necesarios para implementarlo y cumplir tanto con las normas como con las necesidades del cliente.

En esta sección también se definen los objetivos del plan de calidad específico para el proyecto que se va a ejecutar.

Interesados del proyecto

En esta sección se nombran todos los involucrados en el proceso de control y aseguramiento de la calidad. Además, se incluyen el cliente y sus representantes. Este proceso, a pesar de ser muy puntual, es importante para que no se pierda el enfoque de satisfacción del cliente final en el proceso de calidad.

Términos y definiciones

En algunos casos es necesario establecer los términos que se van a utilizar en el Plan de Calidad, con el fin de asegurar la correcta comprensión del documento. El Plan de Calidad debe ser un documento que brinde una guía de fácil comprensión y aplicación en el proceso de producción y montaje, por lo que cualquier término que pueda generar alguna confusión debe ser incluido en esta sección.

Implementación de la guía de control de calidad

En esta sección se describe paso a paso cual será el proceso por seguir para realizar una adecuada implementación del plan de calidad. Entre los aspectos fundamentales que se deben describir en esta sección están los siguientes:

- Definición de responsabilidades de ejecución de cada proceso de control de calidad en las distintas etapas del proyecto.
- Definición de la periodicidad de las inspecciones de control de calidad, dependiendo de los parámetros definidos en el contrato o bien, la criticidad de la actividad a inspeccionar.
- Detalle del proceso de cómo se realizará el control de calidad de los procesos, mediante qué procedimiento ya previamente estandarizado, con cuales herramientas y qué personal.
- Definición de un cronograma de entregas de los documentos generados durante el proceso de control de calidad. Siempre debe generarse documentación de respaldo del proceso de fabricación y montaje, ya que esto brinda una garantía y seguridad para el fabricante de que se siguieron los procesos adecuados para asegurar la calidad. Además, se proporciona trazabilidad al proceso de control de la calidad. La generación de documentación detallada y bien organizada es el proceso más importante de la implementación del Plan de Calidad.
- Identificación de manera previa de los procesos más críticos tanto en la producción como en el montaje, donde el control y aseguramiento de la calidad serán aún más importantes que en el resto de procesos. Posteriormente, con la ayuda de este análisis se generarán los Programas de Puntos de Inspección.

Documentación

Como se describió anteriormente, la documentación es de suma importancia durante el proceso de control de calidad. En esta sección se definen los documentos que se generarán y se entregarán según el cronograma definido con anterioridad. Además, en muchas ocasiones, es necesaria la ejecución de ensayos en los materiales que aseguren que efectivamente tienen las propiedades que requiere la estructura. Los documentos generados mediante ensayos no destructivos o ensayos destructivos en campo o en laboratorio, son parte de la documentación necesaria para el control y aseguramiento de la calidad.

Por otra parte, se debe definir en esta sección como se hará el seguimiento de los errores o fallas encontradas durante el proceso de inspección. Se debe asegurar que una vez encontrado un error éste sea corregido y además, sea documentada su reparación para que exista trazabilidad de las correcciones.

Por otra parte, la generación de esta documentación brinda información para analizar posteriormente, lo cual es útil para la mejora continua y lecciones aprendidas de cada proyecto y se evita caer en el mismo error continuamente.

Procesos constructivos

Para las personas encargadas de la implementación de un Plan de Calidad es muy útil tener presentes todas las actividades que deben realizarse en la obra, por lo que en esta sección, se hace un listado de las actividades a ejecutar con el fin de brindar un panorama amplio del proyecto, así como una secuencia lógica de la producción y por ende, de su respectiva inspección.

Programas de puntos de inspección

Un Programa de Puntos de Inspección (PPI) es un formulario de control mediante el cual se hace el proceso de inspección de la calidad. Estos PPIs son elaborados con anterioridad a la inspección por el equipo encargado y brindan una guía muy específica y puntual de cada uno de los procesos que deben analizarse de cierta actividad. El programa PPI es una herramienta de inspección, ya que asegura una inspección más objetiva y exhaustiva del proceso. También genera la documentación que respaldará el proceso de fabricación o montaje de una estructura. Permite además tener una trazabilidad de los errores identificados y su eventual corrección.

Algunos datos fundamentales que debe contener un PPI son: el nombre de la tarea que se ejecuta, el procedimiento por aplicar, la fecha de aplicación e inspección, el responsable tanto de ejecución de la tarea como de inspeccionarla y aprobarla, el criterio de aceptación de la tarea, la documentación aplicable a la inspección y si es necesario ejecutar ensayos no destructivos (END). Por último, se debe indicar si la tarea cumple o no con lo especificado y la necesidad del cliente.

Anexos

En los anexos debe incluirse cualquier otra información pertinente para realizar un adecuado control y aseguramiento de la calidad. Se puede incluir información general que resulte útil y mejore el proceso, así como información y datos específicos que deban verificarse.

También en esta sección se pueden incluir listas de buenas prácticas por establecer en el sitio de trabajo, así como un listado de los errores más comunes hallados durante la inspección de todos los procesos.

Por otra parte, en los anexos se pueden incluir fotografías del proceso de inspección, variaciones de los procedimientos, limitaciones que se hayan tenido durante el proceso y que afecten el resultado final de la inspección y cualquier otro dato que se considere valioso de documentar.

Resultados finales del proceso de elaboración de un Plan de Calidad

La elaboración de un plan de calidad específico para cada proyecto va a generar un proceso más estructurado, donde cada parte va a tener claridad en sus funciones y su responsabilidad en la ejecución de las tareas. Adicionalmente permite estandarizar la forma en la que se documenta la información recolectada en las inspecciones. Al final de este proceso se tendrá lo siguiente:

- Identificación de todos los procesos que se deben inspeccionar, así como las tareas que resultan más importantes y críticas.
- Se tiene un "diagrama de responsabilidades", mediante el cual se sabe qué tareas le corresponden a qué grupo o persona, y de esta manera el director de proyecto tiene claro a quien pedir cuentas de los procesos de control de calidad.
- Se tiene la descripción paso a paso con procedimientos estandarizados que facilitarán las tareas de los encargados de la inspección de calidad.
- Se elaboran los Programas de Puntos de Inspección para las actividades más críticas, con los cuales se realizará una inspección más detallada y objetiva.
- Se tendrá documentación del proceso de inspección de la calidad y se tendrá trazabilidad en la corrección de los errores hallados durante la implementación del plan.
- Se generarán informes de calidad elaborados con la información recolectada de los PPIs y los END que se realicen en la inspección.

En caso de querer profundizar más en la elaboración de un Plan de Calidad, se recomienda referirse a la norma ISO 9001:2015. Esta norma puede servir de guía para plantear la estructura general del plan. Para establecer los criterios de aceptación se deben analizar las normas técnicas pertinentes al área a inspeccionar, como se mencionó anteriormente.

4.2.4. Condiciones de infraestructura del fabricante, herramienta y maquinaria

Descripción general

En países como Estados Unidos y Canadá las normativas para llevar a cabo tareas de construcción y diseño son sumamente estrictas. Por ejemplo, para poder ejecutar ciertas obras, se debe contar con una planta de producción certificada para el tipo de actividad que se debe ejecutar. En el caso de puentes, la AISC genera una certificación para fabricar puentes avanzados, intermedios o simples. Si no se cuenta con la certificación correcta, no se tiene permiso de ejecutar la obra. (American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2019).

La realidad de Costa Rica es diferente a la de los países norteamericanos. Es común hallar talleres de estructuras de acero con graves problemas de seguridad ocupacional, con desorden en sus áreas de trabajo, mala iluminación, sin áreas definidas para bodegaje, comedor e incluso algunos sin servicio sanitario. Además, en ocasiones no se tiene un plan de mantenimiento de los equipos y herramientas utilizados en la producción, lo que genera costos altos en reparaciones mayores y en otros casos, que se detenga la producción o el montaje.

Según AISC, en su publicación "Standard for Certification Programs" del 2020, se especifican todos los requerimientos que debe tener un contratista para ser certificado y poder ejecutar cierto tipo de obras. En esta publicación se menciona que una edificación o planta de producción de estructuras de acero debe tener todas sus áreas bien delimitadas, el área de trabajo debe ser un lugar limpio, bien ventilado e iluminado, para poder ejecutar un trabajo que cumpla con el estándar de calidad deseado. Asimismo, indica que se deben de tener los equipos y softwares necesarios para poder desempeñar los procesos de fabricación y manufactura que el contrato del proyecto indica.

Responsable de la ejecución del proceso

Para el caso de los talleres, el encargado de manejar y corroborar que se cumplan todas las condiciones adecuadas es el jefe de taller. Esta persona es la encargada de guiar los equipos de trabajo de producción, además de organizar los espacios para la ejecución de las distintas actividades.

Por otra parte, en el caso de los trabajos en campo, los responsables de guiar y ordenar los frentes de trabajo son los capataces o maestros de obra, así como el ingeniero director y el residente.

Responsable de la inspección del proceso

El aseguramiento de que se cumplen las condiciones adecuadas para la producción en taller y campo es una responsabilidad de todos los involucrados en el proyecto. Sin embargo, quienes deben velar explícitamente por que se cumpla con los requerimientos son la persona encargada de salud ocupacional y los ingenieros encargados de la obra.

Normativa o reglamentos aplicables

Toda empresa que produzca estructuras metálicas debe asegurar que los colaboradores trabajen de forma segura. Es por esto que prioritariamente se debe cumplir con los requisitos de salud ocupacional. Se destacan los principales a continuación:

- Reglamento General de Seguridad en Construcciones – CSO (Decreto N° 40790 – MTSS, Reglamento General de Seguridad en Construcciones)
- Inspecciones de trabajo en el sector de la construcción – Guía para inspectores del trabajo – Organización Internacional del Trabajo (2018)

Insumos necesarios para la inspección

Los insumos necesarios para analizar las condiciones del fabricante, así como sus herramientas y equipos, son los siguientes:

- Planos del diseño de plantas de trabajo
- Plan de mantenimiento de equipos
- Organigrama de la empresa (con el fin de conocer responsabilidades en el proceso productivo de la empresa)
- Fichas técnicas de equipos y herramientas.
- Herramientas básicas de medición.

Puntos críticos por inspeccionar

A continuación, se muestran los parámetros que deben inspeccionarse en relación con la infraestructura de fabricante, sus herramientas y sus equipos. En relación con la infraestructura del fabricante, es importante mencionar que tener un espacio amplio no necesariamente es sinónimo de eficiencia. Tampoco tener las máquinas y herramientas de última tecnología significa una mayor productividad. Existen otros parámetros que deben mantenerse bajo control para llevar a cabo una adecuada gestión.

Condiciones de protección generales

Es necesario tener un espacio donde se esté protegido de cualquier inclemencia del tiempo. Este es el requerimiento más sencillo y elemental de todos, sin embargo, es esencial para poder desarrollar la producción. Idealmente, este espacio debe tener una losa de concreto bien nivelada, sin agujeros o restos de concreto que estorben el tránsito de personal y maquinaria.

Por otra parte, debido a que dentro de las bodegas generalmente se guarda una gran cantidad de herramientas y materiales, éstas deben ser espacios seguros y bien cerrados. El robo de equipo o material puede afectar gravemente un proyecto, por lo que se debe tomar en consideración al realizar una inspección en sitio.

Otro detalle fundamental, es que existan espacios designados dentro de las instalaciones para satisfacer las necesidades básicas de los empleados. Las instalaciones deben tener un servicio sanitario limpio, con sus respectivos insumos, un espacio donde almacenar objetos personales y cambiarse y un comedor para que puedan alimentarse adecuadamente. Estos son requerimientos básicos que en caso de no proveerse afectan el estado de ánimo y el rendimiento de los colaboradores, afectando finalmente la calidad del trabajo.

Designación de espacios para cada subproceso de producción

A pesar de que cada proyecto tiene características diferentes, la producción de estructuras de acero tiene una secuencia lógica de fabricación. Es importante designar espacios para cada una de estas subtarear, de forma lógica y secuenciada para lograr mejorar la eficiencia de la planta y además, para favorecer que los empleados se especialicen en las tareas y sean más productivos en su labor.

Se debe designar un espacio para recibir y estivar adecuadamente el material. Este espacio debe permitir la manipulación del material y además debe estar protegido del agua para evitar corrosión de los materiales. Una vez iniciado el proceso de producción, se deben tener espacios para el proceso de armado de estructuras, donde se puedan realizar trazos y tirar cuerdas de ejes y niveles. Adicionalmente se debe disponer de un espacio adecuado donde cortar el material de forma segura y eficiente.

Durante el proceso de armado, generalmente se hace uso de herramientas manuales y eléctricas. Un punto importante por verificar, es el orden con el que se utiliza este equipo. Normalmente en una planta de gran tamaño, se debe hacer uso de extensiones de corriente y esto puede generar desorden en la planta, menos eficiencia y mayor riesgo de accidentes.

Después del armado, la siguiente subtarea es el resoldado de las estructuras. En este caso hay dos opciones: soldar en la misma área donde se armó, o bien, mover la estructura (la cual está apuntalada y con riostras temporales para evitar que se deforme) hasta el espacio designado para resoldado. Este es un proceso crítico y se debe asegurar al soldador que se van a tener las condiciones ideales para realizar la aplicación correcta de la soldadura. Para ello se debe tener los consumibles adecuados y máquina de soldar que cumpla con el estándar mínimo establecido y el ciclo de trabajo al cual será sometida.

Una vez que la pieza fue resoldada, debe pasar al área de limpieza y pintura. Esta área debe estar aparte de las demás, ya que el proceso es muy diferente y requiere condiciones de seguridad específicas. Otro punto fundamental en el área de recubrimientos es el factor de limpieza. Un taller con gran cantidad de polvo acumulado generará condiciones desfavorables para la aplicación correcta de recubrimientos.

El área de pintura debe estar cerca del área de despacho, ya que una vez que las piezas hayan recibido el recubrimiento, idealmente deben manipularse lo menos posible para no dañar la pintura durante el transporte hasta el sitio de instalación.

También deben existir espacios delimitados para guardar las herramientas y los consumibles, de forma que se mantengan ordenados y protegidos del agua y de los robos. Las bodegas deben ser de acceso restringido para todos los empleados, con excepción de los encargados de la obra y del manejo del recurso.

Capacidad para movimiento de piezas pesadas

Las estructuras de acero tienden a ser muy pesadas y difíciles de manejar sin equipo una vez armadas. Se debe analizar en la inspección de la planta de producción si el taller cuenta con sistemas adecuados para el manejo de los elementos. Existen varios equipos que podrían utilizarse para estas labores, no obstante, la más adecuada es la grúa viajera dentro de las naves de producción. El uso de montacargas para manejo interno también se vuelve indispensable, ya que es muy versátil y puede manipularse en espacios relativamente pequeños.

Es importante identificar la capacidad máxima de levantamiento de los equipos, además de tener un plan de mantenimiento de los mismos. Una falla en un equipo de izaje, puede provocar un accidente fatal para los colaboradores encargados del movimiento de piezas, así como el daño de los elementos elaborados.

Señalización interna y espacios de tránsito delimitados

Se deben establecer espacios de tránsito de personas y equipos dentro de la planta con el objetivo de mantener el orden y reducir los riesgos de sufrir un accidente laboral. Es común observar que cuando la demanda dentro de un taller incrementa, se comienza a irrespetar el espacio de tránsito interno, tanto para producción como para guardar material. Es responsabilidad de todo el equipo director del taller y del ingeniero a cargo de proyectos asegurar que se mantengan libres los espacios establecidos y que se mantenga libre la ruta de salida en caso de un evento natural o incendio en la planta, de forma que permita que el personal se ponga a salvo oportunamente.

Accesos amplios

Se debe verificar, que los accesos a los talleres sean amplios y permitan ingresar con camiones a cargar las estructuras y llevarlas a montaje en campo. Si se tienen accesos amplios, será mucho más sencillo el manejo de ingreso y salida de materiales. Este proceso es importante para evitar que durante el proceso de transporte las estructuras sufran golpes, rayaduras y deformaciones por su manipulación.

También es recomendable tener más de un acceso a la planta de producción, ya que brindaría más opciones para ingreso y salida de material, evitando movimientos innecesarios de piezas terminadas para montaje.

Certificación de mantenimiento preventivo de equipos

El mantenimiento preventivo de los equipos es la forma menos costosa de mantenimiento y una de las más efectivas. Si se realiza el mantenimiento de forma oportuna, la maquinaria tendrá una vida útil mayor y además, el costo asociado a este mantenimiento será mucho menor en horas y materiales. Es por esta razón que todas las empresas deberían tener un protocolo de mantenimiento sobre sus activos.

En algunas ocasiones es necesario presentar la certificación que demuestre que las maquinarias que se están utilizando han recibido el mantenimiento preventivo y cumplen con todos los estándares de seguridad necesarios. En máquinas como grúas o sistemas de izaje, el mantenimiento es más crítico debido a que mantienen suspendidas cargas pesadas y frecuentemente hay personal debajo de ellas. Si llegase a fallar un equipo por falta de mantenimiento podría desencadenar un accidente fatal.

También es crítico el mantenimiento de los equipos que elevan personal para trabajar en altura. Estos equipos deben asegurar que el personal que está trabajando en altura esté seguro en su trabajo, para lo cual se requiere asegurar que la maquinaria está en buenas condiciones y es segura para ejecución del trabajo.

Resultados finales o comentarios del proceso de inspección

Al final del proceso de inspección de las condiciones de infraestructura del fabricante se obtienen los siguientes resultados e insumos:

- Identificación de los puntos de mejora inmediatos, los cuales deben implementarse a la mayor brevedad posible.
- Identificación de los puntos de mejora a mediano y largo plazo. Con esta información se puede elaborar un plan con el fin de realizar una inversión adecuada y bien planificada.
- Proposición de mejoras de la productividad, eficiencia y seguridad de las plantas de producción.

4.2.5. Materiales y consumibles

Descripción general

La inspección de los materiales y consumibles a utilizar en la producción es uno de los primeros pasos para el aseguramiento y control de la calidad. Se debe asegurar que el

material que va a utilizarse cumple con las especificaciones del proyecto, con las dimensiones, composición química y el grado de los aceros. También es importante destacar la responsabilidad que tienen los proveedores de materiales y consumibles, a los cuales se les debe exigir información fiable, garantías por escrito y certificados de molino en caso del acero, además de cualquier otra documentación necesaria para comprobar la calidad de los materiales base.

Responsable de la ejecución del proceso

El análisis de los materiales y consumibles corresponde directamente a las personas encargadas de recibir los materiales para el inicio de la producción, por lo que se considera que el jefe de taller es quien debe realizar y guiar este proceso de inspección. Además, el acomodo del material, de forma lógica secuenciando la producción, también corresponde al jefe de taller.

Responsable de la inspección del proceso

Cuando se desea realizar una comprobación de la calidad de los materiales adicional a lo que el proveedor brinde como documentación oficial de su producto, se debe acceder a realizar ensayos destructivos en laboratorios certificados. La realización de los ensayos permitirá corroborar el grado de los materiales, además de sus propiedades físicas y químicas.

Normativa o reglamentos aplicables

Para asegurar la calidad de los materiales se debe cumplir con lo estipulado en las normas ASTM o semejantes, dependiendo del perfil de acero a analizar. También existen las normas elaboradas por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, las cuales están basadas en la normativa ASTM estadounidense.

Insumos necesarios para la inspección

Para realizar el proceso de inspección de los materiales y los consumibles a utilizar en la producción se consideran necesarios los siguientes insumos:

- Especificaciones del proyecto y contrato entre partes interesadas.
- Planos de taller de estructuras a fabricar.
- Planos originales del proyecto (Aportados por cliente)
- Certificados de molino del material.

- Garantía de calidad del proveedor.
- Ficha técnica de los materiales y todos los consumibles, así como ficha de seguridad.
- Herramientas de medición básicas.

Puntos críticos por inspeccionar

Al realizar la inspección de los materiales y los consumibles, se debe revisar como mínimo los siguientes puntos críticos:

Ingreso del material a la planta y documentación

Al momento de recibir material por parte de un proveedor, se deben verificar puntos básicos que se indican a continuación. En caso de no cumplir con alguno, se le debe notificar al proveedor de manera inmediata para corregir el pedido.

- Verificar que la cantidad de material recibido coincida con el pedido original realizado.
- Verificar el calibre de los materiales. Esto es especialmente importante para secciones de tubería y elementos laminados en frío. Se debe cumplir con los espesores de pared indicados en el diseño ya que es fundamental para asegurar el desempeño de la estructura.
- Se debe exigir el certificado de molino al proveedor (conocido como "Material Test Report"). Con la ayuda de este documento se puede conocer información importante del material, como su país de origen, nombre y datos de la empresa fabricante, número de certificado, fecha de fabricación, descripción del material, número de lote y número de colada del acero. También generalmente se muestra la composición química y valor de carbono equivalente. Además, en el mismo certificado de molino se indica los esfuerzos de fluencia y tensión última del material, ya que resultan imprescindibles para que los inspectores acepten o rechacen el material una vez recibido.
- Se debe realizar una boleta de ingreso de material, la cual es firmada tanto por el proveedor como por el encargado de recibir el material, haciendo constar que el material está en buenas condiciones, que cumple con las características y la cantidad solicitadas.
- Se deben pedir los certificados de calidad y garantía del material al proveedor.

- Se debe verificar el uso de materiales, para lo cual se recomienda tener un control de inventario robusto. Se debe controlar minuciosamente las salidas de material de bodega, ya que es común la pérdida y robo de materiales en el sector construcción.

Condiciones del material

La aceptación del material para iniciar la producción depende directamente de las condiciones con las que el proveedor lo entregue. En el caso del acero, es fundamental verificar el grado de corrosión que posee el material, ya que aunque es incorrecto es común que el acero se almacene expuesto a la humedad, lo que genera corrosión y deterioro del material. Se recomienda analizar el estado del material según lo mostrado en el Cuadro 6 del Marco Teórico. Normalmente un material en grado de oxidación D no debería ser aceptable en ningún caso. Por otra parte, si se llegase a aceptar un material con un grado de corrosión C, implicaría un proceso más extenso en limpieza. Adicionalmente, el consumo de recubrimientos aumenta considerablemente cuando se debe aplicar sobre superficies irregulares, debido a que el perfil de anclaje es mayor al requerido.

Además del nivel de corrosión del material debe verificarse que el material no presente deformaciones, golpes, pandeos o perforaciones que pudiesen afectar su desempeño final, o que implique realizar procesos de reparación del material base para utilizarlo en la producción de las estructuras.

Almacenamiento del material

Normalmente, cuando se recibe un material en planta para producción se utiliza inmediatamente. Sin embargo, en algunas ocasiones es necesario almacenar el material para futuros proyectos, o bien, para utilizarlo de forma paulatina manteniendo un inventario de material. Algunas de las recomendaciones que se pueden mencionar para almacenar productos de acero son las siguientes:

- Separar el material de suelo, evitando que tenga una exposición directa a la humedad que favorezca una velocidad de corrosión mayor.
- Evitar que el material esté expuesto a la lluvia o la humedad. En caso de tener que almacenar el material en exteriores, es recomendable cubrirlo con plásticos y así evitar el empozamiento de agua y constante exposición a la humedad.

- En caso estibar los materiales, es muy importante mantener requerimientos de seguridad y estabilidad del material. No debe estibarse material más alto de lo que los encargados de salud ocupacional indiquen.
- El material que se encuentra estibado puede sufrir deformaciones provocadas por peso propio del material. Se debe verificar no sobrepasar los límites de estiba para no dañar el material.
- El material debe almacenarse de forma lógica, es decir, siguiendo la secuencia de la producción. Los materiales con más fácil acceso deben ser los materiales más próximos por necesitar.
- Es recomendable identificar el material según la actividad y el proyecto en que se va a necesitar. En ocasiones, especialmente las empresas grandes que mantienen varios proyectos en producción simultáneamente, es posible que exista confusión de materiales y se mezclen, lo cual genera desorden y problemas en el inventario.
- Idealmente la zona de almacenaje debe ser de fácil acceso, tanto de forma manual como con equipo para movilizar el material.
- Se debe evitar que el material esté expuesto a químicos corrosivos, aceites o cerca de la zona de aplicación de recubrimientos. Dependiendo del método de aplicación de los recubrimientos, si existe algún tipo de sustancia se generarán trabajos extra de limpieza posteriormente.
- Se recomienda que el material esté almacenado en una superficie plana y bien nivelada, con el objetivo que se mantenga estable durante su periodo de almacenamiento y movimiento.
- En caso que el material esté almacenado en zonas costeras o con ambientes corrosivos, se deben tomar medidas para evitar que se dañe o contamine.
- Es recomendable fabricar "racks" de almacenamiento para los perfiles de tubería, angulares, láminas, entre otros. Estos racks brindan seguridad al almacenar el material, debido a que estarán anclados tanto al suelo como a elementos estructurales de la bodega, brindando estabilidad suficiente para almacenar grandes cantidades de material, además de poder extraer material con mayor facilidad y mejorar las condiciones de orden.

Aplicación de ensayos sobre material base

En ocasiones, los materiales no son nuevos, o bien, se reutiliza un material del cual no se tiene información, como su certificado de molino. En estos casos, es necesario realizar ensayos en el material con el fin de conocer sus características y asegurar el cumplimiento de los requerimientos estructurales del material.

Para conocer el esfuerzo de fluencia del material y, por ende, el grado del acero, es necesario la extracción de probetas del material, y el uso de un laboratorio certificado para realizar ensayos destructivos. Se realizan normalmente ensayos de tensión, para hallar estos valores base y corroborar que el material sí es funcional para el proyecto que lo requiere. En la norma ASTM A370 – 20 se muestran los detalles de este ensayo.

Resultados finales o comentarios del proceso de inspección de materiales

Al final de la inspección de los materiales, se tienen los siguientes resultados:

- Seguridad de la cantidad, calidad y características físicas adecuadas del material base de las estructuras a fabricar. Con esta inspección, se evitan posibles atrasos en la producción por cambios de elementos, además del aseguramiento de la calidad al cumplir con todas las especificaciones del proyecto.
- Se asegura que existan condiciones adecuadas de almacenamiento del material, evitando daños innecesarios que generarán procesos extra en el material y aumentarán los costos y tiempos de producción.
- Se tendrán condiciones seguras de almacenamiento de material, sin exponer a accidentes al personal encargado de sus movimientos.
- Se deben tener los certificados de molino, los certificados de calidad y garantía sobre los materiales, y todas las boletas de recibo y entrega de material, con el fin de mantener el orden en el inventario y que no se pierda materiales.

4.2.6. Salud Ocupacional

Descripción general

La inspección de las condiciones de salud ocupacional, tanto en talleres como en campo, debe ser una prioridad para las partes interesadas de un proyecto. Cumplir con los requerimientos de salud ocupacional disminuirá considerablemente las posibilidades de tener un accidente incapacitante o fatal dentro de la obra.

La salud ocupacional no solo consiste en que el personal cuente con EPP, sino que se encarga de velar por que los colaboradores cuenten con todas las condiciones necesarias para trabajar de forma segura y en un ambiente laboral sano.

Responsable de la ejecución del proceso

Existen profesionales especializados en salud ocupacional. Este ente fiscalizador debe dirigir adecuadamente a los equipos de trabajo en la realización de las actividades de forma segura. Es recomendable, que los gestores de salud ocupacional estén permanentemente en talleres y campo, con el objetivo de asegurar que no se realicen actos inseguros y se mantenga un ambiente de trabajo sano para todos los colaboradores.

Responsable de la inspección del proceso

El responsable de asegurar el cumplimiento de los requerimientos de salud ocupacional es el director de proyecto. Es la persona encargada de dirigir los equipos de trabajo, y por ende, debe exigir realizar las actividades apegadas a las normativas y requerimientos anteriormente descritos.

Por otra parte, existen entidades públicas y privadas que pueden realizar la inspección de las condiciones laborales. En este caso, deben ser entes ajenos al contratista, con el fin de poder evaluar objetivamente su labor y cumplimiento de los requerimientos.

Normativa o reglamentos aplicables

Cada empresa constructora tiene sus propias normativas en salud ocupacional. Sin embargo, se debe cumplir obligatoriamente con el Reglamento de Seguridad en Construcciones del Consejo de Salud Ocupacional (Consejo de Salud Ocupacional, 2017) antes mencionado.

Insumos necesarios para la inspección

Para realizar una adecuada inspección de las condiciones de salud ocupacional en un proyecto se necesitan los siguientes insumos:

- Especificaciones del proyecto: en algunos casos existen requerimientos especiales, como EPP o personal certificado.
- Contrato entre partes interesadas.
- Normativa de salud ocupacional aplicable.
- Conocimientos específicos en salud ocupacional.

Puntos críticos a inspeccionar

Generalidades

A continuación, se describen una serie de generalidades que deben inspeccionarse en todos los proyectos. Estas generalidades son requerimientos básicos de salud ocupacional.

- Filtro de ingreso a zonas riesgosas: Se debe asegurar que para poder ingresar a las áreas de trabajo, tanto en campo como en taller, la persona cumpla con todos los requisitos de ingreso. Debe cumplir con el EPP adecuado, además de haber recibido las respectivas charlas de salud ocupacional.
- Ambiente laboral: Como encargados de los proyectos, se debe asegurar un ambiente sano y agradable para trabajar. En el sector construcción, es común observar que se realizan bromas entre los colaboradores, existen ambientes hostiles y competencias. Los gestores de salud ocupacional tienen la responsabilidad de no permitir que estas situaciones se salgan de control, ya que disminuyen considerablemente la productividad de las actividades y pone en riesgo al personal. Otro aspecto que debe verificarse es que se incentive al personal operativo a mantener buenas prácticas y el respeto entre los colaboradores. Con ayuda de los gestores ambientales y los dirigentes del proyecto se puede mejorar considerablemente la productividad aplicando estas buenas prácticas de convivencia en talleres y proyectos.
- Pólizas de riesgos de trabajo y seguridad social: Para que un colaborador pueda iniciar labores debe verificarse que sus pólizas de riesgos de trabajo y seguridad social estén al día. En caso contrario, no debe permitirse que inicie actividades laborales.
- Gestores de salud ocupacional: Se recomienda que hayan encargados de salud ocupacional el 100% del tiempo en campo y en el taller. Sin embargo, si el proyecto no lo exige de esta manera, pueden coordinarse visitas periódicas y aleatorias por parte del equipo de salud ocupacional.
- Plan de emergencia en áreas de trabajo: Todo el personal de la obra y talleres debe conocer de la ruta de escape en caso de un sismo o incendio y haber recibido capacitación sobre qué hacer en caso de emergencia. Además, se debe mantener rotuladas las diferentes rutas de escape, así como los puntos de reunión seguros.

- Especificaciones de EPP: Se debe verificar si el EPP que se está utilizando en el proyecto y en el taller es el indicado en las especificaciones del proyecto. En algunas ocasiones es necesario el uso de equipo certificado, que tiene un costo mucho más elevado.
- Se debe contar con un botiquín de primeros auxilios en caso de accidentes menores.

Delimitación de áreas y señalización de riesgos

Delimitar los espacios de trabajo y mantenerlos ordenados reduce en gran medida los riesgos de accidentes laborales. Los inspectores de salud ocupacional deben inspeccionar los siguientes puntos clave:

- Señalización de posibles riesgos al ingreso de áreas de trabajo. En la entrada debe señalarse con claridad y de forma gráfica los riesgos a los que está expuesta una persona por ingresar al área de trabajo, además de todo el EPP que debe utilizar dependiendo de las actividades que se van a ejecutar en la zona.
- Se debe verificar que las áreas de tránsito de personas estén bien demarcadas y libres para poder utilizarlas de forma permanente. Es común observar que se invaden estas áreas cuando se tiene una alta demanda de espacio, especialmente en los talleres, sin embargo, debe mantenerse libre para evitar accidentes.
- Las áreas de trabajo deben estar bien iluminadas y además deben contar con una apropiada ventilación.
- Deben existir bodegas para almacenar los productos químicos y pinturas. Es primordial almacenar estos materiales por aparte lejos de cualquier fuente de ignición y con condiciones apropiadas para contener cualquier tipo de derrame que pudiese ocurrir.
- Se debe tener un espacio cerrado y bien protegido para el almacenaje de cilindros de gas. En caso de que un cilindro se caiga y se rompa su válvula, podría generar un accidente grave. Es por esto por lo que se considera obligatorio que todos los cilindros tengan su tapa protectora y que estén amarrados para evitar caídas.
- Todas las actividades que se realicen a más de 1,8 m de altura deben contar con algún tipo de protección anticaídas. En las pasarelas dentro de las instalaciones y en los andamios se deben tener barandales. Se debe utilizar EPP especial para trabajos en alturas.

Documentación

Como se ha mencionado anteriormente, documentar los procesos es muy importante debido a que es un respaldo del cumplimiento de las responsabilidades de cada parte. La empresa empleadora tiene la responsabilidad de brindarle el EPP adecuado a los colaboradores, así como de capacitarlos en el uso apropiado del mismo. Es por esto por lo que se recomienda que se cuente al menos con la siguiente documentación:

- Documento firmado por el colaborador donde se indique que recibió la capacitación inicial para la actividad que va a desempeñar y además, que recibió su EPP nuevo y en buenas condiciones.
- En caso de ser necesario, es conveniente generar documentos de identificación del personal, los cuales deben portar siempre. En proyectos de gran tamaño, donde hay una gran cantidad de personal, esto es importante para mantener el orden de los frentes de trabajo y evitar que haya horas hombre ociosas. Además, en caso de un accidente laboral, se tienen los datos del colaborador de forma inmediata.
- En caso de que algún colaborador no quiera cumplir con las obligaciones de salud ocupacional y ponga en riesgo su integridad o la de los demás, es necesario aplicar una sanción verbal. En caso de ser reiterada, se debe realizar sanción escrita al colaborador. Estas sanciones deben gestionarse y documentarse de forma correcta, ya que si un colaborador reincide en este comportamiento debe sacarse del proyecto.
- Es importante tener trazabilidad de la información. Debe existir un método de documentar todos los movimientos de personal, accidentes laborales y conductas inapropiadas, para que en conjunto con el departamento de recursos humanos se puedan tomar decisiones acertadas en cuanto al personal.

Capacitación del personal

El fabricante tiene la responsabilidad de guiar a su personal y capacitarlo adecuadamente en el cumplimiento de todos los estándares de seguridad que deben cumplirse, tanto en talleres como en campo. También debe brindar las charlas específicas para el personal que ejecutará actividades con riesgos asociados a su puesto laboral. Por ejemplo, los soldadores deben estar capacitados e instruidos en trabajos en caliente y además, deben contar con un certificado que indique que efectivamente recibieron la capacitación.

Este requisito de charlas específicas se exige al ingreso a gran cantidad de proyectos. Por ejemplo, los trabajos en alturas, el uso de recubrimientos y sustancias químicas, los trabajos en caliente y el uso de maquinaria, son algunas de las capacitaciones que podrían destacarse.

Actualmente se tiene la situación de la pandemia del COVID-19, la cual ha significado un reto importante para el sector construcción. Es común que los colaboradores trabajen cerca unos de otros y que el riesgo de contagio sea alto. Es por esto por lo que se debe capacitar adecuadamente, además de brindar equipo de protección y proveer los espacios para el lavado de manos a todos los colaboradores con el objetivo de evitar contagios masivos.

Equipo de protección personal por puesto de trabajo

El uso del EPP es una de las principales medidas para mitigar los riesgos de trabajo que se tienen en la construcción en acero. Sin embargo, a pesar de que existe un EPP básico, existe EPP específico para cada puesto de trabajo. En el Cuadro 14 se muestra el EPP para cada uno de los puestos básicos de un proyecto de estructuras de acero.

Cuadro 14. Equipo de protección personal por puesto de trabajo

Protección básica	Soldadura	Limpieza y aplicación de recubrimientos	Trabajo con exposición al sol	Trabajos en alturas
Casco, careta, lentes de seguridad, ropa reflectiva, zapatos de seguridad, pantalón largo de algodón, guantes anticortaduras, protección auditiva.	Chaqueta de soldador, guantes de cuero largos, polainas, gorro de soldador, máscara de soldar, mascarilla doble filtro para gases, zapatos de seguridad aislantes.	Lentes de seguridad sellados, mascarillas doble filtro, guantes de vinilo o látex para pintura, traje de pintor.	Cubre nucas, lentes con protección UV, bloqueador solar, camisas de algodón de manga larga, hidratación constante.	Arnés de seguridad, líneas de vida, barbiquejo.

Fuente: (Consejo de Salud Ocupacional, 2017)

Resultados finales o comentarios del proceso de inspección de salud ocupacional

Como principales resultados de la inspección de las condiciones laborales y de seguridad ocupacional en proyectos de estructuras de acero se tienen los siguientes:

- Cumplimiento de requerimientos de charlas de capacitación al personal en tareas específicas a su puesto de trabajo.
- Aseguramiento del cumplimiento de los requerimientos, tanto a nivel de normativa como de especificaciones del proyecto.
- Reducción considerable de riesgos de accidentes laborales, los cuales pueden traer problemas graves a nivel social como a nivel económico.
- Se evita la ejecución de multas por parte de entidades externas a la empresa fabricante por prácticas no apegadas al reglamento o que generen un riesgo al equipo de trabajo.

4.2.7. Planos de taller

Descripción general

Los planos de taller son el primer paso en la producción de la estructura metálica. Estos planos brindan toda la información necesaria para que los operarios de taller y campo puedan ejecutar todas las actividades como las especifica el cliente, además de cumplir con todos los requerimientos técnicos necesarios para tener un producto de calidad. Los planos deben contener toda la información necesaria para la construcción del proyecto y ser de fácil comprensión para el personal que los utilizará.

Los planos de taller son específicos para la actividad que se va a ejecutar, es decir, brindan la información de manera detallada para realizar un proceso de fabricación más sencillo y ordenado. Además, no se muestra información que no es de interés para el encargado de la producción, sino que simplifica en gran medida los planos originales aportados por el cliente o diseñador original.

Los planos de taller idealmente muestran un despiece de la estructura a fabricar, lo que brinda la posibilidad de llevar un control detallado de la fabricación, de la duración e incluso calcular indicadores y rendimientos por el tipo de estructura que se fabrica. Los planos de taller brindan la posibilidad de generar una gran cantidad de información necesaria para la fabricación, por lo que es altamente recomendable que se elaboren y aprueben previo al inicio de la producción.

Responsable de ejecución del proceso

Normalmente los planos de taller son elaborados por la misma empresa fabricante. En empresas grandes se tienen generalmente departamentos de diseño y dibujo los cuales se encargan de tomar los planos originales y elaborar los planos de taller.

Responsable de inspección del proceso

Normalmente los planos de taller se elaboran previo a la producción de la estructura de acero en taller. Estos planos deben de ser inspeccionados por parte del cliente, el diseñador o constructora principal del proyecto, en caso que así corresponda. Este proceso de aprobación de planos es crítico, ya que, si hay errores de medidas, en las especificaciones o en algún detalle de la estructura, este es el mejor momento para corregirlo.

Normativa o reglamentos aplicables

Los principales requerimientos con respecto a planos de taller se especifican en el capítulo 10 del Código Sísmico de Costa Rica, en la sección 10.1.4.3. Adicionalmente, a nivel nacional existe la norma INTE W121:2020 "Simbología en soldadura", en la cual se especifica toda la simbología y detallado de las soldaduras. Esta norma está basada en la norma AWS A2.4:2012, "Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination". Esta norma no es de aplicación obligatoria, pero se recomienda su uso.

Insumos necesarios para la inspección

Como parte de los insumos necesarios para poder analizar y aprobar los planos de taller, se destacan los siguientes:

- Especificaciones del proyecto.
- Planos originales del proyecto.
- Normativa aplicable a planos de taller.
- Software de diseño y hardware que lo soporte.

Puntos críticos a inspeccionar

Requerimientos mínimos según el Código Sísmico de Costa Rica 2010 – Rev 2014

El Código Sísmico de Costa Rica actual, en su sección 10.1.4 "Planos y especificaciones" denota los componentes mínimos que deben contener los planos de taller. Es importante recalcar que estos requerimientos mínimos en algunas ocasiones resultan insuficientes para detallar y especificar toda la información necesaria para la construcción de las estructuras de acero. Sin embargo, es importante mencionar estos requerimientos y cumplirlos, ya que su aplicación es obligatoria en Costa Rica.

Algunos de los aspectos generales que el Código menciona, son los siguientes:

- Configuración de las uniones.
- Especificación de los materiales de unión y sus dimensiones.
- Ubicación de las soldaduras críticas por demanda.
- Ubicaciones donde es requerido remover el respaldo de la soldadura.
- Ubicación donde es requerida soldadura de filete cuando no se remueva los respaldos de soldadura.

- Ubicación donde es requerido reforzar las soldaduras de penetración con soldaduras de filete.
- Ubicación donde es requerido remover las placas de extensión de la soldadura.
- Ubicación de empalmes donde es requerido realizar transiciones graduales.
- Geometría de perforaciones de acceso.
- Cualquier otra información relevante o indicaciones que sean esenciales y que tengan que ser de conocimiento del profesional inspector.

Por otra parte, en la sección 10.1.4.3 “Planos de taller” del mismo Código se menciona los valores mínimos que deben contener los planos elaborados por los fabricantes, entre los cuales se destacan los siguientes puntos:

- Planos de corte y despiece con sus respectivas tolerancias.
- Preparación de bordes de metal base para soldaduras.
- Ubicación de perforaciones para pernos.
- Ubicación de accesorios para montaje.
- Secuencia de armado y soldadura de piezas.
- Procedimiento, técnica y secuencia de la soldadura.
- Preparación de superficie para pintura.
- Planos y secuencia de montaje.

El Código Sísmico también recomienda indicar de forma explícita cuáles elementos conforman el sistema sismorresistente de la estructura, además de la ubicación y dimensión de las zonas protegidas, con el objetivo de realizar una inspección más detallada de estos elementos. Se indica además que los componentes que forman parte del sistema sismorresistente deben contar con los planos de taller y montaje antes de iniciar la fabricación. Asimismo, se especifica que la elaboración de los planos de taller es una obligación del profesional responsable de la construcción. No obstante, la obligación de verificar que los planos cumplan con las disposiciones de los apartados 10.1.4.1 y 10.1.4.2 recae en el profesional responsable de la inspección.

Información específica de planos de taller

Como se menciona anteriormente, los requisitos que nombra el Código Sísmico de Costa Rica no brindan la totalidad de la información importante que debe aparecer en los planos

de taller. Como parte de la información complementaria, se destacan los siguientes elementos que se recomienda estén también en los planos de taller:

- Especificación clara del calibre, grado y dimensión de todos los materiales que se van a utilizar.
- Especificaciones del recubrimiento a aplicar, así como su espesor mínimo de aceptación.
- Especificar la dimensión y el tipo de soldadura mediante la simbología denotada en la normativa actual.
- Despiece de todos los elementos a fabricar, claramente identificados en los planos de planta, elevación y cortes.
- Se deben indicar el tipo de anclaje que tendrá la estructura, y la tolerancia con la cual deberán fabricarse estos elementos.

También es recomendable que se lleve un control de los cambios realizados en el taller. Si se realizan cambios considerables se recomienda que se eliminen las versiones impresas desactualizadas, con el fin de evitar malentendidos.

Es importante proveer de copias impresas de los planos a los encargados de producción, ya que brindan una mayor facilidad de fabricación para el personal operativo.

Información básica en cajetín

Con el objetivo de tener la información de los planos de taller organizado y tener un control adecuado de las versiones de planos, se recomienda que en el cajetín esté como mínimo la siguiente información:

- Nombre del dibujante
- Nombre del proyecto y actividades especificadas
- Índice y número de láminas
- Fecha de última actualización
- Contacto del encargado del proyecto
- Láminas de referencia de planos originales.
- Escala
- Versión de planos de taller
- Firma de planos aprobados

Resultados finales o comentarios del proceso de inspección de planos de taller

El principal resultado del proceso de análisis e inspección de planos de taller es la aprobación de los mismos. El análisis que se realiza a los planos de taller es clave para el proyecto para evitar problemas en producción y montaje, ya que permite detectar posibles inconvenientes en la materialización de las estructuras, especialmente en esta etapa cuando las consecuencias y modificaciones implican menor costo e inversión de recursos.

4.2.8. Armado de estructuras

Descripción general

El proceso de armado marca el inicio de la producción en planta de una estructura de acero. Es un proceso complejo donde el personal que lo ejecute debe tener amplia experiencia en lectura de planos y técnicas de ensamblaje de estructuras, ya que la precisión y eficiencia de este proceso definirá la calidad de los demás procesos.

El proceso de armado debe ser inspeccionado minuciosamente, ya que en esta etapa es más sencillo corregir errores en posición, medidas y calidad, en comparación con los procesos posteriores donde realizar estas correcciones implica mayor dificultad y costo.

Es fundamental haber realizado un proceso de análisis completo de los planos de taller, ya que estos, en conjunto con los materiales, son los principales insumos del proceso de armado. Además, es necesario asegurar que se tienen las condiciones de infraestructura adecuadas y las herramientas correctas y en buenas condiciones previo al inicio del proceso de armado.

Responsable de ejecución del proceso

El proceso de armado de estructuras de acero se ejecuta en planta bajo la dirección del jefe de taller, quien es el encargado de revisar e inspeccionar que el proceso se realice según las especificaciones. En algunos casos, dependiendo del tamaño de la empresa y la demanda de producción que esta tenga, hay encargados de proceso, por lo que la gestión del proceso de armado podría estar bajo la responsabilidad de un experto operativo con experiencia en el área.

Responsable de inspección del proceso

El proceso de armado debe pasar por varios filtros y aprobaciones una vez finalizado, para poder proceder a resoldar la estructura de manera definitiva. Una vez que el jefe de taller y

el encargado del área de armado han realizado la revisión del proceso, los encargados de analizar que todos los parámetros se cumplan y todas las medidas coincidan con los planos son los gestores de calidad. Ellos se encargan de elaborar los informes de cumplimiento y realizar las verificaciones finales.

Normativa o reglamentos aplicables

Para el proceso de armado de estructura, las normativas aplicables son las siguientes:

- D1.1 Structural Welding Code - Steel – American Welding Society (AWS): Revisar secciones correspondientes a “Tack welds” o apuntalamiento. Es el proceso utilizado para armar las estructuras y dejarlas listas para el proceso de soldadura.
- D1.5 Bridge Welding Code (AWS)
- Steel Construction Manual – American Institute of Steel Construction (AISC).
- PN INTE W122:2021 Soldadura. Puentes vehiculares (INTECO)

Insumos necesarios para la inspección

Los insumos necesarios para realizar el proceso de inspección del proceso de armado son los siguientes:

- Especificaciones del proyecto.
- Planos de taller aprobados.
- Levantamiento en campo.
- Herramientas de medición.

Puntos críticos por inspeccionar

Para inspeccionar adecuadamente el proceso de armado se propone dividirlo en 3 secciones: antes, durante y posterior al corte y ensamblaje de piezas. A continuación, se muestran los puntos más críticos de cada una de las etapas del proceso.

Previo al proceso de armado

Antes de iniciar cualquier proceso de corte o ensamblaje, hay una serie de verificaciones que deben realizarse para asegurar que se tienen todas las herramientas e insumos necesarios para ejecutar el proceso adecuadamente. Se destacan los siguientes, los cuales se consideran los más importantes:

- El armador debe tener todos los planos impresos y actualizados en su última versión. Los planos deben tener tamaño y calidad suficiente para poder leer todos sus detalles.
- Se recomienda elaborar una orden de producción o documento que respalde la ejecución de la actividad.
- Se debe verificar que se tenga al menos el material de las primeras actividades a ejecutar, según la prioridad de montaje en campo.
- Se debe verificar que se tengan todas las herramientas necesarias, que éstas estén en buenas condiciones y se tengan todos los consumibles necesarios.
- Se debe verificar el espacio de trabajo, que esté limpio y organizado, además de que sea suficientemente amplio para poder fabricar las piezas.
- Se debe tener claridad en el proceso que se seguirá para la fabricación de la estructura. En ocasiones es necesario agregar soportes temporales a la estructura para evitar deformaciones durante el proceso de fabricación y resoldado. Además, se debe tener claridad de cómo se elaborarán los elementos doblados, rolados o con figuras y trazos poco convencionales.
- También es fundamental tener previo al armado todos los accesorios que necesita la estructura. Todas las placas, atiesadores (rigidizadores), sistemas de izaje, roscas, por citar algunos ejemplos, deben estar listos para su debida instalación a la estructura principal.

Durante el proceso de armado

El encargado de área, o bien el jefe de taller, debe estar presente durante la ejecución del proceso de armado con el fin de verificar de que el proceso se realice adecuadamente. Es importante destacar que generalmente el personal de armado es altamente capacitado y con experiencia, ya que no es una tarea fácil de ejecutar.

Algunos de los puntos críticos que deben inspeccionarse durante el proceso de armado son los siguientes:

- Verificación de medidas, lo cual incluye que el material utilizado cumpla tanto en especificación como en dimensiones. También la revisión de la ubicación y calibre de todos los accesorios como placas, rigidizadores, roscas, entre otros. Todas estas verificaciones se realizan contra los planos de taller.

- Se debe inspeccionar la linealidad en elementos largos, así como asegurar que los ángulos de los elementos sean los correctos. Esta verificación es especialmente importante, ya que un descuadre en esta etapa se corrige con facilidad, sin embargo, una vez resoldado el elemento, es una reparación de mayor complejidad.
- Durante el proceso de armado se deben colocar "arriostres" o elementos temporales que restrinjan el movimiento de los elementos permanentes durante el proceso de resoldado. Esto es una práctica esencial para asegurar que cuando se caliente la pieza durante el resoldado, no van a haber deformación en elementos y desajustes que afecten la calidad final del producto.
- Se debe verificar que los niveles y verticalidad de los elementos cumplan desde taller para evitar problemas en el montaje en campo.
- En esta etapa es importante realizar la verificación de la preparación de las uniones soldadas. Debe cumplirse con la geometría de los biselés, la separación entre piezas para asegurar penetración completa y la limpieza de los materiales base (que no haya aceites, grasas, pintura o algún otro material que pueda generar impurezas en la unión).
- Se debe verificar el método de corte del material base. Es común utilizar herramientas como tronadoras, esmeriles con disco de corte o sierras y en algunas ocasiones la calidad del corte va a depender de la habilidad del armador. Es importante analizar si las herramientas utilizadas son las ideales y las que brindan un acabado adecuado para poder realizar un proceso de armado que cumpla con los niveles de calidad exigidos. En caso de realizar cortes mediante herramientas de plasma y oxicorte, las piezas deben limpiarse previo al ensamblaje para asegurar tener una junta limpia y bien preparada.

Posterior al armado

Una vez terminado el proceso de armado debe verificarse nuevamente todas las medidas, ángulos y elementos que se hayan colocado. Esto con el fin de tener seguridad a la hora de realizar el proceso de resoldado. Algunos otros puntos importantes por inspeccionar al final del proceso de armado son los siguientes:

- El proceso de armado se realiza mediante puntos de soldadura o costuras pequeñas ("tack welds", según la normativa de AWS). Estas soldaduras deben ser

suficientemente resistentes para asegurar que la estructura no se deforme durante su manipulación cuando se realiza el resoldado.

- Cuando existe incertidumbre sobre las medidas en campo se permite dejar elementos con mayor holgura. Una vez que se llevan las estructuras a montaje, se realiza la medición y se corta el elemento con la medida exacta con la que debe instalarse. De esta manera no hay reprocesos y faltantes de material en campo.
- En esta etapa debe comenzar a etiquetarse cada una de las piezas fabricadas con el respectivo código asignado a cada una de las partes. Esto brinda una guía para todos los procesos posteriores al armado y ordena la producción y montaje.

Buenas prácticas recomendadas

A continuación, se mencionan una serie de buenas prácticas que se recomienda aplicar durante el proceso de armado de estructuras de acero. Las siguientes recomendaciones se basan en la observación de la producción y la opinión de los expertos consultados para este proyecto. Estas buenas prácticas propician mejores condiciones de trabajo, de forma que se fomenta la productividad, se reducen costos, se mantiene el orden en el área de trabajo y se reducen los riesgos de posibles accidentes.

- Es recomendable elaborar un trazo de la estructura. Los trazos se pueden realizar directamente sobre la losa de trabajo, o bien, utilizar cuerdas y herramientas tipo láser que aseguren la linealidad de los elementos.
- Se recomienda no trabajar las estructuras a nivel de suelo en la medida de lo posible. Al colocar las estructuras sobre soportes o "burras" se proporciona una posición más cómoda y se da facilidad de trabajo para los operarios. Además, a la hora de hacer movilización y carga de piezas para transporte, es ligeramente más sencillo desde estos soportes de trabajo.
- Es de mucha utilidad realizar levantamientos en campo para verificar que las medidas de los planos de taller coincidan con los soportes o piezas donde se anclarán los elementos prefabricados. Este levantamiento puede realizarse con herramientas básicas de medición o bien mediante uso de equipo y personal de topografía en caso de querer realizar una medición altamente precisa.
- Una buena práctica por implementar es limpiar todo el material al inicio del proceso. Normalmente los perfiles contienen gran cantidad de aceites o grasas que los

protegen durante su almacenamiento contra la corrosión, sin embargo, a la hora de trabajar con estos materiales deben estar limpios y libres de estas sustancias.

- Se debe analizar el tamaño máximo de piezas a fabricar. En algunas ocasiones, por limitaciones de peso o espacio se debe modular los elementos y ensamblarlos en campo, debido a que no se pueden transportar completamente armados o sobrepasan el peso máximo permitido.
- Se deben establecer prioridades en la fabricación, según la necesidad de montaje en campo. Por ejemplo, se deben fabricar primero las columnas, luego las vigas y por último los clavadores, cumpliendo con la secuencia lógica de montaje en campo.

Resultados finales del proceso de inspección del proceso de armado

El resultado del proceso de inspección de armado es la estructura adecuadamente revisada y aprobada por los responsables. Se debe asegurar que la estructura cumple con todos los requerimientos descritos en los planos de taller, las especificaciones y se satisfacen todos los requerimientos del cliente.

Por otra parte, el proceso de armado puede resultar desafiante y complejo dependiendo de la geometría de la estructura a fabricar. Por lo anterior, una vez finalizado el proceso de armado de una estructura de esta naturaleza deben recopilarse las lecciones aprendidas, con el fin de mejorar continuamente el proceso de fabricación y facilitar futuros proyectos.

4.2.9. Transformación del acero

Descripción general

Para el inspector de un proyecto de estructuras de acero es especialmente importante conocer los procesos de fabricación de las diferentes piezas. Estos procesos hacen uso de máquinas especializadas para fabricar elementos y son fundamentales en el área de la metalmecánica. Es importante conocer los servicios disponibles en el país, así como las limitaciones de los servicios que existen, para que el profesional pueda tomar la decisión más conveniente para la fabricación de todos los accesorios y elementos complejos de las estructuras.

Por otra parte, para los ingenieros diseñadores de estructuras de acero también es importante capacitarse en esta área. En ocasiones los diseñadores detallan secciones que no existen o son imposibles de fabricar mediante procesos comunes, debido a la ignorancia

del proceso de fabricación. Es importante que el profesional tenga conocimiento tanto teórico para el diseño, como práctico para que sea posible fabricar los elementos.

En la sección 2.5.2 del Marco Teórico se explica cada uno de estos procesos y se ejemplifica mediante figuras para mejor comprensión del uso de las maquinarias más comunes.

Responsable de ejecución del proceso

Usualmente las empresas fabricantes de estructuras metálicas tienen la maquinaria necesaria para obtener todas las piezas necesarias para la producción a nivel interno. No obstante, existen también empresas a nivel nacional especializadas en ejecutar los procesos de transformación del acero, por lo que es muy común que las empresas fabricantes y constructoras del acero subcontraten estos servicios.

En caso que se subcontraten los servicios, el responsable de la ejecución del proceso es el jefe de planta de la empresa encargada de procesar los materiales base para elaborar los elementos especializados que se necesitan para todo el proyecto.

Responsable de inspección del proceso

Una vez que se obtienen las piezas para ejecutar el armado deben inspeccionarse previamente antes de colocarse. Esta responsabilidad recae en el encargado del proceso de armado y además en el jefe de taller. Es muy importante inspeccionar el tipo de material, calibres, medidas de los elementos y cantidad de elementos entregados al taller. Es común observar que durante el proceso de armado, especialmente cuando el volumen de trabajo es alto, se extravíen piezas necesarias para la fabricación. Es por esta razón que siempre debe tenerse un control completo de la cantidad de piezas recibidas, con el fin de tener una trazabilidad completa de todos los elementos del proyecto.

Normativa o reglamentos aplicables

Para este tipo de procesos de maquinado de materiales aplican todas las normativas referentes a soldadura y fabricación de estructuras metálicas principalmente. La normativa aplicable al proceso se muestra a continuación:

- Normativa de salud ocupacional y uso de maquinaria. Esta normativa es especialmente importante, ya que las máquinas comúnmente utilizadas, como la guillotina, roladora y dobladora, utilizan toneladas de presión para ejecutar sus labores; por lo que si se utilizan de forma inadecuada pueden ocasionar lesiones

graves o fatales. Además, normalmente cuando se realiza el corte de elementos, las piezas se calientan y pueden generar quemaduras graves a los operarios. Por esta razón todos los trabajadores deben estar debidamente capacitados, con EPP completo y seguir las indicaciones de los encargados.

- Normativa con respecto al uso de materiales (ASTM). Se debe utilizar el tipo de material que se exige para fabricar los diferentes elementos. También se deben cumplir los requisitos para su apropiado almacenamiento.
- Se debe respetar la normativa relativa al tamaño de perforaciones y al tipo de material en pernos de anclaje. Generalmente se aplica la especificación llamada "Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts", elaborado por "Research Council on Structural Connections". En esta referencia se especifican las tolerancias máximas para las perforaciones y el tipo de material a utilizar en caso de roscar barras para elaborar pernos.
- Código Sísmico de Costa Rica 2010 – Rev 2014.
- D1.1 Structural Welding Code – Steel (AWS)
- D1.5 Bridge Welding Code (AWS)
- Steel Construction Manual – American Institute of Steel Construction (AISC)

Insumos necesarios para la inspección

Para inspeccionar adecuadamente todos los accesorios y elementos fabricados durante este proceso es necesario tener las especificaciones del proyecto y los planos de taller actualizados. Con estos insumos se pueden inspeccionar todos los materiales, trazos, cantidades y medidas de los elementos fabricados.

Puntos críticos por inspeccionar

Generalidades del proceso de transformación del acero

Algunas de las generalidades que deben inspeccionarse durante el proceso de transformación del acero son las siguientes:

- Se debe verificar que las máquinas a utilizar estén adecuadamente calibradas, que funcionen adecuadamente y que se les brinde mantenimiento periódicamente. Esto brindará condiciones adecuadas para los trabajadores y podrán ejecutar los trabajos de forma eficiente, segura y en cumplimiento con los requisitos de calidad requeridos.

- Se debe contar con personal altamente capacitado para realizar estas actividades. Para el uso de esta maquinaria es necesario cumplir con muchas horas de capacitación y experiencia previa para poder utilizarlas adecuadamente y de forma segura.
- En ocasiones es necesario el uso de herramientas de izaje para poder procesar los materiales debido al gran peso que tienen. Deben revisarse que esos sistemas de izaje sean los adecuados y brinden condiciones seguras a los colaboradores.
- El proceso de transformación del acero es amplio. En algunas ocasiones deben realizarse varios procesos a un mismo elemento, por lo que debe analizarse y secuenciarse la forma más adecuada de realizar el proceso. Por ejemplo, para fabricar una placa base apernada, primero se corta mediante un proceso de guillotina o mediante chorro térmico, y posterior a este proceso se realizan las perforaciones para el apernado. En caso de que se hicieran primero las perforaciones, el proceso sería mucho más lento y complejo.

Rolado de tubería y lámina

A la hora de fabricar elementos rolados, tanto en tubos como en lámina deben inspeccionarse los siguientes puntos críticos:

- Cuando se realiza el rolado de tubos, es recomendable realizar un trazo para verificar que el desarrollo del radio a alcanzar sea el correcto previo al armado de las piezas.
- En muchas ocasiones, para fabricar tubería redonda de grandes diámetros, se realiza el rolado de lámina. En estas ocasiones es fundamental revisar que el diámetro final del elemento sea el especificado en planos. Además, se debe verificar que este diámetro sea constante, ya que en ocasiones hay variaciones y se dificulta considerablemente el proceso de armado.
- En el caso de lámina rolada para tubería debe inspeccionarse que cada una de las secciones roladas tengan el mismo diámetro. Además, en caso de ser necesario según las especificaciones, debe realizarse el biselado de todas las uniones que irán soldadas conforme con las especificaciones de los planos de taller y normativa aplicable.

Corte con guillotina

En el caso de necesitar cortes rectos la guillotina es una de las mejores opciones. Para inspeccionar este proceso de verifica lo siguiente:

- La dimensión de los elementos fabricados. Se debe asegurar que todos tengan la misma dimensión descrita en los planos de taller.
- Se debe inspeccionar la escuadra del corte. En ocasiones pueden moverse los topes de la máquina y esto puede generar un corte disparejo.
- El proceso debe ser ejecutado por al menos 2 operarios para maniobrar adecuadamente el material y la máquina de corte.

Proceso de roscado

En la metalmecánica, es común realizar roscas en varillas o barras con el fin de fabricar pernos de anclaje, tensores o elementos estructurales de algún tipo que lo requieran. Para inspeccionar estos elementos se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Debe revisarse que la rosca ejecutada sea la correcta. Existen hilos de roscado de diferentes tamaños, por lo que se debe asegurar que se fabrica con la rosca adecuada es el primer paso.
- Posteriormente, es recomendable colocar las tuercas de instalación con el objetivo de verificar que la rosca funciona correctamente en toda su longitud de trabajo.
- Otra práctica recomendable es realizar un proceso de limpieza para eliminar cualquier viruta o filo que pueda impedir que la tuerca ingrese y se logre tensar adecuadamente.
- Es recomendable engrasar el área de roscado para evitar que exista exceso de fricción con la tuerca y se pueda alcanzar la tensión deseada. además, algunos de estos productos ayudan a prevenir corrosión temprana.
- Se debe verificar que la longitud de la rosca coincida con lo especificado en planos.
- En el caso de pernos de anclaje, es recomendable fabricar plantillas que brinden una guía en la distribución una vez que se colocan en un pedestal y se van a colar. Con este proceso se asegura que la distancia entre pernos de anclaje coincida con la distribución de las perforaciones de la pieza que se instalará en este sitio.

Doblado de lámina

El proceso de doblado de lámina es ampliamente utilizado para fabricar tubos “hechizos”, angulares o cualquier tipo de perfil necesario para las estructuras de acero. Algunos de los puntos más importantes a inspeccionar en el proceso de doblado de láminas son los siguientes:

- Se debe verificar que las medidas de las caras de los dobleces sea la correcta. En algunas ocasiones, cuando el material es de calibre grueso, se deben hacer pruebas previas para calcular la medida adecuada del desarrollo del doblado.
- Se debe verificar que el ángulo del doblado sea el correcto. En algunas ocasiones, dependiendo de la maquinaria y de la habilidad del operario, puede quedar más abierto o más cerrado, por lo que podría generar problemas durante el proceso de armado y montaje. Además, se debe verificar que el ángulo del doblado sea constante en toda su longitud.
- A la hora de realizar un doblado en lámina se aplica una fuerza puntual para deformar el material. Esta fuerza genera esfuerzos de flexión en la lámina, por lo que la lámina tiene una sección que se comprime y otra que se tensa, semejante a una viga simplemente apoyada. En algunas ocasiones, dependiendo del calibre del material, de la velocidad de aplicación de la fuerza y del grado del material, en la sección que sufre tracción pueden aparecer agrietamientos o fisuras. Debe evitarse este comportamiento y en caso de detectarlo, se deben realizar las reparaciones pertinentes en el material.

Corte por chorro térmico

El corte por chorro térmico se refiere específicamente a los procesos de oxicorte y plasma. Estos procesos pueden ejecutarse de forma manual, semi-automática o bien de forma mecanizada mediante equipo CNC. Algunos de los puntos más importantes por inspeccionar en el caso de hacer uso del equipo de oxicorte son los siguientes:

- No es recomendable realizar las perforaciones para los pernos mediante este proceso, debido a que el acabado de la perforación será muy irregular y puede generar concentración de esfuerzos o bien no cumplir con el diámetro exacto necesario.

- Se recomienda el uso de herramientas como las "tortugas" o carros de corte. Estas herramientas brindan mejores acabados en cortes rectos o angulares (para biselado), ya que son semiautomáticas. Con estas herramientas se mantiene una altura y velocidad constantes de corte, por lo que se obtiene un acabado de mucho mejor calidad en el producto final.
- Una vez finalizado el corte se debe verificar que se realice una adecuada limpieza de toda la escoria del corte. Las piezas deben estar completamente limpias para soldarse.
- Debe verificarse que las medidas de las piezas cortadas coincidan con lo estipulado en los planos de taller.
- Se recomienda el uso del oxicorte cuando se tienen perfiles gruesos, por ejemplo, más de 5/8" (15,88 mm), ya que pocas guillotinas en el país pueden cortar más grueso que este calibre.

En el caso de inspeccionar un corte mediante plasma se deben verificar los siguientes puntos clave:

- Lo primero a inspeccionar es si el proceso es manual o automático. Si es mediante un proceso manual, se debe verificar que las medidas y el acabado de los cortes sea aceptable. Normalmente se obtienen cortes más irregulares y es necesario el uso de guías de corte para mantener una misma línea, similar que en el caso del oxicorte.
- Si el proceso es mecanizado mediante una mesa de corte CNC, los acabados son mucho mejores y el proceso es altamente eficiente. Se debe inspeccionar que se utilicen boquillas de corte en buen estado, que la mesa esté adecuadamente nivelada y en buenas condiciones. Además, una vez terminadas las piezas, se debe verificar que el ángulo de corte sea completamente perpendicular, ya que en ocasiones por diversas causas puede desviarse y generar un corte angular no deseado.
- En el caso de realizar perforaciones mediante plasma mecanizado debe verificarse que el tamaño de la perforación sea el mismo en ambas caras de la lámina, ya que tienden a tomar una forma cónica que puede impedir el paso del perno a colocar.
- El personal que utiliza esta maquinaria debe ser altamente capacitado, ya que si se cometen errores pueden generar gastos elevados en la reparación de esta maquinaria.

Perforación mediante taladrado y ponchadora

La perforación es un procedimiento básico en cualquier estructura de acero. Se realiza con el fin de colocar pernos, soldaduras o pasar elementos a través de otros. Estas perforaciones se realizan en placas y en todo tipo de perfiles. Algunos elementos básicos que deben inspeccionarse en las perforaciones son los siguientes:

- Debe inspeccionarse que el diámetro de la perforación sea igual al indicado en los planos de taller. Además, debe verificarse que la distancia entre las perforaciones sea la exacta. Una pequeña variación en estos factores puede generar problemas graves en el montaje, ya que una pieza no coincidiría con la otra y sería imposible juntarlas sin realizar modificaciones y reprocesos.
- Se recomienda el uso de taladros magnéticos, ya que brindan un mejor acabado en la perforación, son más eficientes y más seguros para el personal que ejecuta la tarea.
- Algunas veces se realizan perforaciones que deben soldarse posteriormente. Es recomendable realizar un avellanado a la perforación con el fin de asegurar la penetración adecuada de la soldadura. Este avellán debe inspeccionarse y verificarse su geometría y regularidad en toda su circunferencia.
- Se recomienda utilizar la holgura en las perforaciones especificada en las tablas especificadas en "Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts" (Research Council on Structural Connections, 2014).

Biselado

El biselado es un proceso que debe realizarse para uniones soldadas con el objetivo de asegurar una penetración completa en la unión. Los biseles son variados según el tipo de unión que se necesita, sin embargo, el proceso de elaborar un bisel es básicamente el mismo y debe inspeccionarse generalmente los siguientes aspectos:

- El biselado puede realizarse de diferentes formas. Algunas son más eficientes que otras y en otras es necesario más control. La mejor forma de realizar los biseles es mediante una máquina biseladora. Estas máquinas realizan el corte en el ángulo y tamaño precisos y constante en toda la longitud. Otra ventaja es que son sistemas semiautomáticos y únicamente se necesita la verificación en el uso de la maquinaria.

- Por otra parte, cuando se realiza el biselado mediante otros procesos, como oxicorte y plasma, se debe verificar que se realice una limpieza posterior y el ángulo, talón y dimensión del bisel sea el adecuado según lo especificado en planos.
- El procedimiento más común es realizar un desgaste prolongado en el borde de la lámina mediante un esmeril con disco abrasivo. Es un proceso lento pero controlado con el que se elabora la geometría del bisel. En este caso, debe inspeccionarse muy bien que esta geometría sea constante a lo largo de todo el elemento y que coincida con lo especificado en los planos de taller.

Resultados finales del proceso de inspección de transformación de acero

A pesar de que el proceso de transformación del acero es secundario y complementa el proceso de armado de una estructura de acero, su inspección y verificación es igual de importante que todos los demás procesos. Al realizar la inspección en este proceso se aseguran que todos los accesorios, placas de anclaje y unión, accesorios de izaje y rigidizadores tengan las dimensiones y calibre estipulados en el diseño. Además, se asegura también que el proceso de armado y soldado de la estructura se inicie de forma adecuada, ya que implica parte de la preparación de las uniones.

4.2.10. Soldadura

Descripción general

El proceso de unión de piezas mediante soldadura es uno de los más críticos a inspeccionar, debido a que la calidad en estas uniones puede afectar el desempeño final de toda la estructura. El proceso de soldadura implica una gran cantidad de variables que deben verificarse para asegurar que el proceso va a ser correctamente aplicado y se interrelaciona en gran medida con el resto de los procesos previos.

El proceso de soldadura de una estructura debe ser planificado y analizado con anterioridad. El trabajo previo a un proceso de soldadura es igual de importante que la ejecución en sí, y es una etapa a la cual frecuentemente no se le presta atención suficiente.

Responsable de la ejecución del proceso

Normalmente la persona encargada del proceso de soldadura es el jefe de taller. Sin embargo, se puede tener también personal capacitado y especializado en la aplicación de la

soldadura, ya que el nivel técnico necesario para realizarla de forma correcta es alto y se requiere experiencia.

Responsable de la inspección del proceso

Normalmente la responsabilidad de la inspección de la soldadura está en manos de varios equipos de trabajo. Por un lado, la empresa fabricante debe tener un departamento o encargados de control de calidad interno (QC). En este caso, se debe asegurar y documentar que el proceso se ha realizado de forma adecuada, desde la preparación de los materiales base y la maquinaria, hasta el momento final de la entrega de la pieza lista.

Es usual que un ente externo a la empresa fabricante, normalmente contratado por parte del cliente, brinde el servicio de inspección del proceso de soldadura. Este aseguramiento de la calidad (QA) es necesario para fiscalizar que los procedimientos y metodología de aplicación por parte de la empresa contratista cumplan con todos los requerimientos estipulados en la normativa y los requerimientos del proyecto.

Tanto para el control de calidad (QC) como para el aseguramiento de calidad (QA) se puede hacer uso de END y ED como principal herramienta para la inspección.

Normativa o reglamentos aplicables

El D1.1 Structural Welding Code – Steel (AWS), debe ser la principal guía técnica por seguir para la ejecución de soldaduras y su respectiva inspección para edificaciones.

Por otra parte, el D1.5 Bridge Welding Code (AWS) es específico para soldaduras en puentes.

Además, la norma INTE W122 "Soldadura Puentes vehiculares" y la INTE W121 "Soldadura – Símbolos" son normativas nacionales importantes que son una buena guía para el profesional inspector.

También se recomienda los siguientes documentos, los cuales aportan información valiosa acerca de la inspección de soldadura:

- AWS B1.10 Guide for the Nondestructive Examination of Welds de la American Welding Society.
- AWS B1.11 Guide for the Visual Examination of Welds de la American Welding Society.

- Welding Inspection Handbook de la American Welding Society.

Insumos necesarios para la inspección

Como insumos necesarios para realizar inspección de la soldadura se destacan los siguientes:

- Especificaciones del proyecto.
- Planos de taller actualizados y aprobados.
- Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)
- Calificación del procedimiento de soldadura (WPQ o certificación del personal que ejecutará el proceso)
- Herramientas básicas de medición.

Puntos críticos a inspeccionar

Como se mencionó anteriormente, el proceso de inspección de soldadura es muy amplio y se necesita un conocimiento técnico en el área para hacerlo adecuadamente. Además, en la calidad del proceso influyen una gran cantidad de variables (las cuales se mencionan más adelante), por lo que se debe controlar cada una de ellas para alcanzar un resultado satisfactorio y que cumpla con los parámetros de calidad establecidos.

Es importante destacar, que si bien es cierto los encargados de área y los mismos ingenieros a cargo del proyecto pueden realizar la inspección general del proceso de soldadura, es necesario tener personal capacitado y preferiblemente certificado en el proceso de inspección. Se requiere personal capacitado para que se apliquen los ensayos no destructivos correctamente y se elaboren los informes de la calidad de las uniones soldadas.

Algunos de los parámetros que deben inspeccionarse durante el proceso de soldadura se muestran a continuación.

Generalidades de inspección del proceso de soldadura

El proceso de soldadura normalmente se inspecciona en tres etapas bien definidas: antes de soldar, durante el proceso de soldadura y una vez finalizado (Devera Rueda & Ortiz Palencia, 2019). Antes de realizar la soldadura se analizan todas las condiciones previas como la preparación del material base y de aporte; la limpieza en la junta, la preparación de los biseles, el mantenimiento de la maquinaria y el planeamiento del WPS a utilizar. Posteriormente, se ejecuta el proceso según lo planificado verificando que todos los insumos

funcionen adecuadamente y que exista una apropiada limpieza entre pasadas de soldadura. Finalmente, se inspecciona el acabado final del proceso y se efectúan todos los END necesarios con el fin de asegurar y documentar la calidad del proceso.

Como parte de los procesos previos que se deben analizar para asegurar las condiciones óptimas para el proceso, se destacan los siguientes:

- Analizar las condiciones en planta. Se debe contar con iluminación adecuada, espacio suficiente para la maquinaria y el soldador y para poder movilizar las piezas. Las máquinas de soldar deben estar en buenas condiciones, ya que si ocurren fallas producen problemas al soldador y eventualmente afecten la calidad del proceso.
- No debe haber ningún tipo de goteras o empozamiento de agua cerca de la zona de trabajo. En caso de estar trabajando en el montaje en campo, no debe permitirse soldar en caso que esté lloviendo. Se debe evitar la presencia de agua con el fin de proteger la integridad de los soldadores ante una descarga eléctrica. (Ver sección 5.12.2 del D1.1 Structural Welding Code – Steel, AWS).
- Se debe asegurar que antes de iniciar cualquier proceso de soldadura todo el personal cuente con su respectivo equipo de protección personal. No debe permitirse en ninguna circunstancia que se trabaje poniendo en riesgo al personal.
- En el caso específico en el que se vaya a realizar un proceso de soldadura con GMAW en campo, debe asegurarse que el área donde se vaya a trabajar esté protegida del viento. En caso contrario, el proceso no se puede utilizar ya que la protección gaseosa durante la aplicación no va a funcionar adecuadamente y el acabado será deficiente. Se recomienda la soldadura tipo SMAW o bien, FCAW para uso en campo ya que no necesitan protección gaseosa para ser aplicados.

Inspector de soldadura

El encargado de la inspección de soldadura es una persona altamente capacitada, que debe cumplir con ciertos requerimientos necesarios y un nivel de capacitación y experiencia comprobable en el área. Algunos de los requerimientos básicos para un inspector son los siguientes:

- El inspector debe tener condiciones físicas adecuadas para la labor. Usualmente un inspector de soldadura debe tener la capacidad de agacharse, subir escaleras y estar

en lugares altos para realizar las inspecciones completas. Además, el inspector debe tener buena vista para realizar todas las inspecciones visuales correctamente.

- Es recomendable que el inspector de soldadura cuente con certificación de su calificación por parte de la American Welding Society (AWS), la Canadian Welding Bureau (CWB), o incluso entes nacionales como el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), que cuenta con carreras técnicas en inspección de soldadura. (Ver sección 6.1.4 del D1.1 Structural Welding Code – Steel, AWS)
- En caso de que el inspector contratado no cuente con certificaciones oficiales que comprueben su capacidad y experiencia, se debe comprobar por otros medios su experiencia en el área de la metalmecánica, y probar su capacidad para realizar inspecciones completas.
- El inspector debe realizar su trabajo en todas las etapas del proceso que se mencionaron anteriormente. Es un colaborador que debe estar presente en la etapa previa, durante y posterior a la finalización del proceso de soldadura documentando y guiando el proceso para asegurar cumplir con las especificaciones.
- El inspector debe funcionar como guía a los operarios, identificando las fallas en el proceso y realizando las correcciones necesarias. Además, cumple un papel capacitador del personal soldador, ya que se propicia la mejora continua de los colaboradores realizando su supervisión.
- El inspector tiene la responsabilidad de dar seguimiento a los errores identificados. Debe documentarse cada error hallado, el proceso de corrección y el producto finalmente acabado de forma adecuada. La documentación proporciona una garantía de la calidad del proceso de inspección, y en caso de presentarse algún problema cuando la estructura está ya en servicio se tiene documentación que respalda la calidad del proceso.
- Hay proyectos que exigen la presencia de un inspector de soldadura permanente en campo. Dependiendo de la complejidad de las uniones es recomendable, pero no es obligatorio, a no ser que así lo especifique el contrato del proyecto.
- El inspector debe realizar la cantidad de visitas que sean necesarias, en todas las etapas del proceso de soldadura con el fin de obtener toda la documentación requerida y asegurar la calidad en las uniones.

- El inspector de soldadura debe tener copia de toda la documentación del proceso. Esta documentación incluye: las certificaciones de los soldadores, el WPS a aplicar, el tipo de consumibles y maquinaria a aplicar. Además, debe tener copia de todos los ensayos realizados a las uniones y los materiales con el fin de elaborar informes de calidad completos.

Soldadores

Como parte de las responsabilidades del inspector de soldadura es asegurarse que los soldadores están capacitados para aplicar el tipo de soldadura, en las posiciones necesarias y con la metodología especificada.

El inspector debe pedir las certificaciones de los soldadores y tener una copia de los documentos para colocarlos en su informe final. En el caso que el soldador no cuente con certificaciones oficiales, se le deben realizar pruebas previas para asegurar que sí está capacitado para desempeñar las uniones. Estas pruebas normalmente se realizan a la hora de ser contratados, sin embargo, el inspector puede exigir que se realicen previo a la aplicación del proceso como aseguramiento de la capacidad del soldador.

Actividades previas

Como parte de las verificaciones previas a la ejecución de la soldadura debe inspeccionarse la calidad del material base y el metal de aporte a utilizar. Este procedimiento es básico y está en función de las buenas prácticas que tenga la empresa. Algunos factores por inspeccionar son los siguientes:

- Los electrodos de soldadura utilizados en el proceso de soldadura de tipo SMAW se deben almacenar de forma hermética y lejos de la humedad. Una vez abierta una caja de electrodos debe evitarse que se expongan a cualquier humedad que pueda dañar el recubrimiento de los mismos.
- En caso haber expuesto los electrodos a la humedad atmosférica por un periodo prolongado, se pueden llevar a su condición original mediante el uso de hornos. Se colocan los electrodos durante un periodo previo a su uso, con el fin de eliminar rastros de humedad en el recubrimiento que generan porosidad e imperfecciones en los cordones de soldadura. El tiempo y la temperatura requeridos generalmente se especifica en las normas de AWS mencionadas. (Ver sección 5.3 "Welding Consumables and Electrode Requirements" del D1.1 Structural Welding Code)

- La superficie del material base debe estar completamente limpia y seca. En ocasiones se requiere soldar piezas que tienen rastros de pintura, grasas, químicos de limpieza o incluso corrosión. Todo esto debe eliminarse previo a la aplicación de la soldadura. Además, en caso de que se realicen cortes en materiales mediante chorro térmico, como oxicorte o plasma, debe limpiarse las superficies y brindar un acabado liso, sin rebabas o escamas del sobrante del material cortado.
- La superficie de soldado debe estar libre de irregularidades, libre de agrietamientos o cualquier discontinuidad que pueda generar problemas o irregularidades en el cordón de soldadura. Ver por ejemplo D1.1 Structural Welding Code – Steel, AWS C4.1- G para ampliar sobre la rugosidad de las superficies del material base.
- En caso de ser necesario, se debe inspeccionar la separación entre las piezas y la geometría de los biseles en la unión. Es fundamental para asegurar la penetración completa de la unión.
- La estructura se debe encontrar apropiadamente arriostrada de forma que cuando se aplique la soldadura no sufra deformaciones excesivas por la variación de la temperatura. Este trabajo previo se debe realizar durante el proceso de armado, pero debe inspeccionarse que se haya realizado previo al inicio de la aplicación del proceso de soldadura, especialmente en elementos largos y placas de asiento o unión.
- Se recomienda realizar un planeamiento de la aplicación de la soldadura. En ocasiones, se debe controlar o aplicar el calor de forma simétrica en la estructura, con el fin de no calentar demasiado un área en específico. Por esta razón generalmente se elabora un plan de aplicación de soldadura para evitar sobrecalentamientos que generen deformación en las estructuras.

Especificaciones y planos de taller

Con respecto a las especificaciones de la soldadura en los planos de taller, se debe verificar que se especifiquen al menos los siguientes elementos:

- Detallar el grado y tipo de material base. Debe detallarse los calibres de los materiales a soldar para comprobar previamente si es necesario la colocación de soportes temporales para evitar deformaciones por el calor de la soldadura.
- Se debe detallar el tipo de metal de aporte a utilizar. En este caso, los más comunes son el uso de electrodos revestidos (SMAW), alambre sólido con protección gaseosa

(GMAW) y el alambre tubular (FCAW). Además de detallar el tipo, debe detallarse el calibre del aporte. Por ejemplo, los electrodos revestidos pueden ser de 3/32" (2,38 mm) o más gruesos como 1/4" (6,35 mm). Esto depende del grosor del cordón de soldadura que se necesite aplicar, el calibre del material base y la resistencia especificada.

- Se debe pedir al proveedor de soldadura que brinde los certificados de calidad de los materiales de aporte, así como la lista de certificaciones y ensayos a los que se ha sometido su producto. Esta información proporciona una referencia sobre la calidad del material que se está utilizando se verifica si existe un respaldo como marca proveedora.
- En los planos de taller debe especificarse la geometría de la unión, la cantidad de pasadas, la forma y colocación de los biseles y el tipo de aplicación que se realizará (filete, penetración completa, penetración parcial, junta a tope, esquina, tapón, etc). Además, se debe especificar si las soldaduras deben realizarse en campo o en taller. En las especificaciones se recomienda hacer uso de la nomenclatura y simbología vigente en PN INTE W121:2020 Soldadura – Símbolos, del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO).
- En el caso de trabajar con vigas tipo W o similar, otro detalle importante, es que debe especificarse claramente la geometría de las perforaciones de acceso. Estas perforaciones son necesarias para asegurar la inspección adecuada de las juntas de penetración completa, las cuales generalmente son soldaduras críticas por demanda y deben ser inspeccionadas detalladamente.

Revisión del WPS (Welding Procedure Specification)

La especificación del procedimiento de soldadura (WPS por sus siglas en inglés), es el documento que especifica todas las variables técnicas y parámetros a seguir para realizar cierta unión. En el WPS se detalla el procedimiento a seguir que previamente se comprobó (precalificación) que funciona y brinda resultados esperados.

El WPS permite el aseguramiento del control de los parámetros de la soldadura y facilita el trabajo de los inspectores de soldadura, ya que, si se cumple a cabalidad el WPS, se tendrá una unión que cumple con el estándar establecido.

Algunos de los parámetros que se especifican en un WPS y que como mínimo deben estar son los siguientes:

- Datos generales de la empresa fabricante, del proyecto y la estructura que se está fabricando. Además, los datos generales como la fecha y número de WPS aplicado.
- Es necesario que se incluyan los datos del soldador que aplicará el procedimiento, así como su código de certificación o calificación (WPQ). Es recomendable también incluir la fotografía del soldador para poder identificarlo fácilmente.
- Se debe especificar si el WPS es precalificado o se calificará mediante ensayos. Ver sección 6.6 D1.1 Structural Welding Code – Steel AWS para mayor detalle.
- Proceso de soldadura a aplicar. Esto se refiere la técnica a aplicar: SMAW, GMAW, FCMAW, SAW, entre otros. Se debe especificar el tipo de consumible o metal de aporte a utilizar, así como sus calibres.
- Se requiere especificar el gas para protección en sistemas GMAW. Puede ser argón, CO2 o algunas mezclas específicas encontradas en el mercado.
- Es indispensable especificar el material base que se está utilizando y su respectivo grado. Por ejemplo, se debe especificar si es un acero A36, A53, A500 Grado B, entre otros dependiendo de la sección a soldar.
- Se debe especificar si es necesario el precalentamiento de la pieza previo a la aplicación de la soldadura, así como la temperatura a alcanzar. (Ver sección 5.36 D1.1 Structural Welding Code – Steel AWS)
- Es necesario especificar la posición en la que se realizará la soldadura. (Ver sección 2.5.3 del Marco Teórico sobre posiciones de soldadura)
- Se deben indicar los parámetros eléctricos de la unión y calibración de la máquina de soldar. Por ejemplo, el amperaje, el voltaje y la polaridad de la máquina.
- Se requiere indicar en una sección la técnica especificada del soldador. Aquí se detallan parámetros como: patrón de movimiento, cantidad de pases de soldadura, distancia promedio entre el metal de aporte y la pieza, tipo de limpieza de la costura entre pasadas, velocidad de aplicación, entre otros.
- Se debe especificar si es necesario aplicar una placa de respaldo en la unión, y en caso de utilizarla, si debe ser retirada posteriormente. (Ver sección 5.10 D1.1 Structural Welding Code – Steel, AWS)

- Se debe agregar un detalle gráfico de la unión. Con esto se puede llevar el control de las pasadas y dar trazabilidad en el proceso, además de brindar un esquema claro de la unión.

En los Anexo 1 y Anexo 2 se presentan dos ejemplos de un WPS básico para mostrar cómo se deben elaborar.

Aplicación de ensayos no destructivos (END)

Los END son una excelente herramienta para inspeccionar y verificar la calidad de las soldaduras, y de esta manera asegurar que el procedimiento se aplicó satisfactoriamente. Su principal ventaja es el hecho de no tener que hacer un ensayo destructivo en la pieza para saber sus propiedades internas.

En la sección 4.2.15 Ensayos no destructivos (END), se muestra ampliamente cuándo deben aplicarse los END según la información que se desea obtener, ya que los END tienen limitaciones y ventajas según el ensayo a aplicar.

En ocasiones, por especificación contractual, deben realizarse END en ciertas uniones, por lo que el inspector debe tener claro esta especificación y ejecutarlas en el momento indicado. Además la empresa encargada del proyecto debe contemplar este costo dentro del presupuesto inicial.

Algunos de los END comúnmente aplicados en estructuras de acero son los siguientes:

- Inspección visual (VT)
- Líquidos penetrantes (PT)
- Partículas magnéticas (MT)
- Radiografía (RT)
- Ultrasonido (UT)

Todos estos ensayos requieren personal especializado y es importante definir claramente quien es el encargado de ejecutar y fiscalizar estos ensayos. Pueden ser ejecutados por parte del contratista o fabricante (QC), directamente por el cliente para fiscalizar el trabajo del contratista (QA) o incluso algún ente externo que así lo requiera.

Aplicación de ensayos destructivos (ED)

En algunas ocasiones es necesario el uso de ensayos destructivos (ED) con el objetivo de conocer las características de los materiales o bien de las uniones realizadas. En otras ocasiones, se realizan ensayos destructivos para calificar un WPS.

Otro caso en el que se pueden requerir ensayos destructivos es cuando se tiene un material almacenado, pero no se tiene información completa, no se tiene el certificado de molino ni información acerca de su grado y propiedades físicas y químicas. En estos casos, con el fin de poder realizar un diseño estructural apropiado y posteriormente utilizarlo en una estructura mayor, es necesario realizar ensayos para determinar las propiedades mecánicas y diseñar con respecto a estas.

Algunos de los ensayos destructivos comúnmente utilizados son los siguientes:

- Ensayos de tracción
- Ensayos de doblez
- Ensayo de compresión
- Ensayo de cizalladura
- CVN Tenacidad de Charpy
- Ensayos de flexión
- Análisis de pandeo
- Análisis de torsión

Es importante destacar que el laboratorio que ejecute los ensayos debe contar con la certificación vigente y cumplir con los procedimientos normados para obtener resultados fiables.

Revisión final del proceso de soldadura

En la etapa final de la inspección deben verificarse todos los detalles posteriores a la aplicación de la soldadura. A continuación, se muestran algunos puntos críticos que deben inspeccionarse con el fin de aprobar y pasar al siguiente proceso en la producción:

- Se debe verificar el tamaño, largo y ubicación de todos los cordones de soldadura. Se debe comprobar que coincidan con lo especificado en los planos de taller.
- Se debe verificar que no falten soldaduras. Debe realizarse una verificación completa en todas las caras de la estructura para asegurar que no falta ninguna soldadura.

- Debe inspeccionarse que todas las soldaduras estén libres de salpicadura y de escoria. Además, no debe haber traslapes en la soldadura.
- En elementos armados a base de lámina doblada (por ejemplo, tubos “hechizos”, vigas armadas), debe inspeccionarse que no hayan sufrido pandeos o deformaciones excesivas debido al exceso de calor aplicado. En la Tabla 5.6 de AWS D1.1 Structural Welding Code – Steel se presentan las tolerancias máximas permitidas.
- Todas las soldaduras deben pasar por el proceso de inspección, ya sea por parte de la empresa fabricante (QC), y en caso de ser necesario por parte de un ente externo ajeno a la empresa (QA). El trabajo debe estar aprobado y documentado previo a pasar a la siguiente etapa de producción.
- Parte de los errores comúnmente identificables mediante una inspección visual por parte del inspector de soldadura se destacan los poros, la falta de fusión, agrietamientos, salpicaduras, socavación por exceso de penetración y cordones con irregularidades. Según la experiencia del inspector estas indicaciones pueden ser fáciles de identificar mediante la observación. La inspección visual es el primer paso para aplicar un END y el uso de ensayos permite localizar defectos que no son visibles. En el Cuadro 5 del Marco Teórico se muestran imágenes de los principales defectos en soldaduras.
- En caso de identificar un error en la soldadura, debe seguirse un WPS específico previamente aprobado para realizar la corrección pertinente.

Elaboración de reporte de inspección

Parte de las responsabilidades del personal inspector de soldadura es la generación de informes de aprobación del proceso. Estos reportes brindan una garantía formal sobre la calidad del proceso ejecutado, y son un respaldo para el contratista para probar que se ejecutó de forma adecuada.

El inspector debe tener un registro fotográfico de todas las etapas de construcción de la junta, incluyendo detalles como la preparación previa de la unión, los biseles y la limpieza del material base. En caso de que se identifique un error se debe tener un registro fotográfico del error y de su eventual corrección.

Es recomendable asignar un código de identificación a cada unión analizada con el fin de llevar un orden e identificar fácilmente una zona de análisis.

La periodicidad de los reportes depende de cada cuanto sean necesarios. Se debe revisar la frecuencia establecida en el contrato, sin embargo, se recomienda realizar reportes semanales como mínimo. Todos estos reportes se deben guardar como documentación del proyecto y entregar al cliente.

Resultados finales del proceso de inspección de soldadura

La inspección de soldadura es un área realmente amplia y de conceptos técnicos complejos, por lo que se hace énfasis en que el inspector encargado de esta tarea debe tener la experiencia y capacitación adecuada. Al realizar un proceso adecuado de inspección bajo la dirección de un profesional especializado se puede reducir la probabilidad de falla en las uniones y es más probable que se tenga el desempeño esperado según el diseño.

Los entregables de este proceso son los informes de calidad de inspección de todo el proceso de soldadura de las juntas inspeccionadas. También los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos que se hayan efectuado.

4.2.11. Pernos

Descripción general

Antes era común observar que para ensamblar en campo las estructuras de acero se hacía uso de remaches estructurales. Actualmente, se utilizan los procesos de soldadura y apernado. El uso de pernos simplifica de gran manera y hace mucho más productivos los sistemas de montaje en campo, ya que es más sencillo la colocación y pretensión de pernos, que la realización de costuras de soldadura, las cuales en ocasiones pueden ser de gran complejidad y elevado costo.

El uso de pernos de anclaje y de unión entre elementos requiere un diseño estructural muy riguroso, por lo que su inspección es igual de importante que un proceso de soldadura o armado. En el mercado existe una amplia variedad de pernos que se podrían utilizar para unir los elementos o anclar la estructura. No obstante, la normativa estipula cuáles son los adecuados si se quiere tener una estructura segura y uniones que cumplan con las especificaciones.

Responsable de la ejecución del proceso

El sistema de apernado de una estructura se puede dividir en dos etapas. Una primera etapa en taller y la otra en montaje. La preparación previa de las piezas, armado, resoldado y

pintura se da desde el taller, donde el responsable es el jefe de planta que dirige la fabricación del proyecto. La persona encargada de la fabricación de accesorios, especialmente placas de anclaje y de unión también tiene responsabilidad en el proceso de apernado.

Por otra parte, la segunda etapa del proceso de apernado corresponde al montaje en campo. En este caso, el capataz o líder del proyecto debe asegurar que el proceso de apernado y pretensión de los elementos sea el indicado para asegurar el correcto funcionamiento de la estructura, tal como fue diseñada inicialmente.

Responsable de la inspección del proceso

En lo que respecta a la inspección del proceso de apernado, los gestores de calidad tienen la responsabilidad de velar por que se cumplan los parámetros finales de pretensión en los pernos. En ocasiones el cliente puede hacer la contratación de un ente externo verificar las condiciones de instalación de los pernos, las superficies de contacto, los accesorios y el torque aplicado en todas las uniones. Este aseguramiento de la calidad resulta en una doble verificación del estado final de los pernos.

Normativa o reglamentos aplicables

Las principales normativas aplicables relativas al uso de pernos de alta resistencia son los siguientes:

- Specification for Structural Joints using High – Strength Bolts (Research Council on Structural Connections)
- Código Sísmico de Costa Rica 2010 – Rev 2014 (Sección 10.9.3.2 Inspección de uniones apernadas)
- Código Sísmico de Costa Rica 2010 – Rev 2014 (Sección B.4 Requisitos para pernos)
- Specification for Structural Steel Buildings – American Institute of Steel Construction (AISC) – 2016 rev 2019
- Las normas ASTM respectivas a los diferentes tipos de pernos, tanto de anclaje como de unión entre piezas.

Insumos necesarios para la inspección

Los principales insumos necesarios para ejecutar e inspeccionar de forma adecuada los pernos en una estructura metálica son los siguientes:

- Especificaciones del proyecto.
- Planos de taller y montaje aprobados.
- Metodología especificada de pretensión de los pernos.
- Tablas de torques según el tipo de perno instalado.
- Herramienta de medición de torque.
- Elementos de seguridad para trabajo en alturas, en caso de ser necesario subir a realizar inspección de uniones en lugares elevados.

Puntos críticos por inspeccionar

Requerimientos generales para pernos

El uso de pernos para anclaje y unión entre elementos es una de las prácticas más utilizadas a nivel nacional para ensamblaje y montaje de estructuras de acero. En el mercado existe oferta de pernos con diferentes propiedades físicas y mecánicas. Es importante utilizar los pernos especificados para soportar las cargas de diseño para asegurar el funcionamiento previsto de la estructura.

Los encargados de proyecto e inspectores de las estructuras de acero deben conocer las generalidades acerca del uso de pernos de anclaje (utilizados en las bases, normalmente en combinación con pedestales o cimentaciones de concreto), y en la unión de elementos (por ejemplo, en las uniones viga-columna).

Normalmente en las especificaciones del proyecto se detalla el tipo de perno que debe utilizarse o al menos se especifica que debe cumplir con los requisitos que especifica la normativa. Además, en los planos originales y planos de taller y montaje también se debe especificar el tipo de perno de unión a utilizar.

En el Código Sísmico de Costa Rica 2010 – 2014, en la sección 10.1.3.1.b, se especifica que para los elementos que componen el sistema sismorresistente debe hacerse uso de pernos que cumplan con las normas ASTM siguientes: A325, F1852, A490 o los F2280. Por otra parte, con respecto a los pernos de anclaje, debe satisfacer la norma ASTM F1554 o similares permitidos en ANSI/AISC 360 (Ver sección A3.4 "Anchor Rods and Threaded Rods" de 360 Specification for Structural Steel Buildings – American Institute of Steel Construction).

Es importante destacar que los pernos permitidos normalmente deben importarse, por lo que se debe tomar en consideración el tiempo que durarán en estar disponibles en el país

para no retrasar el proceso de montaje de la estructura. Por otra parte, una vez que el proveedor entregue los pernos se debe pedir la certificación de calidad del producto entregado. Se recomienda ver la sección 2.1 de (Research Council on Structural Connections, 2014).

Proceso de instalación de pernos

El proceso de instalación de los **pernos de anclaje** normalmente no es muy complejo, pero deben verificarse varios detalles:

- El largo del perno de anclaje debe cumplir con la longitud mínima dentro del pedestal de concreto especificada con el fin de asegurar que no va a tener ningún movimiento una vez aplicados los esfuerzos.
- Se debe asegurar que se deja rosca suficiente en la parte externa del pedestal para colocar la placa, arandelas, tuerca y que exista un sobrante. La longitud que se requiere dejar es variable y se define en función del diámetro del perno.
- Se necesita hacer uso de plantillas cuando se realiza la colada de concreto. Estas plantillas brindan una guía para que la distancia entre pernos coincida perfectamente con la distancia entre las perforaciones de la placa y no haya problemas en el montaje.
- La rosca de los pernos debe protegerse y limpiarse previo al montaje de la estructura. Es común observar pernos con residuos de concreto o de oxidación superficial. Los residuos deben de ser eliminados al realizar la instalación.

En cuanto al proceso de instalación de **pernos de unión** se deben verificar los siguientes detalles puntuales:

- Es importante primero colocar una guía cuando se alinean las piezas para colocar los pernos. Esta guía es una barra con un diámetro similar al de los pernos que permite alinear las perforaciones de las placas de unión. Este proceso no debe realizarse con el mismo perno, ya que es muy probable que se dañe la rosca con el movimiento y el perno ya no funcionaría.
- Se recomienda utilizar una secuencia de colocación de los pernos. Normalmente en una unión hay partes que tienen mayor libertad de movimiento y otras están más restringidas. Se recomienda comenzar a colocar los pernos desde la zona donde hay más restricción de movimiento y seguir hacia las áreas donde hay mayor libertad.

Esta secuencia de colocación se repite cuando se realiza la pretensión de los pernos. Con esta práctica se evita que los pernos que ya habían alcanzado el nivel de pretensión deseado pierdan tensión y tengan que volver a aplicarse el procedimiento.

- Los pernos deben estar limpios y libres de cualquier polvo o corrosión. Para facilitar el movimiento entre la tuerca y el perno es recomendable engrasar las partes y evitar exceso de fricción entre ellas.
- Antes de la instalación se debe verificar que se estén colocando los pernos correctos, tanto en tipo como en dimensiones.

Preparación de superficies de contacto

Para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema de apernado se debe verificar que las superficies de contacto, tanto la superficie entre las dos placas como la superficie de contacto entre la tuerca y la placa, cumplan con ciertas condiciones, indicadas en la sección 3.2 de (Research Council on Structural Connections, 2014).

- En el caso de la superficie entre la tuerca y la placa, debe eliminarse cualquier sustancia que pueda frenar o dificultar el giro de la tuerca. Esto incluye polvo, concreto, recubrimientos, entre otros. Además, en ocasiones las perforaciones tienen rebabas dependiendo del proceso de perforación que se haya utilizado y éstas deben eliminarse de manera previa a la instalación del perno.
- La superficie de unión de placa contra placa debe estar protegida contra la corrosión. En ocasiones, no se brinda la protección adecuada y es un punto donde inicia la corrosión rápidamente.
- Se debe asegurar que las placas de unión estén en planos paralelos. En caso de que no se pueda dar esta condición y exista un leve ángulo de separación entre las mismas, deben aplicarse métodos de pretensión distintos para alcanzar el comportamiento deseado.
- Las superficies de contacto entre placas deben estar completamente limpias y libres de rebabas, soldadura, restos de concreto o cualquier otro material que genere que no tengan un 100% de contacto entre placas.
- En las perforaciones, si existe una rebaba de más de 1/16" (1,588 mm) se debe limpiar con el fin de colocar el perno. Esto ocurre comúnmente cuando se realizan

perforaciones con métodos como oxicorte o plasma. (Ver la sección 3.4 de (Research Council on Structural Connections, 2014).

Análisis de perforaciones

Para asegurar el alineamiento de las piezas las perforaciones se realizan un poco más grandes que el tamaño del perno, dejando una holgura para que el perno entre con facilidad entre las placas. Esta holgura está normada, y como ejemplo se muestra en el Cuadro 15 la información incluida en la especificación "Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts" (Research Council on Structural Connections, 2014).

Cuadro 15. Dimensión nominal de las perforaciones para pernos

Nominal Bolt Diameter, d_b , in.	Nominal Bolt Hole Dimensions ^{a,b} , in.			
	Standard (diameter)	Oversized (diameter)	Short-slotted (width × length)	Long-slotted (width × length)
$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{9}{16} \times \frac{11}{16}$	$\frac{9}{16} \times 1\frac{1}{4}$
$\frac{5}{8}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{3}{16}$	$1\frac{1}{16} \times \frac{7}{8}$	$1\frac{1}{16} \times 1\frac{9}{16}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{16}$	$1\frac{5}{16}$	$1\frac{3}{16} \times 1$	$1\frac{3}{16} \times 1\frac{7}{8}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{16}$	$1\frac{7}{16}$	$1\frac{5}{16} \times 1\frac{1}{8}$	$1\frac{5}{16} \times 2\frac{3}{16}$
1	$1\frac{7}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{16} \times 1\frac{5}{16}$	$1\frac{7}{16} \times 2\frac{1}{2}$
$\geq 1\frac{1}{8}$	$d_b + \frac{1}{16}$	$d_b + \frac{5}{16}$	$(d_b + \frac{1}{16}) \times (d_b + \frac{3}{8})$	$(d_b + \frac{1}{16}) \times (2.5d_b)$

^a The upper tolerance on the tabulated nominal dimensions shall not exceed $\frac{1}{32}$ in. Exception: In the width of slotted holes, gouges not more than $\frac{1}{16}$ in. deep are permitted.

^b The slightly conical hole that naturally results from punching operations with properly matched punches and dies is acceptable.

Fuente: (Research Council on Structural Connections, 2014)

Es importante no sobredimensionar las perforaciones, ya que puede generar problemas en el funcionamiento del sistema de apernado. Adicionalmente si la holgura es excesiva puede generar que elementos se desalineen entre sí.

Uso de arandelas

Según la sección 6, de (Research Council on Structural Connections, 2014), debe hacerse uso de arandelas si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

- Desalineamiento entre plano de tuerca y superficie adyacente.
- Perforaciones tipo "ojo chino".

- Material de grado 40 o inferior.
- Uso de herramientas de pretensión calibradas.
- Uso de pernos tipo "twist off".
- Perforaciones más grandes de lo especificado.

Además, se debe asegurar que se utilicen arandelas que cumplan con la norma ASTM F436. En el mercado se pueden conseguir diferentes tipos de arandelas, pero no todas tienen el comportamiento o propiedades mecánicas especificadas.

Pretensión de pernos

Pretensar los pernos significa ajustar las tuercas hasta que alcancen la tensión especificada. Normalmente para alcanzar estas tensiones, deben aplicarse torques elevados, lo cual con la fuerza común de los operarios no es fácilmente alcanzable. Por esta razón, generalmente se hace uso de herramientas hidráulicas y eléctricas las cuales tienen una mayor capacidad y una tensión controlada del perno, o bien se utilizan herramientas llamadas "torquímetros".

Para realizar el proceso de pretensión se recomienda realizar una prueba de pre-instalación de los pernos. Esta prueba consiste en ensamblar una junta a nivel de suelo, colocar los pernos y alcanzar el nivel de tensión descrito en el Cuadro 16. El valor de pretensión es función del tipo de perno y del diámetro. Con esta prueba se asegura que mediante el método que se va a utilizar, con las condiciones de los pernos, de las superficies de contacto y de la herramienta, se va a poder realizar el proceso adecuadamente en la estructura real.

Cuadro 16. Pretensión mínima en pernos para la verificación de pre-instalación.

Nominal Bolt Diameter, d_b , in.	Minimum Bolt Pretension for Pre-Installation Verification, kips ^a	
	ASTM A325 and F1852	ASTM A490 and F2280
½	13	16
¾	20	25
¾	29	37
7/8	41	51
1	54	67
1 1/8	59	84
1 ¼	75	107
1 ½	89	127
1 ½	108	155

^a Equal to 1.05 times the specified minimum bolt pretension required in Table 8.1, rounded to the nearest kip.

Fuente: (Research Council on Structural Connections, 2014)

En el Cuadro 17 se muestra la pretensión necesaria en los pernos al instalarlos de manera definitiva en la estructura. Si se compara la información del Cuadro 17 con la del Cuadro 16, se observa como los niveles de pretensión requeridos en la instalación definitiva son menores que en la prueba de pre-instalación.

Cuadro 17. Pretensión mínima de pernos según tipo y diámetro

Nominal Bolt Diameter, d_b , in.	Specified Minimum Bolt Pretension, T_m , kips ^a	
	ASTM A325 and F1852	ASTM A490 and F2280
½	12	15
¾	19	24
¾	28	35
7/8	39	49
1	51	64
1¼	56	80
1¼	71	102
1½	85	121
1½	103	148

^a Equal to 70 percent of the specified minimum tensile strength of bolts as specified in ASTM Specifications for tests of full-size ASTM A325 and A490 bolts with UNC threads loaded in axial tension, rounded to the nearest kip.

Fuente: (Research Council on Structural Connections, 2014)

Para alcanzar y verificar que efectivamente se alcanzó la pretensión deseada se pueden aplicar distintos métodos. Los más utilizados son los siguientes:

- Método de giro de tuerca ("Turn-of-nut").
- Torquímetro.
- Pernos "Twist-off".
- Indicador de tensión directa (arandelas que cambian de color una vez alcanzada la pretensión necesaria).

En el caso del primer método de pretensión, se recomienda realizar la pretensión conforme a la información contenida en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Método de pretensión mediante "giro de tuerca" según condiciones de la junta

Bolt Length ^c	Disposition of Outer Faces of Bolted Parts		
	Both faces normal to bolt axis	One face normal to bolt axis, other sloped not more than 1:20 ^d	Both faces sloped not more than 1:20 from normal to bolt axis ^d
Not more than $4d_b$	$\frac{1}{2}$ turn	$\frac{1}{2}$ turn	$\frac{3}{8}$ turn
More than $4d_b$ but not more than $8d_b$	$\frac{1}{2}$ turn	$\frac{3}{8}$ turn	$\frac{5}{8}$ turn
More than $8d_b$ but not more than $12d_b$	$\frac{3}{8}$ turn	$\frac{5}{8}$ turn	1 turn

^a Nut rotation is relative to bolt regardless of the element (nut or bolt) being turned. For all required nut rotations, the tolerance is plus 60 degrees ($\frac{1}{2}$ turn) and minus 30 degrees.
^b Applicable only to *joints* in which all material within the *grip* is steel.
^c When the bolt length exceeds $12d_b$, the required nut rotation shall be determined by actual testing in a suitable *tension calibrator* that simulates the conditions of solidly fitting steel.
^d Beveled washer not used.

Fuente: (Research Council on Structural Connections, 2014)

Recomendaciones sobre el uso de pernos

Algunas recomendaciones o buenas prácticas que se tienen en el uso de pernos de anclaje y de unión son las siguientes:

- Para poder identificar cuáles pernos se está aplicando es necesario conocer los tipos más comunes y las características que los distinguen. En el Cuadro 19 se muestra en la primera columna el nombre o norma con la que cumple el perno. En las columnas 2 y 3 se muestra cómo se vería la cabeza del perno para identificarlo.
- Los pernos A325 son equivalentes a los ASTM F1852 "twist off" (Ver sección 1.1 de (Research Council on Structural Connections, 2014).
- Los pernos A490 son equivalentes a los ASTM F2280 "Twist-off" (Ver sección 1.1 de (Research Council on Structural Connections, 2014).
- Los pernos A490, F1852 y F2280 no son reutilizables, mientras que los A325 negros sí pueden reutilizarse.

- Los pernos A325 y A490 pueden limpiarse y lubricarse para utilizarse para su primer instalación.

Cuadro 19. Identificación del tipo de perno

Bolt/Nut	Type 1	Type 3	
ASTM A325 bolt	 <p>Three radial lines 120° apart are optional</p>		
ASTM F1852 bolt	 <p>Three radial lines 120° apart are optional</p>		
ASTM A490 bolt			
ASTM F2280 bolt			
ASTM A563 nut	 <p>Arcs indicate Grade C</p>	 <p>Arcs with "3" indicate Grade C3</p>	 <p>Grade D</p>
	 <p>Grade DH</p>	 <p>Grade DH3</p>	
<p>1. XYZ represents the manufacturer's identification mark. 2. ASTM F1852 and ASTM F2280 twist-off-type tension-control bolt assemblies are also produced with a heavy-hex head that has similar markings.</p>			

Fuente: (Research Council on Structural Connections, 2014)

- Los pernos ASTM F1852 y F2280 no deben lubricarse. En caso de que sea necesario una relubricación, deben entregarse al proveedor para que realice el procedimiento adecuado.
- Los pernos deben estar almacenados lejos de la humedad y el polvo.

- Cuando se vayan a utilizar los pernos en la instalación se debe sacar únicamente los necesarios y mantener protegidos el resto con el fin de conservar y proteger la integridad de los pernos y sus accesorios.
- En el Cuadro 20 se muestra la lista de normas que indican las propiedades que debe cumplir los pernos. También se indica la norma para las tuercas, arandelas y arandelas indicadoras de tensión directa (cambian de color una vez alcanzada la pretensión necesaria) utilizadas en procesos de pretensión de pernos.

Cuadro 20. Lista de normas para tipos de pernos, tuercas, arandelas y arandelas indicadores de tensión directa

Product	ASTM Standard	See Lot Definition in ASTM Section
Conventional bolts	A325	9.4
	A490	11.4
Twist-off-type tension-control bolt assemblies	F1852	13.4
	F2280	3.1.1
Nuts	A563	9.2
Washers	F436	9.2
Compressible-washer-type direct tension indicators	F959	10.2.2

Fuente: (Research Council on Structural Connections, 2014)

Resultados finales del proceso de inspección de pernos

El proceso de inspección del sistema de apernado se ejecuta en varias etapas del proyecto. Se inicia con la revisión de las placas de anclaje y unión, en la verificación de la calidad de los cortes, la comprobación de las dimensiones y la inspección de las perforaciones. Finaliza hasta el momento en que se realizan los procesos de pretensión en las estructuras ya montadas.

Una vez finalizada la inspección del proceso de apernado, se debe asegurar el correcto funcionamiento de las juntas tal y como fueron diseñadas originalmente. Es recomendable que se elaboren informes en donde se detallen los niveles de pretensión que se alcanzaron en todas las juntas y se documente esta información como parte de la garantía del proyecto.

4.2.12. Limpieza de estructura y recubrimientos

Descripción general

Una de las mayores desventajas en el uso del acero en la fabricación de estructuras es la corrosión. La corrosión se produce porque el acero por tener grandes cantidades de hierro en su composición química tiende a sufrir de un proceso rápido de oxidación en caso de no estar protegido adecuadamente. Este proceso de oxidación puede generar pérdida del material y por lo tanto, comprometer la integridad de la estructura.

Actualmente existen diferentes recubrimientos que se pueden aplicar a las estructuras de acero con el fin de retrasar en gran medida el proceso de corrosión de la estructura. El recubrimiento utilizado depende del tipo de acabado que se desea y especialmente del nivel de exposición a un ambiente corrosivo al cual va a estar sometido el material.

La elección del recubrimiento y la correcta aplicación de este es fundamental para asegurar que la estructura va a estar bien protegida contra una oxidación temprana. La inspección del proceso de limpieza y la preparación de la superficie, la aplicación del recubrimiento y el proceso de curado son fundamentales para asegurar la protección de la estructura.

Responsable de la ejecución del proceso

La persona encargada de supervisar el proceso, tanto de la limpieza y preparación de la superficie como de la aplicación de recubrimientos, es el jefe de taller. Normalmente, en empresas grandes, se asigna un responsable especialista de dirigir al equipo de pintura. Esta persona tiene la responsabilidad de dirigir y hacer cumplir los requerimientos técnicos en la aplicación para asegurar que los recubrimientos van a funcionar adecuadamente.

Responsable de la inspección del proceso

La inspección del proceso está a cargo de los gestores de calidad de la empresa. Además, para asegurar la calidad del proceso intervienen también otros entes ajenos al personal de la empresa fabricante como el proveedor de la pintura (capacitando y verificando que el proceso se aplique correctamente) o entes externos realizando un proceso de aseguramiento de la calidad.

Normativa o reglamentos aplicables

Con respecto a la normativa aplicable a la preparación de superficie y aplicación de recubrimientos se recomiendan las siguientes referencias:

- Coating Inspector Program Level 1 Student Manual - NACE - 2011
- Surface Preparation Commentary for Metal Substrates (The Society for Protective Coatings SSPC) – 2016
- Ficha técnica de los productos a aplicar.

Insumos necesarios para la inspección

Los insumos básicos necesarios para la inspección de la preparación de la superficie y la aplicación de recubrimientos son los siguientes:

- Especificaciones del proyecto, para conocer el tipo de producto a aplicar y el nivel de exposición a ambiente corrosivo.
- Ficha técnica de los productos a aplicar.
- Instrumentos de medición de espesores y de las condiciones ambientales.

Puntos críticos por inspeccionar

Responsabilidades del inspector de recubrimientos

El papel que cumple un inspector de recubrimientos es muy específico e importante. Existen varios procesos previos que deben realizarse antes de aplicar el recubrimiento con el fin de asegurar que el sistema de protección funcione adecuadamente. Eso implica fiscalización del proceso de inicio a fin. Algunas de las responsabilidades directas que tiene un inspector y experto en el área de recubrimientos se detallan a continuación:

- El inspector debe conocer de forma detallada las especificaciones del proyecto y las necesidades del cliente final. Estas especificaciones deben estar por escrito y deben ser aceptadas por las partes interesadas y se deben transmitir a través del experto a todo el equipo asignado al proceso. Si bien es cierto de forma general el proceso para aplicar pintura es similar, dependiendo del producto se pueden requerir prácticas específicas.
- El inspector debe pedir al proveedor la ficha técnica actualizada del producto a aplicar, en donde se explique el tipo de producto que se aplicará y todos los requerimientos particulares necesarios para que funcione adecuadamente.
- El inspector debe realizar reuniones cada vez que sea necesario con los involucrados en el proceso con el fin de aclarar cualquier consulta técnica sobre la aplicación del recubrimiento o con las responsabilidades de cada parte del equipo de trabajo.

- El inspector está encargado de documentar todo el proceso de limpieza, preparación de superficie, aplicación del recubrimiento y periodo de curado de los productos. Toda esta información deberá detallarse en los informes que se presenten garantizando el adecuado proceso de protección.
- También previo a la aplicación debe cerciorarse que el producto a aplicar esté en buenas condiciones y sea el correcto. Esto incluye que el producto sea nuevo, que venga sellado y que la fecha de vencimiento no esté demasiado próxima a cumplirse.
- El inspector debe pedir al proveedor la ficha de seguridad del producto (MSDS), y transmitir la información a todo el equipo de trabajo. Si se utilizan productos químicos con equipos como pintura con pistola o tipo "Airless", es fácil entrar en contacto con los mismos. Es por esto que se deben seguir exactamente los requisitos de salud ocupacional y asegurar las condiciones adecuadas para los colaboradores. Este es un trabajo que se realiza en conjunto con los encargados de salud ocupacional.
- El inspector debe asegurar en conjunto con el personal de salud ocupacional que el almacenamiento de los productos sea en un lugar seguro, lejos de fuentes de ignición. Es común ver en talleres que se aplica soldadura o caen chispas cerca de espacios de almacenamiento de sustancias inflamables, lo cual es altamente peligroso para la integridad del equipo de trabajo y la infraestructura.

Corrosión

En la sección 2.5.4 del Marco Teórico se muestran las generalidades sobre la corrosión que afecta a las estructuras de acero. Cuando se realiza inspección de un material base, o bien, de una estructura que está en servicio, lo primero que debe analizarse es el grado de corrosión presente en la estructura. En el Cuadro 6 del Marco Teórico se muestra la explicación de la clasificación, así como una imagen de referencia para mayor facilidad de identificación de cada grado de corrosión.

Preparación de superficie

La preparación de superficie es uno de los pasos más importantes para asegurar que el producto a aplicar funcione adecuadamente. Si esto no se realiza de forma adecuada, el producto no protegerá la estructura como se diseñó, y se deberá incurrir en gastos muy elevados para la reparación de estructuras ya instaladas.

El inspector debe inspeccionar y documentar que el proceso de limpieza y preparación de superficie se realiza de forma adecuada, y debe ser especialmente estricto para asegurar el correcto funcionamiento del recubrimiento. Algunos de los detalles que deben inspeccionarse durante este proceso son los siguientes:

- Se debe conocer el grado de limpieza a alcanzar en la superficie según la ficha técnica del producto para asegurar el adecuado funcionamiento del recubrimiento. En el Cuadro 7, en la sección 2.5.4 del Marco Teórico, se muestran los diferentes grados de limpieza y el método para llegar al mismo basado en la norma SSPC.
- El inspector debe revisar la ficha técnica del producto en donde se debe indicar el valor del perfil de anclaje necesario para la aplicación del producto. El perfil de anclaje se refiere al nivel de rugosidad de la superficie y de este valor va a depender el nivel de adherencia que va a tener el producto a aplicar.
- El inspector debe realizar mediciones de perfil de anclaje previo a la aplicación del producto y documentar que se cumple con el mínimo establecido en todas las áreas de la pieza a pintar. El perfil de anclaje se mide en micras o mills, igual que los espesores de pintura.
- El inspector debe verificar que el nivel de limpieza alcanzado se mantenga igual que cuando se realizó el proceso de limpieza. Esto es especialmente importante en piezas que estén en un nivel de limpieza del tipo SSPC-5 – Metal blanco o bien, SSPC-SP10 – Metal casi blanco, debido a que el material es muy susceptible a sufrir de corrosión superficial al no tener ninguna protección natural (Chapa de laminación).
- Es recomendable siempre realizar un proceso de limpieza SSPC-SP1 a todas las piezas, previo a la aplicación de cualquier otro método. Con el proceso SSPC-SP1 se extraen grasas o aceites que estén en la superficie que si se realizara un proceso de granallado o arenado se depositarían dentro del material, lo cual generaría problemas a la hora de la aplicación del recubrimiento.
- Según la experiencia del inspector y las posibilidades de la empresa, se debe tomar la decisión de cuál es el método de limpieza conveniente de aplicar en términos de costos, tiempo y acabado necesario. Se puede llegar al mismo resultado por diferentes métodos, sin embargo, con variables muy distintas una de otra.
- Se debe tomar en cuenta que si en una pieza que tenga un grado de corrosión de nivel C o D (ver Cuadro 6) se aplica un sistema de limpieza de arenado, el perfil de

anclaje aumentará debido a las cavitaciones del material, implicando que el consumo de pintura aumente considerablemente debido a ese aumento en el perfil de anclaje.

Condiciones ambientales

Como se mencionó anteriormente, en la aplicación de recubrimientos intervienen una gran cantidad de variables. Las condiciones ambientales son un conjunto de variables que deben medirse y controlarse, ya que bajo ciertas condiciones no es posible realizar la aplicación de los productos.

El inspector debe verificar como mínimo las siguientes condiciones:

- La temperatura de la superficie de aplicación no debe ser mayor a los 50°C. Esto es especialmente importante cuando se realiza aplicación de pintura en campo y las estructuras reciben directamente la radiación solar. Ver sección 5.1.1 de (NACE Internacional, 2011).
- Se debe realizar una medición de la temperatura del ambiente y comparar directamente contra la ficha técnica, con el fin de determinar si la temperatura se encuentra en el rango para el cual se puede realizar la aplicación o no.
- Se debe medir la humedad relativa del ambiente. Si la humedad es más elevada que lo que dice la ficha técnica no debe aplicarse el producto. Esto es especialmente importante en pinturas a base de agua, ya que un ambiente sumamente húmedo puede evitar que la pintura alcance el curado debido a la gran cantidad de agua en la atmósfera.
- Se debe conocer de antemano el punto de rocío del ambiente. Esto debido a que, si la temperatura de la superficie donde se va a aplicar alcanza la temperatura de rocío, el agua presente en el aire se condensará y mojará la estructura, lo cual es altamente nocivo en la aplicación de los recubrimientos. Se recomienda que exista una diferencia de al menos 3° C entre ellas.
- Si se está aplicando pintura en campo, especialmente con equipos a presión, la velocidad del viento no puede sobrepasar los 63 km/h, ya que aplicar la pintura cuando la velocidad es mayor que este valor se considera peligroso para los colaboradores y se generará problemas graves de acabado.
- Se debe mantener un área de trabajo lo más limpia y libre de contaminantes en el aire como sea posible. Por ejemplo, se debe barrer constantemente y humedecer el

suelo donde se aplican recubrimientos, así como tener extractores de aire en varias zonas del taller con el fin de sustituir fácilmente el aire del área de trabajo.

Aplicación de recubrimientos

El proceso de aplicación de recubrimientos puede realizarse mediante diferentes métodos, los cuales resultan en diferentes acabados. Dependiendo del producto y el lugar donde se esté realizando el trabajo puede ser más conveniente un tipo de recubrimiento u otro.

Entre las principales actividades que deben verificarse durante la aplicación del producto de recubrimiento por parte del inspector se destacan las siguientes:

- Al igual que en el proceso de soldadura, para la correcta aplicación de pintura se necesitan conocimientos técnicos y habilidades que solo con la experiencia se pueden obtener. Por esta razón, se recomienda tener trazabilidad de quien aplica el recubrimiento en las piezas, con el fin de detectar y corregir posibles errores en la aplicación.
- Las pinturas normalmente requieren de varios componentes: la base, los diluyentes, los aditivos, los catalizadores, entre otros. Se debe asegurar que se obtenga una mezcla homogénea de todos los componentes para la correcta aplicación y curado del recubrimiento.
- Se debe verificar que los componentes que se están mezclando sean los correctos. En ocasiones se cometen errores por no revisar la ficha técnica de los productos, que a pesar de que puedan ser similares, no necesariamente van a funcionar bien al mezclarse. Se debe tener especial cuidado con los recubrimientos que son base agua, ya que, si se mezclan con un diluyente base aceite, no podrán utilizarse y deberán ser desechados.
- El inspector debe sugerir cual es el método más adecuado de aplicación de pintura, dependiendo del producto, el tiempo disponible y el acabado al que se necesita llegar. Algunas de las opciones que se tienen para la aplicación son: con brocha, rodillo, equipo de presión con pistola convencional o calderín, y equipo "airless".
- Es altamente recomendado el uso del "Stripe Coating", el cual es la aplicación extra de recubrimiento sobre los bordes, soldaduras, anclajes, perforaciones o cualquier otra zona con irregularidades en la estructura. Este procedimiento provee una

protección extra contra la corrosión en lugares donde no se alcanza fácilmente el espesor de recubrimiento deseado.

- En el caso de recubrimientos bicomponentes, el inspector debe asegurarse y capacitar al personal que aplicará el producto acerca de las proporciones de cada producto. En el caso de pinturas catalizadas debe capacitarse al personal en el uso de estos sistemas de pintura especializados.
- El inspector debe indicar cuál va a ser el tiempo de inducción una vez mezclados los componentes, además del tiempo de empleo ("pot life"), que se refiere al tiempo de vida máximo que se tiene para poder aplicar la pintura antes de que seque.
- Se debe asegurar que se dé el tiempo de secado entre capas. Esto es fundamental para evitar que se den casos de solventes atrapados entre capas.

Mediciones y ensayos de verificación

La mejor manera de asegurar que el proceso se ha realizado de forma adecuada es mediante mediciones utilizando herramientas de medición adecuadas. Se pueden realizar ensayos con los cuales se verifica el resultado final del proceso y se documenta como garantía de éxito de la aplicación del producto.

El inspector debe medir:

- Medición de espesor húmedo (WFT) luego de la aplicación. Con base a esta medición y el porcentaje de sólidos disueltos en la pintura, se conocerá cual es el espesor seco (DFT) final que se obtendrá.
- Debe verificarse que el aire presurizado utilizado no contenga agua o aceite, ya que esto genera problemas en la aplicación del recubrimiento.
- Se debe verificar el resultado final del DFT mediante el uso de un micrómetro electrónico. Se debe medir este espesor en varios puntos de la pieza. No es permitido que exista más de 20% de diferencia entre mediciones, de lo contrario la pieza no cumple.
- Es recomendable realizar pruebas de adherencia en el producto ya terminado. Debido a que las pruebas de adherencia son un ensayo destructivo en el área donde se realiza, debe tenerse por escrito la autorización para realizar el ensayo. En algunos casos es recomendable fabricar testigos en piezas aparte. Estas piezas reciben exactamente el mismo proceso de limpieza y aplicación que la pieza a entregar, y se

realizan los ensayos de adherencia sobre los testigos para no afectar los elementos originales del proyecto.

- Es recomendable utilizar un detector de discontinuidades eléctrico, con el fin de hallar posibles porosidades o grietas que puedan generar un foco de corrosión una vez instalado el elemento.
- El inspector debe asegurarse que las piezas estén etiquetadas con su respectivo código para facilitar el proceso de transporte y montaje en campo.

Resultados finales del proceso de inspección de limpieza y aplicación de recubrimientos

El principal resultado del proceso de inspección y de aplicación de recubrimientos son los informes de calidad que certifican que el proceso fue realizado correctamente. El proceso incluye la limpieza del material, mediante el método que sea necesario, la aplicación del producto adecuado y bien mezclado, bajo las condiciones ambientales adecuadas, el curado de las piezas y finalmente, el etiquetado de cada una de las piezas para facilitar el transporte y el montaje.

4.2.13. Transporte de estructuras

Descripción general

A pesar de que el transporte de estructuras es muy usual que se subcontrate y se deje a cargo de los transportistas, es necesario estudiarlo e inspeccionar el proceso, debido a que en muchas ocasiones las estructuras sufren daños durante este proceso. Estos daños deben ser reparados en campo, generando atrasos y costos adicionales que no estaban contemplados al inicio del proyecto. Además, un transporte no planificado correctamente puede hacer incurrir en atrasos y multas si no se cumple con la legislación nacional en cuanto al transporte de cargas especiales.

Responsable de la ejecución del proceso

El proceso de carga y transporte de la estructura está a cargo del jefe de taller, así como de los encargados de área. En caso de que hayan encargados de transporte en la empresa, ellos serían quienes ejecutan la actividad.

Es común que la actividad de transporte se subcontrate, especialmente si la carga es larga o muy pesada y se necesita un vehículo de gran tamaño para poder llevarla. En este caso, el responsable de ejecutar la actividad de transporte es un ente externo contratado.

Responsable de la inspección del proceso

El aseguramiento de que la carga esté en buenas condiciones cuando sale del taller y cuando llega a campo es responsabilidad de los gestores de calidad de la empresa. De forma indirecta los jefes de taller y capataces de campo también deben inspeccionar la calidad de las estructuras cuando las reciben, para reportar y corregir los problemas que se produzcan durante el transporte de la estructura.

Normativa o reglamentos aplicables

Como parte de la normativa aplicable al proceso de transporte se destaca:

- Reglamento sobre Vehículos de Carga (Decreto Ejecutivo N° 31363 del 02 de junio del 2003, publicado en La Gaceta N° 182 de 23 de setiembre del 2003).

Además, como referencias recomendadas se destacan las siguientes:

- Cavallini, H. A. (2006). *Consideraciones sobre la normativa de pesos y dimensiones para vehículos y transporte de carga en Costa Rica*. San José: Revista MOPT.
- International Road Transport Union (IRU). (2014). *Código de buenas prácticas para la estiba segura de la carga en el transporte por carretera*. Ginebra: IRU.
- Roel, R. R. (2015). *Guía de seguridad en procesos de Almacenamiento y Manejo de Cargas*. España: FREMAP.

Insumos necesarios para la inspección

Los insumos necesarios para inspeccionar el proceso son:

- Normativa nacional aplicable
- Peso y dimensiones de la carga

Puntos críticos por inspeccionar

Los puntos más importantes que se deben inspeccionar durante el transporte de la estructura desde los talleres de prefabricado hasta el sitio de instalación se enumeran a continuación.

Revisiones previas a la carga para transporte

Algunas de las variables que deben tomarse en cuenta previo a la carga de las estructuras en el transporte son las siguientes:

- Se debe verificar que el recubrimiento aplicado a las estructuras ya esté completamente curado y seco. El periodo de secado y curado del recubrimiento debe respetarse obligatoriamente, de lo contrario, durante el transporte sufrirá graves daños.
- Se debe establecer y planificar la ruta a seguir. En algunos casos, existen limitaciones de espacio y de peso en ciertas rutas, lo cual puede generar atrasos, riesgos innecesarios o incluso multas por parte de la Policía de Tránsito.
- Se debe verificar que el chofer cuente con las condiciones físicas para realizar el transporte, además de las licencias y permisos para transportar el tipo de carga. Además, el vehículo debe contar con todos los permisos al día para transitar.
- Según el Reglamento General de Construcciones, del Consejo de Salud Ocupacional (CSO), en caso de que durante la carga o descarga del material el personal llega a estar a más de 1,8 m de altura, deben contar con equipo de seguridad para trabajo en alturas y una línea de vida que asegure la integridad del personal en caso de una caída (Consejo de Salud Ocupacional, 2017)

Estabilidad y protección de la integridad de la carga transportada

Una vez cargado todo el material en el vehículo se debe:

- Verificar que todas las piezas cuenten con su respectiva etiqueta, con el nombre del elemento o código para su fácil identificación en campo.
- Se debe verificar que se haya cargado de forma lógica según el peso de los elementos. Es decir, los elementos más pesados y masivos deben ir abajo y sobre éstos colocar los elementos de menor peso.
- Se recomienda colocar piezas de madera o algún material resistente y antideslizante entre los elementos metálicos. Esto previene enormemente los daños al recubrimiento y afianza la carga una vez que se colocan las cuerdas o eslingas de amarre.
- Se debe asegurar que las cuerdas, eslingas o cadenas que se coloquen para amarrar la carga restrinjan las piezas en cualquier dirección posible de movimiento, y que las

mismas no puedan aflojarse fácilmente con los movimientos del vehículo durante el transporte.

- Se recomienda colocar las mayores cargas sobre los ejes de los vehículos con el fin de distribuir el peso de forma más eficiente.
- Al momento de descargar el material, éste debe almacenarse en campo según la secuencia de montaje que se va a tener. Es decir, se debe dejar con mayor facilidad de acceso lo que más pronto se instalará.
- El material entregado debe ser contabilizado y debe tener completa la documentación (boletas de entrega, fotografías, entre otros). Esto se realiza con el fin de tener trazabilidad sobre el material, ya que la pérdida y hurto de materiales es común en los proyectos.

Cumplimiento de normativa nacional para transporte de cargas

Según el Reglamento sobre Vehículos de Carga, vigente desde el año 2003 mediante un Decreto Ejecutivo N° 31363, se establecen las siguientes restricciones en el transporte de cargas en territorio nacional:

- La carga no puede superar los 2,5 m de ancho.
- El vehículo con la carga no puede superar los 3,8 m de altura.
- En caso de que el vehículo de carga sea un camión articulado, no debe sobrepasar los 18,3 m de largo total.
- La estructura no debe sobresalir más de 1 metro, por detrás o por delante del vehículo. En caso de tener una carga que sobresale se deben colocar banderolas en los extremos que aumenten la visibilidad de la carga.
- En caso de que se deban sobrepasar las dimensiones establecidas en esta normativa, se deben realizar los transportes en horas de muy poco tránsito y con una respectiva escolta con otros vehículos para brindar seguridad a la carga y a los otros usuarios de las carreteras.

Resultados finales del proceso de inspección de transporte de las estructuras

Durante el proceso de transporte de las estructuras existe un alto riesgo de dañarlas, especialmente si son elementos delgados. También se pueden provocar graves daños en los recubrimientos. Estos riesgos no se pueden eliminar en un 100%, sin embargo, con buenas prácticas e inspección por parte de los encargados, se pueden reducir los daños.

Un proceso de transporte bien inspeccionado favorece la disposición ordenada de las estructuras cuando llegan a campo, ya que serán colocadas según su secuencia de montaje y conforme al etiquetado que se estableció desde el inicio del proyecto.

Otro aspecto favorable de un proceso de transporte ordenado es que se da trazabilidad al proceso de entrega del taller hacia campo. De esta forma, se lleva un control claro de la producción y de las necesidades más próximas a cumplir por parte del taller de manera que no se retrasan los montajes.

4.2.14. Montaje de estructuras

Descripción general

Debido a que las condiciones en campo son mucho menos controladas que en taller, la inspección debe ser muy minuciosa en términos de la calidad de los procesos que se ejecutan. El montaje en campo no solo abarca colocar las piezas en el lugar donde estarán permanentemente, sino también: realizar soldaduras en sitio, apernar y pretensar y siempre es necesario volver a aplicar recubrimiento y acabado, debido a que, tanto durante el transporte como en la instalación de las estructuras, los recubrimientos sufren rayones y golpes que deben ser corregidos. Todos estos procesos son más complejos de realizar en campo, ya que se tienen condiciones adversas como la lluvia, el viento, trabajos bajo el sol y una menor facilidad de movimiento de piezas pesadas (no siempre se tiene acceso a grúas, montacargas, etc).

Otro punto para tomar en cuenta con respecto al trabajo de montaje en campo, es que es usual que converjan diferentes contratistas al mismo momento de la instalación de estructura de acero. Esto genera que la planificación del espacio, los tiempos de montaje y la negociación sean aspectos fundamentales por considerar.

Responsable de la ejecución del proceso

Normalmente en campo hay un maestro de obras o capataz encargado de dirigir el proceso de montaje. Generalmente es una persona con amplia experiencia en estructuras y trabajos de construcción, y además cuenta con capacidad de liderazgo, negociación y facilidad de comunicación.

En ocasiones, dependiendo del proyecto, el ingeniero encargado también cumple labores de dirección del personal y el equipo, además de la toma de decisiones diarias del proyecto.

Responsable de la inspección del proceso

La inspección del proceso de montaje está a cargo de los gestores de calidad. Ellos deben inspeccionar el armado en campo, la ejecución de las soldaduras, la colocación de los pernos y la realización del acabado de la estructura.

El ingeniero a cargo del proyecto también tiene la responsabilidad de velar que se cumpla con las especificaciones, tiempos de entrega y calidad, ya que es quien tiene el contacto directo con el cliente final.

Normativa o reglamentos aplicables

Las principales normativas o reglamentos que deben aplicarse en el montaje de estructuras metálicas son los siguientes:

- Código Sísmico de Costa Rica 2010 – Revisión 2014
- Reglamento de Construcciones – INVU (2018)
- D1.1 Structural Welding Code – Steel – American Welding Society (AWS)
- D1.5 Bridge Welding Code – American Welding Society (AWS)
- D1.8 Structural Welding Code – Seismic Supplement – American Welding Society (AWS)
- A360-16 Specification for Structural Steel Buildings – American Institute of Steel Construction (AISC)
- Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts – Research Council on Structural Connections (RCSC)
- Steel Bridge Erection Guide Specification – American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Insumos necesarios para la inspección

Los insumos necesarios para realizar la inspección específicamente del montaje son los siguientes:

- Especificaciones del proyecto
- Plan de izaje
- Planos de taller y montaje
- Capacidad del equipo de izaje

Durante este proceso se inspeccionan otros procesos como soldadura, pernos y recubrimientos, por lo que también son necesarios los insumos asociados a esos procesos.

Puntos críticos por inspeccionar

El proceso de montaje de la estructura es crítico y complejo. Se necesita personal altamente capacitado para ejecutar las actividades correctamente y de forma segura. También es importante destacar que se debe procurar prefabricar en la medida de lo posible en los talleres, ya que las condiciones de campo son mucho más complejas y difíciles de controlar.

Cuando un proyecto llega finalmente a la etapa del montaje de la estructura, es cuando realmente se pone a prueba el nivel de planificación que se tuvo desde un inicio. Lograr el balance entre el avance en el montaje con el avance en talleres es complejo, y secuenciar la producción de forma que no existan desperdicios de horas hombre o recursos exige análisis y experiencia de parte del ingeniero a cargo.

Específicamente del proceso de montaje se deben inspeccionar los siguientes puntos:

Material almacenado

El almacenamiento del material en campo requiere mucha más planificación que cuando se realiza en los talleres. Es común que un proyecto no tenga suficiente espacio para guardar grandes cantidades de material, por lo que se debe procurar que el material que se envía a campo se monte en 2 días como máximo.

Algunos puntos por inspeccionar en el material recibido y almacenado en campo son los siguientes:

- El inspector debe verificar que todo el material esté correctamente identificado y etiquetado a la actividad o estructura que corresponde. También que se almacene de forma lógica según el proceso de montaje, es decir, lo que se monta primero debe estar con más fácil acceso que lo que se monta de último.
- Se debe verificar nuevamente que el material que se recibe no haya sufrido daños graves como golpes, pandeos o retorcimientos que impliquen un atraso en el montaje en campo. En caso de ser así, se debe analizar cuál es el error que se está cometiendo durante el proceso de transporte y corregirlo inmediatamente.
- En caso de que el material se almacene más tiempo en campo, el encargado debe abocarse a protegerlo contra el exceso de humedad con el fin de evitar que sufra de

corrosión prematura por las condiciones de almacenamiento. En caso de que el material tenga inicios de oxidación, debe corregirse antes del montaje, ya que es más fácil corregir el daño a nivel de suelo que una vez que ya ha sido instalado.

- El encargado debe verificar que el material está completo antes de iniciar las actividades. En caso de que no sea así, debe pedirse a talleres que produzcan las piezas faltantes de forma prioritaria, ya que si el material no está completo puede significar un atraso considerable y un error de planeamiento grave.
- En caso de que el taller esté realizando entregas parciales del material, se debe establecer una secuencia de montaje bien definida, con el objetivo que siempre se esté fabricando en talleres lo que es prioridad de montaje en campo. Este planeamiento se realiza en conjunto con otros contratistas del proyecto, ya que, en ocasiones es necesaria la negociación de tiempos y espacios específicos para el montaje de estructuras donde también trabajan otras empresas.

Plan de izaje

Para evitar inconvenientes en el montaje, tanto de falta de material como de tiempo para montar las estructuras, se elabora previamente un plan de izaje. En este se definen parámetros como el uso de maquinaria especializada, personal necesario y planeamiento general. Un plan de izaje debe contener como mínimo las siguientes variables definidas, según las recomendaciones del Steel Bridge Erection Guide Specification (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2019)

- Planos del área de trabajo y del espacio de montaje.
- Planos de ubicación de las bases para instalación.
- Caminos de acceso hasta el sitio de montaje.
- Estructuras y condiciones que limitan el acceso hasta el sitio de montaje.
- Zonas de almacenamiento de materiales
- Indicaciones de puntos de izaje de los elementos.
- Información de grúas o equipo de izaje a utilizar.
- Restricciones de viento.
- Arriostres temporales para soportar cargas durante el montaje (Puntales, por ejemplo)
- Peso de los elementos a montar.
- Detalles de utilería de izaje (Cadenas, eslingas, cuerdas, etc.)

- Condiciones de soporte del suelo (Para fijar correctamente las grúas o equipos de izaje se debe analizar condiciones especiales del suelo)
- Ubicación exacta de la grúa camión o grúa torre, así como radios de giro.
- Secuencia de montaje de actividades.

Verificación de resultado final del proceso

Una vez finalizado el proceso de montaje, se deben verificar algunos detalles puntuales. Según el tipo de estructura por inspeccionar existirán algunas diferencias, sin embargo, se consideran básicos y aplicables a la mayoría de proyectos con elementos de acero los siguientes aspectos:

- Verificar que los elementos verticales estén aplomados. Para esto se hace uso de niveles de precisión, niveles láser e incluso herramientas básicas como plomadas.
- Se debe verificar la linealidad entre elementos de un mismo eje. Para ello, se utilizan cuerdas, láser y equipo topográfico en estructuras de gran tamaño. En caso de que se tenga un error en la linealidad se pueden generar inconvenientes en los demás elementos que se unen a estos elementos, por lo que debe corregirse antes de seguir con las demás actividades.
- Se debe inspeccionar la calidad de las soldaduras en campo. Para esto, se hace de la misma forma que en taller, siguiendo el mismo proceso y con el mismo criterio ya especificado. Además, se deben realizar todos los END necesarios para asegurar que la junta es adecuada y cumple con los estándares y el plan de calidad propuesto inicialmente.
- Se debe verificar que los planos de taller y montaje coinciden en todos los aspectos con lo que se tiene instalado en campo, ya que esto responde directamente a las necesidades y requerimientos que estipuló el cliente inicialmente.
- Es recomendable realizar la mayor cantidad de actividades a nivel del suelo. Cuando se deben ejecutar procesos como soldadura o pintura en altura, el rendimiento disminuye considerablemente y los riesgos de trabajo aumentan, por lo que los tiempos y costos son mayores.
- El inspector o encargado debe verificar los puntos clave de las estructuras. Por ejemplo, siempre debe revisar los puntos de anclaje, las soldaduras en campo, las uniones apernadas y la calidad del acabado de la estructura. Además, debe verificar

siempre que no falten elementos y accesorios, como bracones, tensores, rigidizadores o elementos secundarios no estructurales.

Resultados finales del proceso de inspección de montaje de las estructuras

Al inspeccionar el proceso de montaje se da el aseguramiento de la correcta instalación de todos los elementos, tanto en dimensiones y posición, como en calidad de la soldadura, del apernado y la aplicación de recubrimientos en campo. Para todos estos procesos, al igual que en los anteriores, se deben generar reportes de calidad donde se muestre el proceso aplicado, y donde se demuestre que se finalizaron todos los procesos en cumplimiento con las especificaciones definidas en el contrato del proyecto.

4.2.15. Ensayos no destructivos (END)

Descripción general

Según la estructura general de la metodología de inspección planteada, el proceso de Ensayos No Destructivos pertenece a la fase de "Control". Esto es debido a que este proceso debe estar presente en la mayoría de los demás procesos. Se interrelaciona con la ejecución de las especificaciones del proyecto, con el personal, el plan de calidad, los materiales, con la soldadura y con el estudio y aprobación final de los recubrimientos.

Los END son una excelente alternativa para la aprobación de procesos de soldadura, tanto en taller como en campo. Estos ensayos deben ser ejecutados por profesionales certificados y experimentados. Los END proveen información muy valiosa y permiten certificar que los trabajos han sido correctamente ejecutados, por lo que su costo adicional en el proyecto se justifica.

En esta sección se pretende guiar al profesional en la elección del END más adecuado, en función de la información que necesita hallar. Todos los ensayos tienen limitaciones y ventajas, por lo que se debe tener muy claro el objetivo de verificación e inspección, para realizar una elección certera y obtener información útil para el proyecto y para asegurar la calidad e integridad de la estructura fabricada.

Responsable de la ejecución del proceso

El responsable de ejecutar los END debe ser personal certificado en el ensayo que vaya a ejecutar. Por ejemplo, para poder interpretar los resultados obtenidos de los ensayos como

ultrasonido o radiografía se requiere que el inspector tenga la capacitación y experiencia necesaria.

La empresa fabricante puede tener personal capacitado en estas actividades, para tener un control interno y controlar la calidad de los demás procesos, sin embargo, es altamente recomendable que un ente externo al fabricante realice los ensayos y certifique mediante documentación la aprobación de la calidad (QA).

Responsable de la inspección del proceso

El ingeniero a cargo del proyecto debe asegurarse que se ejecuten estos ensayos, tal y como se establece en las especificaciones del proyecto, y conforme con los estándares y la normativa vigente.

Normativa o reglamentos aplicables

La normativa aplicable a los END y referencias recomendadas son las siguientes:

- SNT-TC-1^a Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing (2016) – The American Society for Nondestructive Testing, Inc. (ASNT)
- D1.1 Structural Welding Code – Steel – American Welding Society (AWS)
- B1.10 Guide for Nondestructive Examination of Welds – American Welding Society (AWS)
- B1.11 Guide for the Visual Examination of Welds – American Welding Society (AWS)
- INTE/ISO 9712:2014 Requisitos para la calificación y certificación de personal en ensayos no destructivos (INTECO)

Insumos necesarios para la inspección

Algunos insumos necesarios para la inspección mediante END son:

- Especificaciones del proyecto
- Certificación de inspectores en el ensayo END que se va a utilizar
- Procedimiento normado del ensayo END que se va a ejecutar
- Equipo y consumibles del END a aplicar

Puntos críticos por inspeccionar

A continuación, se describen parámetros generales de los END y se incluyen algunas recomendaciones acerca de cada uno de los ensayos más aplicados en la inspección de estructuras de acero.

Calificación del personal de END

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de los END debe ser llevada a cabo por técnicos y profesionales certificados con amplia experiencia en la ejecución e interpretación de los resultados obtenidos. En Costa Rica no existe una institución que certifique a los inspectores. Internacionalmente existen diferentes organizaciones que realizan las capacitaciones y las pruebas de certificación. En los Estados Unidos la American Society of Nondestructive Testing (ASNT) es la institución encargada de la certificación de los técnicos y los profesionales capacitados para aplicar los ensayos.

Cuando se requiere contratar un profesional para ejecutar los END, se debe verificar:

- Que el profesional cuenta con una certificación válida y vigente para la aplicación del ensayo que se necesita en la estructura.
- Se debe conocer el nivel de certificación que posee el profesional (1, 2 o 3, según el nivel de experiencia del inspector)
- Se debe revisar la especificación del contrato para asegurar que los resultados e informes generados son válidos con el nivel de certificación del profesional que ejecutó los END.

En ocasiones, hay personal que está calificado para ejecutar los END, sin embargo, no cuenta con una certificación oficial. Los resultados obtenidos por este profesional pueden ser utilizados como una referencia y como control de calidad, no obstante, en términos de garantía no es seguro que sean aceptados como documentación oficial.

Inspección visual de soldadura

La inspección visual de la soldadura es el primer método a aplicar para analizar una junta soldada. Es el END más barato y sencillo de aplicar de todos, no obstante, se requiere estar capacitado y tener experiencia en la detección de errores mediante esta metodología. También es importante tener en consideración que la inspección visual permite detectar algunos defectos superficiales, pero no es adecuada para detectar deficiencias internas.

Cuando se realiza una inspección visual de la calidad de la soldadura se buscan indicaciones que puedan señalar la existencia de un problema o daño mayor en la costura. También proporciona información acerca de cuál otro END sería conveniente aplicar. En el Cuadro 5,

de la sección del Marco Teórico, se observan diagramas generales de las posibles discontinuidades que se observan en una soldadura.

Algunas de las discontinuidades que se deben buscar al realizar una inspección visual de soldadura son las siguientes (American Welding Society, 2015):

- Porosidades: Las porosidades pueden hallarse tanto en la costura de soldadura como en el material base.
- Inclusiones de escoria.
- Fusión incompleta.
- Falta de penetración.
- Socavación del material: debido a exceso de amperaje o baja velocidad de aplicación.
- Superposición de soldadura.
- Laminación en el material base.
- Agrietamientos. Los agrietamientos se pueden hallar de forma longitudinal, transversal, en la base de las soldaduras o incluso en el metal base.
- Concavidad y convexidad excesivas del cordón de soldadura.

Además de realizar la búsqueda de las discontinuidades mencionadas, en la inspección se deben verificar también las siguientes características:

- El tamaño de las soldaduras, así como su ubicación según como se especificó en planos de taller.
- Si se halla más de 1 poro de 2,5 mm o más cada 100 mm de costura, debe tener una reparación completa ya que no cumple con el estándar establecido. (American Welding Society, 2010)
- Si se logra observar socavaciones en el material base de más de 1 mm de profundidad, debe realizarse la reparación completa de la costura. (American Welding Society, 2010)
- Se debe procurar tener costuras con forma regular, sin abultamientos excesivos o zonas vacías de soldadura. Debe ser un elemento lo más continuo, regular y simétrico posible.
- Es fundamental revisar la limpieza final en la cual se eliminen las inclusiones de escoria en la soldadura y las salpicaduras.

- En el Cuadro 3, del Marco Teórico, se muestran como ejemplo las secciones transversales de las soldaduras aceptables según D1.1 Structural Welding Code AWS.

Inspección visual de recubrimientos

La inspección visual del resultado final de los recubrimientos es el proceso más sencillo y mediante el cual se logran identificar la gran mayoría de problemas que pudieran afectar la calidad del recubrimiento.

Algunas de los detalles que deben inspeccionarse cuando se realiza este procedimiento son los siguientes:

- Verificar si se observan ampollas o grietas en el recubrimiento. Si se detecta que existe alguno de estos problemas, puede deberse a la mala preparación de la superficie o contaminantes en el aire a la hora de la aplicación. También se pueden generar estos inconvenientes por una preparación deficiente de las pinturas. . Para repararlo, debe removerse el recubrimiento y aplicar el proceso completo nuevamente.
- Debe respetarse el tiempo de secado y curado según se indique en la ficha técnica. Se debe controlar las condiciones ambientales para propiciar un buen curado del recubrimiento. En ocasiones, la pintura puede estar seca al tacto, sin embargo, si se presiona con fuerza o algún elemento duro, se logra sentir una textura suave o incluso pegajosa, lo cual indica que la pintura no ha secado y no está lista aún para que se realice el montaje.
- Cuando se aplican varias capas de recubrimiento para alcanzar espesores mayores, o bien, cuando el sistema de protección se compone de una base y acabado, es fundamental que se sequen las capas inferiores antes de aplicar las capas siguientes. Si no se espera a que sequen las capas quedarán solventes atrapados entre capas y este será un posible punto de falla del sistema de protección.
- El acabado del recubrimiento aplicado debe ser homogéneo en toda su área de aplicación. En ocasiones se logra observar que hay zonas brillantes y otras opacas durante la misma aplicación. Esto se debe a errores durante el proceso de mezclado de los componentes, a problemas con el sistema de aplicación con pistola o incluso a contaminación de la superficie de aplicación.

- Se deben buscar zonas donde exista exceso de espesores, ya que pueden generar que la pintura se chorree y se deben corregir. Si la superficie de aplicación estaba contaminada con grasa se generará porosidad en el recubrimiento.
- Si no se aplica el proceso de "Stripe Coating", se debe verificar con mayor cuidado las zonas como soldaduras, bordes de los elementos, perforaciones y lugares de difícil acceso para la pintura, ya que serán los lugares donde es más probable que inicie el proceso de corrosión.

Líquidos penetrantes (PT) y partículas magnéticas (MT) para inspección de soldaduras y materiales

El ingeniero o persona encargada del proyecto, así como los gestores de calidad de la empresa fabricante, deben tener conocimientos básicos sobre la aplicación de los END. Esto con el fin de saber interpretar los resultados obtenidos por los inspectores certificados en END. Además, es importante conocer las limitaciones y alcances de los ensayos para escoger el más adecuado, dependiendo de qué tipo de discontinuidad o error se quiere comprobar.

En el caso de PT y MT, son ampliamente utilizados para hallar discontinuidades a nivel superficial. Su principal limitación es que ambos métodos son aplicables para discontinuidades superficiales o subsuperficiales, pero no proveen información de defectos a mayores profundidades.

En caso de que se apliquen estos ensayos en una estructura, el encargado debe inspeccionar lo siguiente:

- Que se esté en búsqueda de discontinuidades superficiales, como porosidad, agrietamientos, socavaciones, entre otros.
- Que la superficie a inspeccionar esté completamente limpia y libre de cualquier sustancia que genere errores en las mediciones.
- Se debe tener una adecuada iluminación en el área de trabajo con el fin de observar claramente los resultados. Se debe documentar mediante fotografías los resultados de los ensayos.
- Los ensayos se pueden aplicar tanto para analizar las soldaduras como para inspeccionar el material base.

- El encargado de ejecutar los ensayos debe generar un informe detallado con los resultados obtenidos, incluyendo una referencia directa a los errores y un registro fotográfico.

Ultrasonido (UT) para revisión de soldaduras y material base

El proceso de inspección mediante ultrasonido es uno de los más utilizados en la industria nacional, debido a que brinda información de gran valor acerca de los materiales y las soldaduras aplicadas, y no se necesita un equipo de tan alto costo como lo es el estudio radiográfico. Por otra parte, para interpretar y ejecutar los ensayos de ultrasonido se necesita de un inspector calificado y con amplia experiencia, ya que las indicaciones no se logran observar de forma directa como con los ensayos anteriores.

La principal ventaja de este proceso de inspección es que se puede aplicar para localizar discontinuidades internas en el material, como poros, grietas, inclusiones de escoria o cualquier otro defecto interno de las soldaduras. Además, es ampliamente utilizado para revisar el nivel de penetración que se tuvo en las soldaduras. En el caso de CJP, este ensayo es básico para aprobar y asegurar la penetración total de la junta.

El inspector debe generar un informe completo que incluya la información requerida acerca de los resultados obtenidos y que permita guiar a los encargados en el proceso de reparación en caso de encontrar imperfecciones que no cumplen con el estándar de calidad especificado.

Radiografía (RT) para revisión de soldaduras y material base

El ensayo de radiografía es menos utilizado, ya que se necesita equipo de alto costo para aplicarlo y requiere medidas de seguridad más rigurosas por la radiación que genera al aplicarse. Sin embargo, los resultados obtenidos mediante un ensayo de radiografía son claros y más fáciles de interpretar que un ensayo de ultrasonido. Es ampliamente utilizado para buscar discontinuidades en el interior de las soldaduras y el material base cuando se considere necesario.

Se recomienda realizar este ensayo únicamente si así es requerido por las especificaciones del proyecto o del tipo de trabajo que se está realizando. En caso contrario, se recomienda aplicar el proceso de ultrasonido.

Resultados finales del proceso de END

Los END son una herramienta de control de la calidad del proyecto. Es fundamental aplicarlos y documentar los resultados obtenidos, ya que son la principal garantía en caso de una eventualidad con una estructura.

El principal entregable de esta etapa son todos los informes generados por los profesionales responsables, que brindan un respaldo al trabajo bien ejecutado y a la corrección de todos los errores detectados durante el proceso de fabricación y montaje de las estructuras.

4.2.16. Lista de verificación y entrega

Descripción general

El cierre y entrega formal de un proyecto es una etapa muy importante que siempre debe ejecutarse, ya que se da por finalizadas las actividades y el cliente acepta las condiciones en las que se está entregando el trabajo.

La garantía por el trabajo en términos de calidad sí sigue siendo una responsabilidad del fabricante de estructuras de acero, pero a partir del momento oficial de la entrega, los daños que puedan ocurrir en la estructura provocados por una utilización inadecuada o por otros trabajadores que aún estén en el área, son responsabilidad del cliente

Responsable de la ejecución del proceso

La persona responsable de realizar la entrega del proyecto es el ingeniero a cargo del mismo, ya que es quien estuvo a cargo de la dirección de todas las actividades y fue el contacto directo entre el cliente y la empresa encargada de la fabricación.

Responsable de la inspección del proceso

La inspección final la realiza el cliente final, en conjunto con el encargado de la obra. De esta manera, se van analizando todos los puntos del alcance de la obra definidos en el contrato y se hacen las anotaciones que sean necesarias durante la inspección final.

Normativa y reglamentos aplicables

Para este punto del proyecto, ya deben haber sido aplicadas todas las normativas técnicas necesarias para asegurar una construcción conforme con los estándares de calidad. La guía en el proceso final es lo estipulado en el contrato o bien, en órdenes de cambio previamente aprobadas. En estos documentos se define el alcance total de la obra y con base a esto se realiza la inspección final del proyecto.

Insumos necesarios para la inspección

Los insumos necesarios para la inspección final son:

- Especificaciones del proyecto.
- Contrato inicial.
- Órdenes de cambio aprobadas.
- Lista de chequeo de todas las actividades a entregar.

Puntos críticos por inspeccionar

Durante la etapa de entrega de actividades parciales o bien, del proyecto completo, la persona encargada del proyecto debe tomar en cuenta los puntos que se detallan a continuación.

Cumplimiento de alcance total de la obra

El inspector o ingeniero a cargo del proyecto debe asegurarse que se hayan cumplido todas las actividades especificadas en el contrato y que todas cumplan con los planos y expectativas del cliente.

Es común que durante la ejecución del proyecto se hagan cambios o actividades adicionales, los cuales se deben tramitar mediante órdenes de cambio. Se debe asegurar que estas órdenes de cambio estén completas y documentadas para hacer la entrega formalmente al cliente final.

La principal tarea del encargado del proyecto en esta etapa es asegurar que el cliente esté satisfecho con la estructura y el trabajo realizado, y que, de ser así, lo acepte formalmente por escrito. De esta manera se da el cierre total del proyecto.

Cumplimiento en cronograma y tiempo de la obra

El proyecto debe entregarse adecuadamente tanto en forma y calidad, como en tiempo de ejecución. La conclusión del proyecto apegado al cronograma es siempre un reto en la construcción, sin embargo, es igual de importante que entregarlo bien construido y en cumplimiento con la normativa.

En caso de que el proyecto se haya extendido y no se cumpliera el cronograma original del proyecto se pueden aplicar multas a la empresa contratista. En ocasiones, los atrasos se pueden deber a problemas de reprocesos por fallos en la calidad de la ejecución, o incluso por fallas en el proceso de planificación del proyecto desde un inicio. La persona encargada

del proyecto debe documentar estos errores para solventar los problemas a tiempo en proyectos futuros y no incurrir en atrasos o graves multas económicas por entregas tardías.

Cierre formal del proyecto

Una vez cerrado el proyecto, el encargado debe asegurar siempre:

- Que el cliente haya brindado su aprobación oficial y formal mediante un documento firmado donde acepte las condiciones en las que se entrega el proyecto.
- Que se recopilen todas las lecciones aprendidas de proceso de fabricación, montaje y cierre. Todos los proyectos son diferentes y son nuevos retos para las empresas fabricantes. Si se documentan estos retos y se estudian dentro del equipo de trabajo de la empresa fabricante, se podrán solventar de mejor manera en un proyecto futuro. La mejora continua dentro del equipo de trabajo, tanto el administrativo como el operativo, es una necesidad en una empresa que desee mantener una línea de crecimiento en el mercado de la metalmecánica y la construcción.

Resultados finales del proceso de entrega del proyecto

Se debe realizar el informe final de la obra, en donde se recopilen todos los informes de calidad generados durante las inspecciones, los resultados de los diferentes END y los documentos oficiales del proyecto, incluyendo el documento de cierre firmado por el cliente.

Esta información debe conservarse bien, ya que es la garantía que tiene la empresa fabricante sobre las estructuras instaladas, por las cuales deberá responsabilizarse durante varios años después de la entrega y esta documentación será de utilidad en caso que exista un problema en la calidad del proyecto.

5. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones generales del proyecto

Este proyecto de graduación tenía como principal objetivo elaborar una guía de inspección de estructuras de acero para los ingenieros a cargo de proyectos en los cuales se incluyera este tipo de estructuras. Se elaboró una guía de inspección de estructuras de acero haciendo énfasis en las 5 etapas básicas de un proyecto de construcción: inicio, planificación, ejecución, control de las actividades y cierre de proyecto. Para cada etapa del proyecto se analizaron los distintos procesos que deben inspeccionarse con el fin de asegurar el éxito del proyecto en términos de tiempo, forma y especialmente, calidad de la estructura de acero. Para cada uno de los procesos se desarrolló un formulario tipo lista de verificación en donde se incluyen los principales aspectos que se deben evaluar en ese proceso para asegurar la calidad de los elementos de acero. De esta manera, se tiene una metodología de inspección estructurada, lo cual facilita su implementación y guía adecuadamente al profesional a cargo del proyecto acerca de los puntos críticos a verificar.

Para la elaboración de la guía de inspección se analizó la normativa aplicable en Costa Rica para la realización de proyectos de construcción, especialmente en proyectos con elementos de acero. También se consultó normativa internacional, especialmente la de AWS y AISC, las cuales resultan fundamentales para el desarrollo de la metodología. Asimismo, se consideraron las normas INTECO a nivel nacional relacionadas con las estructuras de acero, ya que las normas publicadas a la fecha son la traducción de la normativa AWS (por ejemplo, la norma INTE W122:2021 "Soldadura en puentes vehiculares", corresponde a la traducción de la especificación AWS D1.5 "Bridge Welding Code" y la norma INTE W121:2020 "Soldadura, símbolos", corresponde a la especificación AWS A2.4 "Standard Symbols for Welding, Brazing and Nondestructive Examination"). A pesar de que las normas elaboradas por INTECO no son de aplicación obligatoria en el país, favorecen las buenas prácticas en ingeniería, ya que facilitan la accesibilidad a la normativa internacional porque elimina la brecha idiomática de tener todas las normas en inglés.

Para la elaboración de la guía de inspección también se consideró la información recopilada de una encuesta y de varias entrevistas. La encuesta se realizó con el fin de conocer la opinión y el nivel de capacitación en la inspección de estructuras de acero de los profesionales en ingeniería civil. Para ello se aplicó una encuesta electrónica enviada a través

de las asociaciones profesionales tales como el Colegio de Ingenieros Civiles (CIC) y la Asociación Costarricense de Ingeniería Estructural y Sísmica (ACIES). La información recopilada a partir de la encuesta evidenció la necesidad de mejorar la capacitación de los ingenieros civiles para que puedan realizar una inspección adecuada de la construcción de estructuras de acero. Además, se reafirmó la importancia del desarrollo de una guía que facilite la inspección y se comprobó el interés de varios profesionales de capacitarse en el tema.

También se realizaron entrevistas virtuales a expertos en el área de la metalmecánica y el diseño de estructuras de acero. Estas entrevistas resultaron especialmente importantes para la justificación e identificación de los procesos más críticos a inspeccionar que se incluyeron en la guía. Los profesionales a cargo del diseño e inspección indicaron cuáles son los puntos más débiles en la fabricación y montaje de estructuras de acero y que, por ende, deben prestársele más atención a la hora de dirigir un proyecto de este tipo. La experiencia, consejos y buenas prácticas de estos profesionales expertos se ven reflejadas en la guía de inspección propuesta.

La Guía de Inspección recopila buenas prácticas en la construcción de estructuras de acero que cumplen con la normativa aplicable. La Guía de Inspección no pretende de ninguna manera sustituir o transcribir las normas que aplican a cada proceso, sino brindar al profesional lineamientos que le permitan dirigir la construcción de estructuras de acero y capacitarse adecuadamente para realizar un proceso de inspección metódico y con fundamento técnico. Es por esto por lo que también se incluyen referencias recomendadas en donde el profesional puede encontrar información más detallada.

El propósito de la elaboración de la Guía de Inspección propuesta es la implementación en proyectos reales. Por esta razón, se elaboró la herramienta de inspección en el software Microsoft Excel, con el objetivo de facilitar la implementación y el uso por parte de los profesionales, ya que es un programa de uso generalizado. La herramienta es intuitiva y fácil de utilizar y brinda una guía al profesional de los puntos críticos a inspeccionar, pero a su vez, siendo lo suficientemente flexible y general puede ser utilizada en diferentes proyectos de estructuras de acero.

Además del fácil uso por ser en un programa común para los ingenieros se tiene la ventaja que se puede fácilmente documentar las inspecciones. En la mayoría de los 16 procesos de

inspección considerados existe la necesidad de documentar la inspección. Es usual observar que en los proyectos no se realiza una documentación organizada de los procesos de inspección, aun cuando la documentación es necesaria para garantizar y demostrar un trabajo bien ejecutado. Es por esto que se destaca la importancia de documentar la inspección, ya que proporciona una mayor credibilidad en la ejecución e inspección por parte de la empresa fabricante y los inspectores. También se favorece una cultura de mejora continua, ya que se documentan y analizan los errores cometidos y, además, se considera que los informes de calidad son el principal entregable final de cada uno de los procesos de inspección o análisis de etapas.

Por otra parte, otro factor que se considera fundamental en todas las etapas del proyecto es la salud ocupacional. Toda empresa que se considere competitiva en el sector de la construcción del acero debe ofrecer productos de calidad, el cumplimiento de los cronogramas y presupuestos, buena atención al cliente y una excelente seguridad ocupacional, tanto para los empleados que ejecutan labores en taller como en el montaje en campo. La salud ocupacional abarca gran cantidad de áreas de interés, desde la salud mental y física, así como efectos a largo plazo para los colaboradores y por esta razón, se deben asegurar condiciones adecuadas para todos los interesados del proyecto y este aspecto no se debería considerar de ninguna manera negociable u opcional.

También es importante destacar que en el caso del control y aseguramiento de calidad mediante el uso de END, la guía pretende guiar al profesional en la elección del uso de los ensayos, dependiendo directamente de la característica que se desea conocer. Sin embargo, no se explica a profundidad ninguno de los métodos de ensayo, ya que para su aplicación se requieren técnicos especializados y generalmente se deberá contratar a un técnico capacitado y preferiblemente certificado. Para los profesionales a cargo de un proyecto que deseen profundizar en el tema se incluyen las referencias a la normativa y bibliografía referenciada en la Metodología.

5.2. Conclusiones específicas del análisis de resultados de encuesta

Se consideró importante destacar algunos de los aspectos analizados a partir de la información de la encuesta porque ésta permitió evidenciar la necesidad de la elaboración de la guía de inspección y de la necesidad de generar más capacitación en aspectos

relevantes para la construcción de estructuras de acero. Como parte de las conclusiones que se logran obtener de los resultados de la encuesta se destacan los siguientes:

- Las profesionales en ingeniería civil que realizan más frecuentemente la inspección de estructuras de acero son los que trabajan en las áreas de análisis y diseño estructural y construcción. Este es un resultado esperable, ya que son las dos áreas que se encargan del diseño, fabricación y montaje de las estructuras de acero.
- El nivel de control y aseguramiento de la calidad está sujeto a lo que el cartel de licitación indica y en el país existen proyectos con altos estándares de calidad y otros donde no se controla adecuadamente. Se debería exigir un estándar de calidad para todos los proyectos incluso si el cartel de licitación no lo exige.
- La técnica de inspección más utilizada por los ingenieros encuestados es la "experiencia personal". A pesar de ser la experiencia necesaria para realizar adecuadamente una inspección, el hecho de basar la inspección únicamente en la experiencia personal fomenta la subjetividad. La normativa es clara en indicar que la documentación, las herramientas de medición y los END son las mejores herramientas para una adecuada inspección de estructuras de acero y un aseguramiento bien documentado de la calidad de las estructuras.
- El 90% de los encuestados, consideran que las normativas vigentes en el país no brindan la información suficiente para guiarse y ejecutar una adecuada inspección de estructuras de acero.
- Los encuestados consideran que el insumo más importante para realizar una adecuada inspección son planos de taller claros y detallados. Por el contrario, el insumo menos importante considera que es la información sobre los fabricantes. Esto contrasta con la normativa, ya que la documentación, pruebas de la experiencia y seguimiento de los correctos procesos de producción son un insumo básico que debe exigirse una vez que se inicie un proyecto con un fabricante de estructuras de acero.
- Con respecto a si se hace uso de END para inspeccionar estructuras de acero en Costa Rica, muchos profesionales indican que sí los han utilizado, pero no tienen claro cuándo utilizar uno u otro ensayo, ni tampoco conocen con certeza las limitaciones y ventajas de cada uno de los ensayos. Estas respuestas señalan la importancia de facilitar la capacitación de los profesionales en este tema.

- Un 56% de los encuestados no ha recibido capacitación formal en inspección de estructuras de acero y un 80% no conoce la oferta de capacitación en el país. Es urgente mejorar en este aspecto, ya que los profesionales no se están capacitando adecuadamente y además, no se están dando a conocer de forma eficiente las opciones de capacitación y existe además una oferta muy limitada.
- El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), el Colegio de Ingenieros Civiles (CIC) y la Asociación Costarricense de Ingeniería Estructural y Sísmica (ACIES) son las instituciones más destacadas por los encuestados en temas de capacitación formal actualmente en el país. Es por esta razón, que estas instituciones deben aprovechar su posicionamiento actual y brindar cursos de especialización más frecuentemente y que abarquen diversos temas, ya que poseen credibilidad en el gremio.
- El Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), es una institución subutilizada por el gremio de ingenieros civiles. Existen cursos especializados en el área de inspección de estructuras de acero, pero la inversión de horas y las temáticas brindadas en sus cursos ofrecen una capacitación técnica muy detallada que no necesariamente es lo que los profesionales en ingeniería civil están necesitando para su desempeño profesional. Por esta razón, se recomienda enlazar instituciones educativas (universidades e INA), con el fin de elaborar cursos diseñados para las necesidades de los profesionales.
- Existe en el país una clara diferenciación entre proyectos "grandes" y proyectos "pequeños", y consecuentemente, se brinda un mejor control de calidad en los grandes en comparación con el control que se ofrece en los pequeños. Esto es importante de destacar, ya que como punto de mejora los encuestados mencionaron la necesidad de incluir el costo de la inspección desde el inicio del proyecto, independientemente del tamaño del proyecto.
- Los encargados de obra generalmente sí exigen experiencia comprobable o algún tipo de certificación en el área de soldadura a los encargados de la fabricación, no obstante, este proceso de selección no está estandarizado en el país. Resulta una selección subjetiva según lo que el encargado considere, por lo que se deberían aplicar estándares de conocimiento y experiencia mínimos con el fin de asegurar la calidad de los proyectos.

- Como principales oportunidades de mejora identificadas por los encuestados se denotan las siguientes: Capacitación en el área de inspección de estructuras de acero dirigida a ingenieros, inclusión del costo de inspección de obra metálica especializada dentro del presupuesto inicial y la elaboración de una guía de inspección de estructuras metálicas como herramienta para ejecutar un trabajo estandarizado y concreto.

Finalmente, se considera que los resultados mostrados en la encuesta justifican la importancia de la elaboración de la "Guía de Inspección de estructuras de acero para Costa Rica", ya que existe una clara deficiencia en los temas de inspección de obras de acero y significaría una mejoría importante en el tema.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la validación de la Metodología de Inspección, así como de la Herramienta de inspección en proyectos reales. Esta validación va a permitir verificar la utilidad práctica de la herramienta para la inspección de estructuras. También permitiría identificar las necesidades de mejora y se iniciaría un proceso de mejora continua del proyecto a fin de tener una metodología probada y eficaz.
- El uso de la Herramienta de Inspección mediante el software Excel es viable, sin embargo, a largo plazo idealmente se debe implementar mediante el uso de una aplicación para teléfono móvil o tableta en la cual se pueda generar la documentación del proceso de forma paralela con la inspección. El aprovechamiento de la tecnología para mejorar las condiciones y facilidades en las labores de las personas encargadas de los proyectos de construcción contribuye a mejora en la eficiencia de los mismos.
- Se recomienda realizar una integración de la Herramienta de Inspección con otras herramientas ya existentes, como la bitácora digital del CFIA y aplicaciones que respaldan la información en la nube. Esto con el objetivo de tener siempre un respaldo de la información y los informes generados durante las inspecciones.
- El desarrollo de protocolos internos de control de calidad para cada empresa puede ser una opción viable de implementación y mejoramiento de los procesos de fabricación, control y montaje. Es recomendable que estos protocolos internos estén basados tanto en la normativa nacional como en la internacional, ya que, de esta forma, se minimiza la subjetividad en los análisis y se estandarizan los procesos de calidad, independientemente de la empresa que los esté aplicando. Además, se aprovecha el conocimiento y experiencia desarrollado en otros países en donde la construcción de estructuras de acero es ampliamente utilizada.
- Se deben combinar esfuerzos entre instituciones académicas y técnicas como el LanammeUCR, el INA y el CFIA, de forma que puedan facilitar la capacitación formal en el tema, con énfasis en la inspección de las estructuras de acero y con cursos formulados para ingenieros.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCURL Máquinas-herramienta CNC (Anhui) Co., LTD. (20 de Enero de 2022). *Accurl*.
Obtenido de <https://es.accurlmachine.com/hydraulic-shearing-machine.html>
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2019). *Steel Bridge Fabrication QC/QA Guidelines*. Washington, D.C: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2019). *Steel Bridge Erection Guide Specification*. Washington DC: AASHTO.
- American Institute of Steel Construction (AISC). (2011). *Steel Construction Manual*. United States of America: AISC.
- American Institute of Steel Construction. (2016). *ANSI/AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings*. United States of America: AISC.
- American Screw Chile SPA. (2020). *American Screw*. Obtenido de Fijaciones American Screw: www.americanscrew.cl/
- American Society of Civil Engineers. (2000). *Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings*. Reston Virginia: SEI.
- American Welding Society. (2009). *AWS D1.1 Structural Welding Code - Steel*. Miami: AWS.
- American Welding Society. (2010). *AWS-D1.1-2010 Structural Welding Code*. Miami, FL.
- American Welding Society. (2012). *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*. Miami, FL: AWS.
- American Welding Society. (2015). *AWS B1.11M/B1.11:2015 Guide for Visual Examination of Welds*. Miami,FL: AWS.
- American Welding Society. (2016). *B1.10M/B1.10:2016 Guide for the Nondestructive Examination fo Welds*. Miami, FL: AWS.
- Arévalo, F. T. (2011). *Manual técnico de Estructuras Metálicas*. Cartagena, Colombia: TECNAR.
- Argüelles, A., & Escudero, I. (2010). *Corte térmico - Oxicorte*. Asturias: Instituto de Educación Secundaria Juan Antonio Suanzes.

- Asociación Latinoamericana del Acero. (2021). *América Latina en Cifras 2021*. São Paulo: ALACERO.
- ASTM International. (2020). *ASTM A193 / A193M-20, Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting for High Temperature or High Pressure Service and Other Special Purpose Applications*. West Conshohocken: www.astm.org.
- ASTM International. (2020). *ASTM F1554-20, Standard Specification for Anchor Bolts, Steel, 36,55, and 105-ksi Yield Strength*. West Conshohocken: ASTM.
- Barboza, D. S., & Castillo Barahona, R. (2016). *Barras de acero corrugadas y lisas para refuerzo de elementos de concreto Estructural en Costa Rica*. Obtenido de www.lanamme.ucr.ac.cr:
https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/896/Ficha_tecnica_Barras_de_Acero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- BDS Maschinen GmbH. (03 de Agosto de 2020). *BDS Maschinen*. Obtenido de <https://www.bds-machines.com/blog/what-is-a-magnetic-drill-press/>
- Bomberos de Costa Rica - Unidad de Ingeniería. (2020). *Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios*. San José.
- Bosch Power Tools GmbH. (20 de Enero de 2022). *Bosch - Innovación para tu vida*. Obtenido de <https://www.bosch-professional.com/>
- Calupiña Jácome, C. F., & Oña Rivas, D. M. (2012). *Mejoramiento de los parámetros de trabajo para una máquina de corte por plasma y oxiacetilénica tipo CNC - 4000 Marca Hugong Welder*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Castañeda, V. Y. (2011). *Formulación de Especificaciones Técnicas para Proyectos de Edificación en la Ciudad de Piura*. Perú: Universidad de Piura.
- Cavallini, H. A. (2006). *Consideraciones sobre la normativa de pesos y dimensiones para vehículos y transporte de carga en Costa Rica*. San José: Revista MOPT.
- Clement, G. V. (2013). *Manual de inspección de estructuras metálicas durante la fabricación y el montaje*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2010 - Rev 2014). *Código Sísmico de Costa Rica*. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2016). *Guía de normativa y consideraciones aplicables a la Construcción*. San José: CFIA.
- Consejo de Salud Ocupacional. (2017). *Reglamento General de Seguridad en Construcciones*. San José: CSO.
- Devera Rueda, F. A., & Ortiz Palencia, D. C. (2019). *Guía para el control de calidad en la construcción de estructuras metálicas*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- Dias, L. A. (2020). *Estructuras de Acero - Conceptos, técnicas y lenguaje*. Santiago: Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero (ILAFSA).
- Díaz del Castillo Rodríguez, F. (2018). *Uniones soldadas y su simbología según AWS*. Cuautitlán Izcalli: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Editorial Nova S.A de C.V. (20 de Enero de 2022). *Boletín Industrial . com*. Obtenido de <https://www.boletinindustrial.com/>
- ESAB. (20 de Enero de 2020). *West Arco*. Obtenido de https://www.westarco.com/westarco/sp/education/training/cursos/curso_proceso_smaw.cfm
- Federal Highway Administration. (2012). *Bridge Inspector's Reference Manual (FHWA Report FHWA NHI12-049)*. Arlington: National Highway Institute.
- Ferrocortes S.A.S - Soluciones con el acero. (20 de Enero de 2022). *Ferrocortes - Soluciones con el acero*. Obtenido de <https://www.ferrocortes.com.co/roladoras-de-lamina-cnc/>
- Hellier, C. (2003). *Handbook of nondestructive evaluation*. McGraw-Hill.
- Herrera, A. M. (15 de Mayo de 2016). *Soldadura y Estructuras*. Obtenido de http://soldadurayestructuras.com/2184409_Procesos-de-soldadura-y-corte.html
- INGEPINT. (20 de Mayo de 2019). *Ingepint Ingeniería en pinturas*. Obtenido de <https://www.ingepint.cl/>

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO). (2020). *PN INTE W121:2020 Soldadura - Símbolos*. San José: INTECO.
- Instituto Nacional de Aprendizaje. (26 de julio de 2021). *Instituto Nacional de Aprendizaje*. Obtenido de <https://www.ina.ac.cr/BusquedaCursos/SitePages/catalogosector.aspx?sector=10>
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). (2018). *Reglamento de Construcciones*. San José: INVU.
- Instituto Técnico de la Estructura en Acero ITEA. (s.f.). *Construcción en acero: Factores económicos y comerciales*. Ordizia, España: ITEA.
- International Organization for Standardization. (2008). *Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous*. NY: ISO.
- International Road Transport Union (IRU). (2014). *Código de buenas prácticas para la estiba segura de la carga en el transporte por carretera*. Ginebra: IRU.
- Jara, D. G. (2012). *Plan de Gestión de calidad en el Proyecto Aporte la Flor del Proyecto Hidroeléctrico Toro 3 utilizando la guía PMI*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Leigh Morrison, M., Quinn Schweizer, D., & Hassan, T. (2016). *Seismic Enhancement of Welded Unreinforced Flange-Bolted Web Steel Moment Connections*. North Carolina: ASCE.
- Leiva, J. P. (2018). *Verificación del Programa de Puntos de Inspección (PPI) ejecutado para la estructura metálica del nuevo puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional N°147*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Lledó, P. (2017). *Director de proyectos: Cómo aprobar el examen PMP sin morir en el intento*. USA: Map Learning Center.
- MetríaTools. (21 de Enero de 2022). *MetríaTools*. Obtenido de <https://metriatools.com/>

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2007). *Manual de Inspección de Puentes*. San José: MOPT.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT). (2003). *Reglamento sobre vehículos de carga*. San José: MOPT.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS). (1943). *Código de Trabajo de Costa Rica*. San José.
- Montipower - Surface preparation technologies. (2020). *The coating inspectors handbook*. Houston, TX: Mtest.
- MontiPower. (2020). *The Coating Inspectors Handbook*. Humble, Texas: Montipower Test Equipments & Specialty Tool.
- NACE Internacional. (2011). *Coating Inspector Program - Level 1- Student Manual*. Michigan: NACE.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2015). *ISO 9001 Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*. Ginebra: ISO.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2018). *Inspecciones de trabajo en el sector de la construcción*. Ginebra: PRODOC.
- Project Management Institute, Inc. (2017). *PMBOK Guide*. Pennsylvania, USA: PMI.
- Publishers Representatives Limited. (26 de Enero de 2022). *Global Sources*. Obtenido de <https://www.globalsources.com/>
- Question Pro Software de Encuestas. (26 de Enero de 2022). *Question Pro*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-no-probabilistico/>
- Research Council on Structural Connections. (2014). *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*. Chicago: Bolt Council.
- Revista Constructivo. (20 de Enero de 2019). *Constructivo*. Obtenido de <https://constructivo.com/novedad/la-seguridad-durante-los-trabajos-de-soldadura-1523544763>

Revista TYT. (27 de Diciembre de 2016). *Tuercas y Tornillos (TYT) - La Revista Ferretera*.
Obtenido de <https://tytenlinea.com/significado-caracteristicas-del-electrodo-revestido-e6013/>

Roel, R. R. (2015). *Guía de seguridad en procesos de Almacenamiento y Manejo de Cargas*.
España: FREMAP.

Soto, J. L. (2012). *Mejoramiento del sistema de gestión de calidad, mediante el desarrollo de metodologías de trabajo para el aseguramiento de la calidad en los procesos de soldadura y pintura en Saret Metalmecánica*. San José: Universidad de Costa Rica.

Tecnologías en Soldadura. (20 de Enero de 2022). *Tecnologías en Soldadura MX*. Obtenido de <https://tecnologiasensoldadura.com.mx/>

West Arco - Número uno en soldadura. (2015). *Manual de Soldadura*. Bogotá: Westarco.

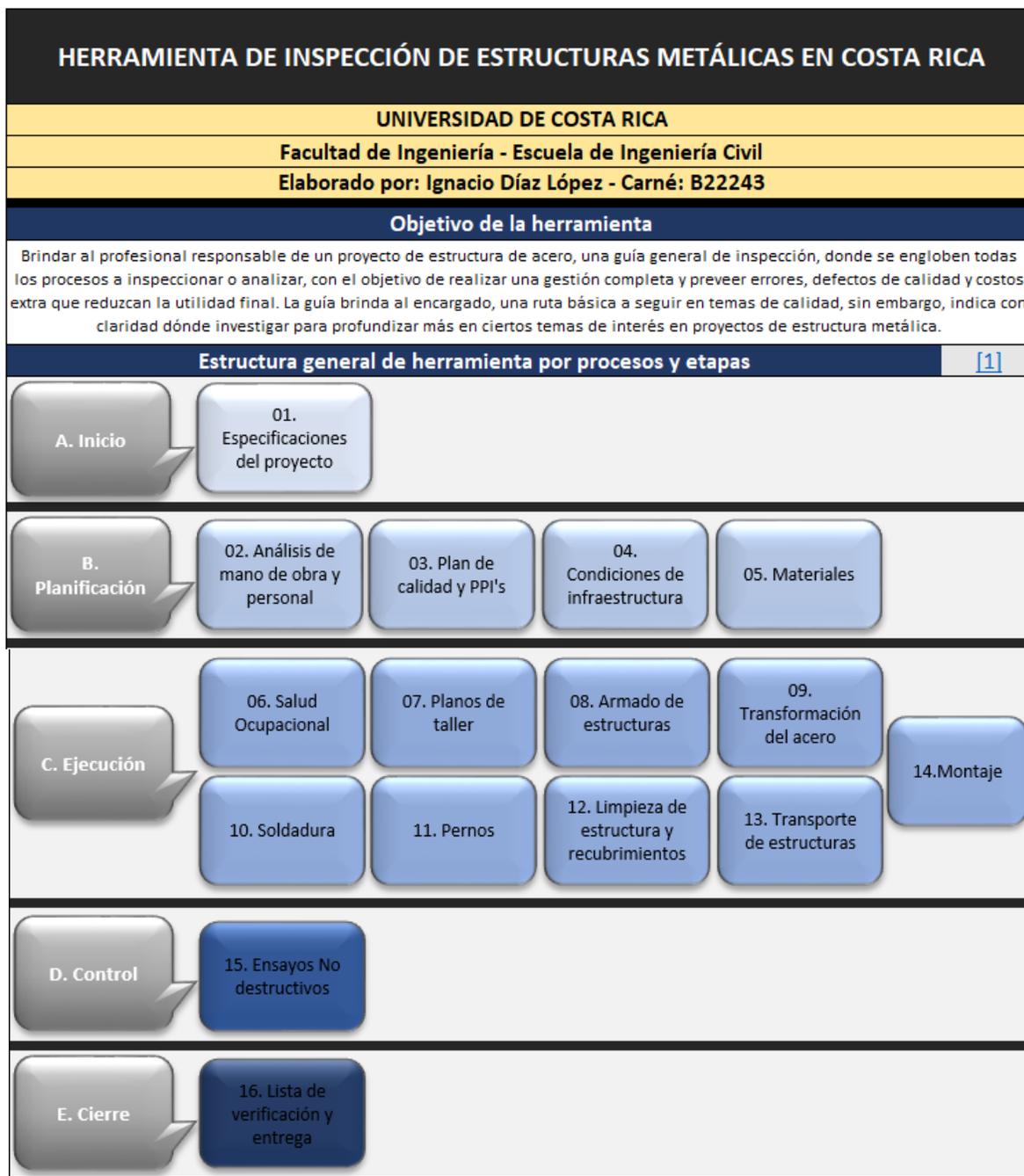
8. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- Avellán / perforación avellanada: Es un proceso que se realiza en las perforaciones, en donde se le realiza un corte externo al borde de la perforación, con el fin de encajar adecuadamente tornillos con cabeza angular o bien, para realizar un bisel en la perforación y que pueda soldarse con buena penetración una barra o perno.
- Chapa de laminación: Mejor conocida como calamina, es una capa gris oscuro que se genera en la superficie de las láminas o elementos de acero. Generalmente tiene un espesor menor a 1 mm. Inicialmente protege el acero del inicio de corrosión sin embargo se oxida y se quiebra.
- Contrato por tiempo definido: Contrato por plazo definido, es decir, al terminar el plazo se termina el contrato. O bien, por obra terminada. Una vez finalizada la obra, se termina el contrato.
- Contrato por tiempo indefinido: Contrato por un plazo no determinado.
- Elemento hechizo: Se refiere a elementos como tubos cuadrados, redondos o vigas tipo I que son fabricados con base a láminas de acero. Estas láminas se doblan, rolan o cortan para posteriormente soldarlas en la geometría especificada.
- Mil: Es la unidad de grosor más utilizada para definir espesores de recubrimientos. Un mil corresponde a 25,4 micras. Además, 1 micra son 0,001 mm.
- Muestra voluntaria: El muestreo voluntario o no probabilístico es aquel en el cual el investigador selecciona la muestra basada en el juicio subjetivo, en lugar de hacer una selección al azar. Es utilizado para estudios exploratorios como en encuestas piloto o conocer posibles parámetros generales de la población, sin embargo, no es posible realizar un estudio estadístico formal. Se utiliza mucho en la investigación cualitativa. (Question Pro Software de Encuestas, 2022)
- Procedure Qualification Record (PQR): El PQR (registro de calificación de procedimiento), es el documento donde se registran todos los parámetros usados durante la calificación de un WPS. Este documento sustenta al WPS y es necesario para calificarlo (American Welding Society, 2010).
- Stripe Coating: Es la aplicación extra de recubrimiento para pintar bordes, soldaduras, anclajes, perforaciones o cualquier otra zona con irregularidades en la estructura. Provee una protección extra a la corrosión, en lugares donde no se alcanza fácilmente el espesor de recubrimiento deseado.

- Tortuga: Herramienta utilizada para realizar cortes rectos en láminas de acero mediante oxicorte, que posee un motor eléctrico de velocidad constante, que brinda un mejor acabado de corte. Se requiere un operario para utilizar la herramienta, por lo que se considera un proceso semi-automático. En la Figura 6 del documento se muestra una fotografía de la herramienta.
- Tubería rolada: Tubos de sección circular fabricados mediante un proceso de rolado, con base a láminas de acero.
- Welder Performance Qualification (WPQ): El WPQ (Calificación del desempeño del soldador), es un documento en donde se registra la capacidad y calificación del soldador para realizar una junta soldada específica. Se refiere al tipo de soldadura, posición y resultado final. Es importante realizarlo para asegurar que el personal que aplicará el WPS en una junta tenga la capacidad para ejecutarlo (American Welding Society, 2010).
- Welding Procedure Specification (WPS): El Welding Procedure Specification (Especificación del proceso de soldadura), es un documento donde se describen todos los procesos para aplicar una soldadura específica. Engloba ciertos parámetros, que han sido evaluados y han sido calificados, con el objetivo de tener un procedimiento que funciona y logra alcanzar los estándares de calidad establecidos en la normativa y el proyecto. Es muy recomendable tener WPS's precalificados para las uniones más comunes en una planta de producción, ya que si se aplica adecuadamente se asegura calidad en la unión soldada.

9. APÉNDICES Y ANEXOS

Apéndice 1. Herramienta de inspección de proyectos de estructuras de acero en MS Excel



PROCESO 01. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO			
Descripción general del proceso			
Análisis de las condiciones generales del proyecto, con base a la información contenida en el cartel de licitación, contrato entre partes interesadas y especificaciones técnicas puntuales. Es fundamental para identificar necesidades especiales del proyecto y planificar su adecuada ejecución.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso de análisis de especificaciones			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
01. Materiales	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Las especificaciones están completas?			05. Materiales
¿Se identifican el tipo de secciones de acero a utilizar?			Anexo 1
¿Qué grado de acero se utilizará? (Según normas ASTM)			[2]
¿Nacional o de importación?			
02. Normativa, códigos o reglamentos internos			
¿Se aplican estándares de calidad normados o sistemas de gestión de la empresa?			
¿Existe normativa específica para el proyecto? Especifique:			
03. Cronograma general de la obra			
¿Se tiene un cronograma general?			
¿Se proyecta iniciar a tiempo?			
Posibles atrasos en inicio de producción:			
04. Mano de obra			02. Análisis de Mano de obra
¿Se requiere mano de obra especial para ejecutar el proyecto? Indique:			
¿Es necesaria la presencia permanente de un ingeniero en obra?			
¿Es necesaria la estancia permanente de un CWI?			CWI
05. Restricciones en obra			04. Infraestructura y equipo
¿Hay espacio para bodega / Oficina?			
¿Hay espacio para armado y movimiento de piezas?			
¿Existen estructuras sensibles a daños en la obra? Especifique:			
¿Espacio para almacenamiento de material?			
06. Salud ocupacional			06. Salud Ocupacional
¿Es obligatorio el uso de EPP certificado?			EPP
¿Es necesario recibir charla para ingreso a proyecto? ¿Quién brinda la charla?			
¿Aplica alguna norma especial de salud ocupacional?			
07. Equipos o herramientas especiales			04. Infraestructura y equipo
¿Se cuenta con el equipo necesario?			
¿Se debe importar equipo?			
¿Se indican detalles del equipo a utilizar? Indique:			
08. Tipos de soldadura			10. Soldadura
Proceso de soldadura:			Glosario
Otras especificaciones:			
09. Preparación de superficies y recubrimientos			12. Limpieza y recubrimientos
Grado de limpieza de superficie			
Tipo de recubrimiento a utilizar:			
Años de garantía del recubrimiento:			
10. Tipos de pernos de anclaje y unión			11. Pernos
Tipo de perno de anclaje:			
Tipo de perno de unión:			
Otras especificaciones:			
11. Especificaciones de inspección			
Frecuencia de inspecciones:			
¿Es necesario personal certificado?			
Indique la certificación:			
12. Reglamentos ambientales			
¿Se especifica reglamento de disposición de residuos?			
¿Es un proyecto LEED?			LEED
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso	

PROCESO 02. ANÁLISIS DE MANO DE OBRA Y PERSONAL			
Descripción general del proceso			
En este proceso se identifican dos aspectos de la mano de obra: 1. Capacidad técnica y operativa de los colaboradores que van a desarrollar las actividades de producción y montaje del proyecto. 2. Condiciones de trabajo de los empleados, que aseguren trabajo digno y seguro. La comprobación de estos dos ejes es fundamental para asegurar un proyecto exitoso.			
Generalidades			
Datos del responsable del análisis de mano de obra			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios para ejecutar el análisis de mano de obra			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyect <input type="checkbox"/> Procedimiento de evaluación técnica <input type="checkbox"/> Presupuesto desglosado <input type="checkbox"/> Certificaciones de personal contratado			
<input type="checkbox"/> Contrato entre partes interesadas <input type="checkbox"/> Otro. Especifique:			
Puntos críticos de condiciones laborales			
01. Preparación previa a la inspección	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
Cantidad de horas diarias trabajadas			
Cantidad de días trabajados a la semana			
¿Se tiene acceso a la información de salarios de los empleados del proyecto?			
¿Cuántos empleados se proyecta tener en el pico más alto de mano de obra?			
¿Existen restricciones de horario de trabajo?			
¿Cómo se lleva el control de asistencia y horas laboradas en proyecto?			
¿Se realiza el pago de horas extras y horas dobles según corresponde?			
¿Se realiza el pago de todas las cargas sociales estipuladas en la legislación costarricense?			[3]
02. Nivel de formalización de puestos de trabajo			
¿Los empleados firmaron un contrato con la empresa encargada al ser reclutados?			
¿Hay empleados informales en el proyecto?			
¿Cuál es la modalidad de contratación?			Glosario
¿Todos los involucrados cuentan con Pólizas de Riesgo de Trabajo (RT) vigentes?			
¿Se tiene copia de las pólizas de RT?			RT
¿Todos los involucrados están asegurados mediante la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS)?			
¿Se poseen los certificados que comprueben que están todos dentro del régimen de la CCSS?			
¿Se entrega algún comprobante al realizar el pago de los empleados?			
¿Existen áreas para almacenar el EPP y pertenencias durante la jornada laboral?			EPP
¿Hay igualdad de condiciones para todos?			
03. Condiciones generales de trabajo			
¿Se tiene un lugar para descansar y alimentarse?			
¿Hay servicios sanitarios en buenas condiciones?			
¿Hay acceso a agua potable e hidratación en proyecto?			
Puntos críticos de capacidad operativa del personal			
04. Cualificación y capacitación	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se exige que haya personal operativo certificados para las actividades que están ejecutando? Indique:			
¿Se le realizó una prueba de aptitud técnica a los colaboradores que ejecutan el proyecto?			
¿Se evalúa la capacidad de los directores y supervisores de la obra?			
¿Existe algún plan de inducción o capacitación para el personal nuevo en proyecto?			
¿Se analizan otros aspectos como liderazgo, comunicación y grado de responsabilidad en el personal?			
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso	

PROCESO 03. PLAN DE CALIDAD Y PROGRAMAS DE PUNTOS DE INSPECCIÓN (PPIs)			
Descripción general del proceso			
El Plan de Calidad es una guía que especifica los niveles mínimos de aceptación, tanto por parte del cliente como de las especificaciones y normativas técnicas. Es fundamental su correcta elaboración y aplicación para cumplir con lo requerido. El objetivo de esta sección, es verificar que el Plan de Calidad cumpla con requerimientos mínimos y su implementación sea viable en el proyecto.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso de			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Estándares de calidad aplicados	<input type="checkbox"/> Normas técnicas aplicables	<input type="checkbox"/> EDT del proyecto (Por actividades)
<input type="checkbox"/> Contrato entre partes interesadas	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique:		
Puntos críticos de análisis de Plan de Calidad y PPIs			
01. Alcance	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se define el alcance temporal y espacial del proyecto?			
¿Se definen las responsabilidades de cada gestor de calidad?			
¿Se definen los objetivos del Plan de Calidad?			
¿Se tienen claras todas las actividades del proyecto y su EDT?			EDT
02. Normativa técnica aplicable			
¿Se define el estándar de calidad a utilizar?			
¿Se definen los códigos o normativas técnicas que rigen el proyecto?			
03. Documentación			
¿Se tiene un sistema de documentación y trazabilidad de los informes de calidad generados?			
¿Se tienen todas las especificaciones y fichas técnicas de los materiales a utilizar?			
¿Se tienen las especificaciones de los equipos a utilizar, así como el plan de mantenimiento?			
¿Se tiene bitácora del proyecto?			
¿Se hace un registro fotográfico o digital de los procesos ejecutados?			
¿Se tienen todos los certificados de garantía de equipos y materiales?			
04. Implementación del Plan de Calidad			
¿Se le brinda una inducción al personal operativo y administrativo del Plan de Calidad a implementar?			
¿Se realizan reuniones de seguimiento a la implementación de Plan de Calidad?			
¿Se da seguimiento a los errores de calidad o salidas no conformes en los procesos?			
¿Se discuten los resultados obtenidos con el Plan de Calidad y se documentan las lecciones aprendidas del proceso?			
¿El Plan implementado incentiva una cultura de mejora continua en la organización?			
¿Se define la periodicidad de las inspecciones de control de calidad, tanto en taller como en campo?			
¿Se detalla cual será el procedimiento de evaluación de calidad de cada uno de los procesos constructivos?			
05. Programa de Puntos de Inspección (PPIs)			PPI
¿Se definen los procesos constructivos a aplicar, con base al EDT del proyecto?			EDT
¿Se tienen todos los insumos necesarios para ejecutar adecuadamente las actividades?			
¿Se cumple con condiciones seguras en obra?			
¿Se analizan las siguientes variables dentro del PPI?			
<input type="checkbox"/> Dimensiones de elementos	<input type="checkbox"/> Calibre y grado de materiales	<input type="checkbox"/> Soldadura	<input type="checkbox"/> Recubrimientos
<input type="checkbox"/> Limpieza de la obra	<input type="checkbox"/> Alineación, niveles y plomo de elementos verticales	<input type="checkbox"/> Pernos	<input type="checkbox"/> Cronograma de obra
<input type="checkbox"/> Disposición de residuos	<input type="checkbox"/> Deformaciones	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique:	
06. Anexos			
¿Se brinda toda la información necesaria para la elaboración, implementación y control del Plan de Calidad?			
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso	

PROCESO 04. INFRAESTRUCTURA DEL FABRICANTE, HERRAMIENTA Y MAQUINARIA			
Descripción general del proceso			
Para la prefabricación de estructuras de acero se necesitan condiciones mínimas en la producción, con el fin de asegurar un proceso seguro y de calidad. Esta sección tiene el objetivo de analizar esas condiciones básicas, así como las herramientas y equipos utilizados durante el proceso de producción y montaje.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Planos de plantas de trabajo	<input type="checkbox"/> Plan de mantenimiento de equipos	<input type="checkbox"/> Organigrama de la empresa	
<input type="checkbox"/> Ficha técnica de maquinaria	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique: _____		
Puntos críticos de infraestructura, herramienta y maquinaria			
01. Condiciones generales	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿El espacio de trabajo está protegido contra la lluvia, el viento y el sol?			
¿La planta de producción tiene una losa de concreto en buenas condiciones?			
¿La planta tiene áreas seguras donde almacenar los materiales, equipos y herramientas?			05. Materiales
¿Se cuenta con espacios básicos como sanitarios, comedores y vestidores para los empleados?			02. Análisis de Mano de obra
¿Están designados los espacios para los residuos generados en taller y campo?			
02. Designación de espacios para cada subproceso en taller			
¿Se tiene designadas áreas para únicamente almacenaje de materiales?			05. Materiales
¿Se tiene áreas para corte y armado de piezas?			08. Armado de estructura
¿Están designados los espacios para resoldado de las piezas?			10. Soldadura
¿Se tiene por aparte los procesos de limpieza y pintura de los demás subprocesos?			12. Limpieza y recubrimientos
¿Se tiene un espacio para montaje y despacho de piezas terminadas?			14. Montaje de estructura
¿Se tiene una secuenciación lógica de la planta, siguiendo una línea producción definida?			
¿Se realizó un diseño de planta adecuado, evitando grandes desplazamientos de material y personal?			
03. Designación de espacios para subprocesos en campo			
¿Se tiene un espacio para descargar y almacenar material de forma segura?			14. Montaje de estructura
¿Se tienen identificados los frentes de trabajo por actividad?			
¿Se tiene designadas áreas para armado cerca de la zona de montaje de la estructura?			
04. Capacidad de movimiento de piezas pesadas			
¿Cuenta la planta de producción con equipo para mover piezas de gran peso?			
¿Cuenta la empresa con personal capacitado para utilizar estos equipos?			
¿Se le brinda un mantenimiento preventivo a los equipos?			
¿Se tienen identificadas las capacidades máximas de los equipos?			
05. Señalización interna y espacios de tránsito delimitados			
¿Están designados los espacios de seguridad en caso de alguna emergencia?			06. Salud Ocupacional
¿Están correctamente delimitados las áreas de tránsito de personal y equipos dentro de la planta?			
¿Se respetan estas áreas delimitadas?			
En campo, ¿Se han cercado adecuadamente lo frentes de trabajo?			
06. Accesos amplios			
¿Cuenta la planta de producción con accesos amplios para poder ingresar material y despachar piezas ya terminadas?			
¿Cuenta la planta de producción con más de un acceso?			
07- Certificación de mantenimiento de equipos			
¿Cuenta el contratista con un plan de mantenimiento preventivo de sus equipos y herramientas?			
¿Se cuenta con documentación que certifique el mantenimiento del equipo de izaje?			
En caso de alquiler de maquinaria, ¿Se tienen certificaciones y garantías del mantenimiento y buen funcionamiento de la maquinaria?			

PROCESO 05. MATERIALES			
Descripción general del proceso			
La inspección de la materia prima es el primer paso para iniciar la producción en taller. Asegurar que el material cumple con las especificaciones del proyecto, dimensiones, composición química y grado del acero es un primer paso en el control de la calidad. En esta sección se inspeccionan estos puntos, así como garantías, buenas prácticas de almacenamiento y documentación requerida.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso de			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Planos del taller	<input type="checkbox"/> Certificados de molino	<input type="checkbox"/> Garantía de calidad del proveedor
<input type="checkbox"/> Planos originales	<input type="checkbox"/> Ficha técnica del material	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique:	
Puntos críticos de la inspección de materiales			
01. Ingreso del material a planta y documentación	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se verifica que la cantidad de material coincida con el pedido original?			
¿Se verifica calibre del material?			
¿Se verifica el certificado de molino, legible y en idioma accesible?			
¿Se tiene una boleta de ingreso de material firmada por proveedor y encargado de bodega?			
¿El proveedor brinda certificado de garantía por el material?			
¿El proveedor brinda certificado de calidad del material?			
¿Se conoce el país de origen, lote y fabricante del material?			
Cuando se pasa material a producción, ¿Se entrega boleta de salida de material de bodega?			
02. Condiciones del material			
¿Grado de corrosión del material?			[4]
¿Es aceptable ese grado de corrosión?			01. Especificaciones generales
¿Se identifica pérdida de sección transversal debido al nivel de corrosión?			
¿El material presenta deformaciones, pandeos o alguna perforación?			
03. Almacenamiento del material			
¿El material está separado del suelo?			
¿El material está expuesto a la lluvia o la humedad?			
En caso de estibar material, ¿Es estable la forma en que se está almacenando? Implica un riesgo para quienes lo manipulan?			
¿El material se almacena de manera lógica, siguiendo la secuenciación de la producción?			
¿El material está ordenado y bien identificado por proyecto y actividad?			
¿El lugar de almacenaje es de fácil acceso, tanto manualmente como con equipo de izaje?			
En caso de estibar material, ¿El material de la base ha sufrido alguna deformación por la carga aplicada?			
¿Se conoce el límite máximo para estibar grandes cantidades de material?			
¿El material está expuesto a sustancias químicas o aceites que puedan afectar su integridad?			
¿El espacio donde se almacena el material es estable y nivelado?			
¿El material está expuesto a ambientes salinos o altamente corrosivos?			
¿El material laminado en frío, se almacena en racks especiales?			
04. Aplicación de ensayos sobre materiales base			
¿Se conoce con seguridad el grado del material base a utilizar?			
En caso que no se conozca con seguridad el grado del material, ¿Se aplican ensayos de tensión para confirmar que el material cumple con lo especificado en el diseño estructural?			[15]
Observaciones generales del proceso			

PROCESO 06. INSPECCIÓN DE SALUD OCUPACIONAL			
Descripción general del proceso			
La Salud Ocupacional en el proyecto es responsabilidad de todos, sin embargo, hay personas responsables por velar que se cumplan adecuadamente todas las normas y reglas estipuladas. Con el fin de prevenir accidentes que dañen la integridad del personal del proyecto, debe verificarse constantemente y corregirse las situaciones de riesgo en el proyecto. Además, se debe asegurar un espacio sano y libre cualquier tipo de discriminación o agresión.			
Generalidades			
Datos del responsable de la salud ocupacional			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar la salud ocupacional			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Contrato entre partes interesada	<input type="checkbox"/> Normativa de Salud Ocupacional	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique:
Puntos críticos de inspección de salud ocupacional			[5]
01. Generalidades de Salud Ocupacional	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Existe en el proyecto una cultura adecuada de salud ocupacional?			
¿Se hace una revisión de cumplimiento de normativa y capacitación al ingreso del colaborador?			
¿Se percibe un ambiente de trabajo adecuado para los colaboradores?			
¿Se identifica algún tipo de maltrato físico o psicológico hacia el personal del proyecto?			
¿Se identifica algún tipo de discriminación en el proyecto?			
¿Cuentan todos los empleados del proyecto con su póliza de RT y Seguridad Social al día?			RT
¿Se cuenta con personal especializado en Salud Ocupacional permanentemente en el proyecto?			01. Especificaciones generales
¿Existe un plan de emergencia definido en caso de sismo o incendio?			04. Infraestructura y equipo
¿Se cuenta con un botiquín de primeros auxilios?			
¿Debe ser el equipo de seguridad ocupacional certificado?			01. Especificaciones generales
02. Delimitación de áreas y señalización de riesgos			
¿Se encuentran claramente señalizados los riesgos y obligatoriedad de uso del EPP?			EPP
¿Se tienen delimitadas las áreas de trabajo solo para personal autorizado y capacitado?			
¿Se prohíbe el ingreso a zonas de alto riesgo de accidente?			
¿Se delimitan los espacios de tránsito de personas en planta?			
¿Existen zonas seguras y rutas de evacuación definidas y señalizadas en el taller y campo?			04. Infraestructura y equipo
¿Está la zona de trabajo ventilada y adecuadamente iluminada?			02. Análisis de Mano de obra
¿La bodega de químicos está protegida de fuentes de ignición?			
¿Se cuenta con bodega de cilindros de gas con tapa, protegidos, verticales y amarrados?			
El personal que ejecuta actividades a más de 1.8 m de altura, ¿Cuenta con equipo de protección anti-caídas?			[5] Art 61
03. Normativa y documentación			
¿Se tiene identificada la normativa en salud ocupacional aplicable al proyecto?			
¿Se tiene acceso a la normativa aplicable al proyecto?			
¿Se le entrega a los empleados las normas de seguridad por escrito y firmadas?			
¿Cada trabajador posee carné de identificación?			
¿Se realizan llamadas de atención escritas cuando se incumplen las normas de seguridad?			
¿Se tiene trazabilidad en caso de tener reincidencia en incumplimiento de normas de seguridad?			
04. Capacitación al personal			
¿Se brinda una charla de las reglas básicas de comportamiento en taller y campo?			
¿Se brinda inducción en uso de equipo de protección personal?			
¿Se brindan capacitaciones para trabajos en alturas?			
¿Se brinda capacitación para trabajos en caliente?			
¿Se brinda capacitación para protección del Covid 19?			
¿Se brinda capacitación en uso de sustancias peligrosas?			

05. Equipo de protección personal por puesto de trabajo						
Equipo de protección general	<input type="checkbox"/> Casco	<input type="checkbox"/> Careta	<input type="checkbox"/> Lentes de seguridad	<input type="checkbox"/> Ropa reflectiva	<input type="checkbox"/> Zapatos de seguridad	<input type="checkbox"/> Pantalón largo de algodón
	<input type="checkbox"/> Guantes anticortaduras	<input type="checkbox"/> Tapones para oídos				
EPP para soldador	<input type="checkbox"/> Chaqueta de soldador	<input type="checkbox"/> Guantes de cuero largos	<input type="checkbox"/> Polainas	<input type="checkbox"/> Gorro	<input type="checkbox"/> Máscara de soldador	
	<input type="checkbox"/> Mascarilla doble filtro para gases		<input type="checkbox"/> Zapatos de seguridad aislantes			
EPP Pintores	<input type="checkbox"/> Lentes de seguridad sellados	<input type="checkbox"/> Mascarilla doble filtro	<input type="checkbox"/> Guantes de vinilo o látex para pintur	<input type="checkbox"/> Traje de pintor		
EPP trabajos bajo el sol	<input type="checkbox"/> Cubre nuca	<input type="checkbox"/> Lentes con protección UV	<input type="checkbox"/> Bloqueador solar	<input type="checkbox"/> Camisas de algodón manga larga		
EPP de trabajos en altura	<input type="checkbox"/> Arnés de seguridad	<input type="checkbox"/> Línea de vida	<input type="checkbox"/> Barbiquejo			
Observaciones generales del proceso						
Ir a proceso anterior		Ir a PORTADA		Ir a siguiente proceso		

PROCESO 07. PLANOS DE TALLER			
Descripción general del proceso			
Los planos de taller son el primer paso en el inicio de la producción de la estructura metálica. Brindan toda la información necesaria, para que los operarios de taller y campo puedan ejecutar todas las actividades como las especifica el cliente, además de cumplir con todos los requerimientos técnicos necesarios para tener un producto de calidad. Los planos deben contener toda la información necesaria para la construcción del proyecto, además de ser de fácil comprensión para el personal que los utilizará.			
Generalidades			
Datos del responsable del análisis o elaboración de planos de taller			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> INTE W121:2020 Simbología en soldadura	<input type="checkbox"/> Planos originales del proyecto	
<input type="checkbox"/> Especificaciones del CSCR 2010-14	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique: _____		
Puntos críticos a inspeccionar de planos de taller			[2]
01. Requerimientos mínimos de planos de taller según el CSCR 2010-14	Opción	Respuesta	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se indica explícitamente qué elementos componen el sistema sismoresistentes?			[2] - 10.1.4.3
¿Se indica la ubicación y dimensiones de las zonas protegidas?			
¿Se indican los materiales de las uniones y sus especificaciones?			
¿Se indica la ubicación de las soldaduras críticas por demanda?			
¿Se muestra la geometría de las perforaciones de acceso?			[2] - 10.5.1.5 Elementos
¿Se tiene planos generales de planta, elevaciones y cortes de la estructura?			
¿Se detalla cual será la preparación de los bordes del material base para la soldadura?			
¿Se desglosan los detalles de las placas de unión y asiento con sus respectivas dimensiones?			
¿Se indica la ubicación de elementos de izaje de estructura?			Revisar Plan de izaje
¿Se indica la preparación de superficie que tendrá la estructura previo a la aplicación de recubrimientos?			12. Limpieza y recubrimientos
02. Información específica de los planos de taller			
¿Se muestran claramente las especificaciones del calibre y grado de los materiales?			
Los planos especifican el tipo de recubrimiento, así como su espesor?			
¿Se especifican los detalles de soldadura mediante la simbología correcta?			ANEXO 2
¿Se indican los elementos por código de colores según el tipo de material que se debe utilizar?			
¿Se indica el despiece por elementos individuales de toda la actividad a fabricar?			
¿Se indica una tabla con todas las secciones transversales a utilizar?			
¿Se indican detalles de los anclajes de la estructura?			
¿Se realiza un control de cambios en los planos por parte del encargado?			
¿Los operarios tienen los planos impresos y legibles a mano?			
Información de cajetín básica			
<input type="checkbox"/> Láminas de referencia de planos originales	<input type="checkbox"/> Nombre del dibujante	<input type="checkbox"/> Nombre del proyecto y actividades especificadas	
<input type="checkbox"/> Índice y número de láminas	<input type="checkbox"/> Fecha de última actualización	<input type="checkbox"/> Contacto del encargado del proyecto	<input type="checkbox"/> Escala
<input type="checkbox"/> Firma de planos aprobados	<input type="checkbox"/> Versión de planos de taller		
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso	

PROCESO 08. ARMADO DE ESTRUCTURAS EN PLANTA			
Descripción general del proceso			
El proceso de armado marca el inicio de producción en planta de una estructura de acero. Es un proceso complejo donde el personal que lo ejecute debe tener amplia experiencia en lectura de planos y técnicas de ensamblaje de estructuras, ya que la precisión y eficiencia de este proceso, definirá la calidad de las demás. El proceso de armado debe ser ampliamente inspeccionado, ya que en esta etapa es más sencillo corregir errores en posición, medidas y calidad que en los procesos posteriores.			
Generalidades			
Datos del responsable del Armado de Estructuras			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Planos de taller aprobados	<input type="checkbox"/> Levantamiento en campo	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique: _____
Puntos críticos de inspección del armado de estructuras			
01. Previo al proceso de armado	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Posee el armador los planos de taller impresos y actualizados?			
¿Se brindó una orden de producción formal al encargado de armado?			
¿Se tienen todos los materiales necesarios para iniciar el proceso de producción?			
¿Se tienen todas las herramientas necesarias para iniciar el proceso de producción?			04. Infraestructura y equipo
¿Se tiene la cantidad de personal capacitado para iniciar con el armado?			02. Análisis de Mano de obra
¿Se tiene un espacio suficiente y seguro para ejecutar la actividad?			04. Infraestructura y equipo
¿Se prefabrica la estructura a nivel del suelo o sobre burras metálicas?			
¿Se elabora un trazo de la estructura?			
¿Se tiene claros todos los procesos de fabricación de la estructura?			09. Transformación del acero
¿Se realizó un levantamiento en campo para corroborar que los planos coincidan?			
¿Se tienen todas las placas y accesorios necesarios para el armado?			09. Transformación del acero
¿Se encuentra el espacio ordenado y limpio, además de bien iluminado?			06. Salud Ocupacional
02. Durante el proceso de armado			
¿Se verifica que las dimensiones fabricadas coincidan con los planos de taller?			
¿Se verifica linealidad de elementos, escuadras, posición de placas de unión y anclaje?			
¿Se colocan elementos de arriostamiento temporal para evitar deformación durante resoldado?			
¿Se verifica el plomo de elementos verticales?			
¿Se verifica que los biseseles en uniones de penetración completa o parcial sean los correctos?			
03. Después del proceso de armado			
¿Son los puntos de soldadura de armado suficientemente fuertes para mantener la estructura unida?			
¿Se fabrican elementos con holgura en las medidas en caso de tener variaciones en campo?			14. Montaje de estructura
¿Se identifican adecuadamente las piezas desde que salen del proceso de armado?			
04. Buenas prácticas de armado			
¿Se limpia la grasa del material previo al inicio del corte?			SSPC-SP1
¿Se está trabajando sobre un piso nivelado?			
Observaciones generales del proceso			

PROCESO 09. TRANSFORMACIÓN DEL ACERO			
Descripción general del proceso			
La fabricación de piezas especiales y accesorios se realiza de forma previa o paralela al proceso de armado. La inspección de estos procesos es fundamental, ya que errores en medidas, calibres o ubicación de perforaciones, puede implicar problemas graves en los procesos de armado de las estructuras, y especialmente en el montaje en campo. Todos estos procesos se realizan mediante el uso de máquinas y personal capacitado, mayoritariamente utilizando como base láminas y barras de acero de distintos calibres y grados.			
Generalidades			
Datos del responsable de la Transformación del acero			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Planos de taller aprobados	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique:	
Puntos críticos de inspección de la transformación del acero			
01. Generalidades del proceso de transformación del acero	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se cuenta con las máquinas en funcionamiento y correctamente calibradas?			04. Infraestructura y equipo
¿Está el personal adecuadamente capacitado para ejecutar estas labores?			02. Análisis de Mano de obra
¿Se cuenta con equipo de izaje para movimiento de piezas de gran peso dentro de las máquinas?			04. Infraestructura y equipo
¿Se tiene una secuencia lógica en el proceso de transformación del acero? (Corte, perforación, dobléz)			
02. Rolado de tubería y lámina			
¿Se realiza un trazo para verificar el desarrollo de los tubos rolados?			
¿Se verifica el diámetro total de la lámina rolada? (Tubos rolados)			
¿Se tiene un diámetro constante en la tubería rolada? (Evitar formas ovaladas)			Glosario
03. Corte con guillotina			
¿Se verifica la escuadra de los cortes ejecutados?			Glosario
04. Roscado de barras de anclaje			
¿Se verifica que efectivamente calcen las tuercas en cada rosca?			
¿Se realiza limpieza de la punta de la barra para facilitar el ingreso de la rosca?			
¿Se engrasan las roscas con el fin de facilitar la colocación de la tuerca y proteger contra la oxidación?			
¿Se verifica que la longitud de la rosca coincida con planos de taller?			07. Planos de taller
¿Se realizan plantillas metálicas para asegurar el posicionamiento de las barras de anclaje en campo?			
05. Doblez de lamina			
¿Se verifican las medidas de cada cara del dobléz?			
¿Se verifica el ángulo del dobléz en toda la extensión de la pieza?			
¿Se verifica que en la parte externa del dobléz, no haya agrietamiento? (Sección del dobléz que sufre tracción)			
06. Oxicorte			
¿Se realizan perforaciones para pernos mediante oxicorte?			Glosario
¿Se utilizan herramientas como compás o "tortuga" para realizar los cortes?			Tortuga
¿Se realiza una limpieza de la pieza posterior al corte?			
¿Se verifican las medidas finales de la pieza una vez terminado el corte?			
07. Corte mediante plasma			
¿El corte es manual o mecanizado?			
¿Se verifican las medidas finales de las piezas cortadas?			
¿El borde de los cortes es completamente perpendicular?			
En caso de perforaciones en placas, la perforación tiene la misma medida en ambas caras de la placa? (Evitar perforaciones cónicas)			
08. Perforación mediante taladrado o ponchadora			

¿Se verifica el diámetro de las perforaciones?			
¿Se verifica la distancia entre perforaciones?			
En caso de avellanado, se verifica el ángulo y profundidad del avellán?			Avellán
¿Tienen las perforaciones al menos 3 mm más que el diámetro del perno?			ANEXO 3
09. Biselado			
¿Se realiza el biselado mediante máquina biseladora?			
¿Se realiza una verificación de la geometría del bisel? (Ángulo, talón, regularidad)			
Observaciones generales del proceso			

PROCESO 10. SOLDADURA			
Descripción general del proceso			
En el proceso de soldadura existen una gran cantidad de variables que afectan la calidad del producto final, por lo que la inspección debe estar presente desde la preparación previa, durante su ejecución y posterior a la misma. Además, es un proceso que se interrelaciona en gran medida con los demás, como los son los materiales, los equipos, las especificaciones, los END y los ED.			
Generalidades			
Datos del responsable de la Transformación del acero			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto <input type="checkbox"/> Planos de taller aprobados <input type="checkbox"/> WPS <input type="checkbox"/> WPQ - Certificación del personal <input type="checkbox"/> Otro. Especifique:			
Puntos críticos de inspección de soldadura			[6]
01. Generalidades de inspección del proceso	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Cuenta el personal con todo el EPP necesario para la aplicación del proceso?			06. Salud Ocupacional
¿Se encuentran las herramienta y máquinas de soldar en condiciones ideales para la ejecución del trabajo?			04. Infraestructura y equipo
¿Se tienen condiciones óptimas en planta para la ejecución del proceso de soldadura?			04. Infraestructura y equipo
Si se utilizan el proceso de GMAW en campo, ¿Se brinda protección al soldador para evitar problemas con el viento en la aplicación del proceso?			GMAW
En caso de lluvia en proyecto, ¿Se detienen las labores de soldadura para proteger la integridad del personal expuesto?			[6] - 5.12.2
02. Inspector de soldadura			
¿El inspector tiene condiciones físicas aptas para realizar adecuadamente la labor que se le asignó?			
¿Es el inspector de soldadura certificado por la AWS (American Welding Society), o la CWB (Canadian Welding Bureau)?			[6] - 6.1.4
¿El inspector de soldadura tiene experiencia comprobada y entrenamiento en metalmecánica, inspección y testeado de uniones soldadas?			[6] - 6.1.4
¿El inspector de soldadura revisa en todas las etapas de la fabricación (antes, durante y después) las soldaduras?			
¿Brinda el inspector anotaciones y órdenes directas sobre los puntos a corregir?			
¿El inspector da seguimiento a los errores hallados y se asegura que se hayan corregido?			
¿Se encuentra al inspector de soldadura permanentemente en el proyecto?			
¿El inspector de soldaduras realiza la cantidad de visitas necesarias para asegurar la calidad del proceso?			
¿El inspector de soldadura tiene copia de la certificación de los soldadores y todos los WPS utilizados en el proyecto, además de los resultados de todos los ensayos que se realicen en el proyecto?			
03. Soldadores			
02. Análisis de Mano de obra			
¿Los soldadores son certificados en el procedimiento que van a desempeñar?			
¿Tienen los soldadores experiencia comprobada en el procedimiento que van a aplicar?			
04. Preparación del metal base y aporte			
¿Se encuentra almacenado el metal de aporte de forma hermética y lejos de la humedad?			[6] - 5.3
¿La superficies a soldar se encuentran mojadas o húmedas?			[6] - 5.12.2
¿Son los bordes del metal base uniformes, lisos, libres de grietas, poros o cualquier discontinuidad que pueda afectar la calidad de la aplicación?			[6] - 5.15
¿Está el metal base libre de grasa, humedad, óxido, pintura o cualquier otra sustancia que pueda generar gases no deseados al aplicar la soldadura?			[6] - 5.15

05. Especificaciones y planos de taller				07. Planos de taller
¿Se detalla el grado y tipo de metal base?				[2] - 10.1.4.3
¿Se detalla el tipo de consumibles y requerimientos del metal de aporte? (electrodos, alambre sólido, alambre tubular)				
¿Se exigen los certificados de calidad del metal de aporte?				[2] - 10.9.2
¿Se especifican todos los detalles de las soldaduras en los planos de taller?				ANEXO 3 - Simbología de soldadura
Se especifica la dimensión de las perforaciones de acceso en uniones de vigas?				
06. Revisión del WPS a aplicar				[6] - 6.3 y [6] - Anexo N
Datos generales de la empresa, proyecto y actividad que se está analizando, fecha y número de WPS				
Identificación del soldador, nombre completo y fotografía				
Certificación o calificación del soldador que ejecutará el WPS				[6] - 3 y 4
¿Qué tipo de calificación tiene el WPS? Sección 6.3 AWS D1.1				[6] - 6.3
¿Qué proceso de soldadura se ejecuta en este WPS?				Glosario
¿Qué metal base se está utilizando?				
¿Es necesario el precalentamiento de la pieza a soldar?				[6] - 5.6
¿En qué posición de soldadura se aplicará el WPS?				ANEXO 4 - Posiciones de soldadura
¿Qué tipo de metal de aporte se está utilizando?				
Diámetro del metal base (Electrodos o alambre)				
¿Qué tipo de protección se utiliza para el aporte? (gas, flux core, recubrimiento, SAW)				
Características eléctricas de la unión (amperaje, voltaje y polaridad)		Amp: <input type="text"/>	Voltaje: <input type="text"/>	Polaridad: <input type="text"/>
Técnicas de soldado: patrón de soldadura, cantidad de pases, distancia entre aporte y metal base, tipo de limpieza entre pases, velocidad de aplicación, etc.				
¿Se utiliza metal de respaldo en la unión?				[6] - 5.10
¿Se tiene un detalle gráfico de la unión?				ANEXO 5 - Detalle gráfico WPS
07. Aplicación de ensayos no destructivos (END)				15. Ensayos No Destructivos
Según especificaciones y contrato, ¿Cuáles END se deben realizar de forma obligatoria?				
<input type="checkbox"/> Inspección visual (VT)	<input type="checkbox"/> Líquidos penetrantes (PT)	<input type="checkbox"/> Partículas magnéticas (MT)	<input type="checkbox"/> Radiografía (RT)	<input type="checkbox"/> Ultrasonido (UT)
Los END son ejecutados por:				
<input type="checkbox"/> Contratista (QC)	<input type="checkbox"/> Ente externo certificado (QA)	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique: <input type="text"/>		
08. Aplicación de Ensayos Destructivos (ED)				16. Ensayos destructivos
Según especificaciones y contrato, ¿Cuáles ED se deben realizar de forma obligatoria?				
<input type="checkbox"/> Ensayos de tracción	<input type="checkbox"/> Ensayos de doblez	<input type="checkbox"/> Ensayo de compresión	<input type="checkbox"/> Ensayo de cizalladura	<input type="checkbox"/> CVN Tenacidad de Charpy
<input type="checkbox"/> Ensayos de flexión	<input type="checkbox"/> Análisis de pandeo	<input type="checkbox"/> Análisis de torsión	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique: <input type="text"/>	
El laboratorio que ejecuta los ED, ¿Cuenta con certificación sobre sus procedimientos?				
09. Revisión final de soldadura				
En elementos armados con base a placas de acero, debido a la variación brusca de temperaturas se produce pandeo y retorcimiento de zonas. ¿Cumplen estas deformaciones con las tolerancias máximas de la especificación?				[6] - Tabla 5.6
¿Se verifican el tamaño, largo y ubicación de las soldaduras con respecto a los especificado en planos?				
¿Están todas las soldaduras libres de residuos de escoria y salpicadura excesiva?				

¿Están todas las soldaduras aprobadas por QC y QA?			
10. Elaboración de reporte de inspección			
¿Se tiene un registro fotográfico del proceso completo de soldadura?			
¿Se tiene un registro fotográfico del proceso de reparación de defectos hallados?			
¿Se brinda un número de identificación a cada unión analizada?			
¿Con qué periodicidad se generan los reportes de calidad de soldadura?			01. Especificaciones generales
¿El cliente recibe copia de los informes de calidad generados a lo largo de todo el proyecto?			
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso	

PROCESO 11. INSPECCIÓN DE PERNOS DE UNIÓN Y ANCLAJE			
Descripción general del proceso			
El proceso de apernado de uniones debe ser inspeccionado siguiendo los estatutos de la "Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts", elaborado por "Research Council on Structural Connections". En esta sección, se brindan los parámetros del uso de pernos, correcto almacenamiento, parámetros de inspección y aseguramiento del debido proceso de instalación y pretensión del elemento, con el fin de asegurar un adecuado funcionamiento de la junta.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso de apernado			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Planos de taller aprobados	<input type="checkbox"/> Metodología de pretensión	<input type="checkbox"/> Tablas de torques según perno utilizado
<input type="checkbox"/> Herramienta de medición de torque	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique: _____		
Puntos críticos de inspección de pernos de unión y anclaje			
01. Requerimientos generales de pernos	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Qué tipo de perno se utilizará en las uniones?			
¿Qué tipo de perno se utilizará en los anclajes?			[7]-A3.4
¿El proveedor de pernos brinda certificación de calidad y cumplimiento de las normas de los pernos?			[8]-2.1
02. Proceso de instalación de pernos			[8]-2.6
¿Se especifica la frecuencia de revisión por parte del inspector?			01. Especificaciones generales
¿Se asegura que mediante el proceso de alineamiento e instalación de los pernos, no se daña la rosca?			
¿Se tiene una secuencia planificada de instalación de pernos en una unión?			
¿Se tiene una secuencia planificada de pretensión de los pernos en la unión?			
03. Preparación de superficies de contacto			[8]-3.2
¿Existe algún material o recubrimiento que impida el adecuado giro de la tuerca?			
¿Están las caras de las placas de unión protegidas adecuadamente contra la corrosión?			
¿Están las placas de unión paralelas entre sí?			ANEXO 6 - Método 1 de pretensión - Giro de tuerca
¿Están las caras de las placas limpias de rebabas o soldaduras que impidan un 100% de contacto entre ellas?			
¿Existen rebabas en las perforaciones de más de 1/16" de espesor?			[8]-3.4
04. Análisis de las perforaciones			[8]-3.3
En caso de perforaciones mediante corte térmico. ¿Se tienen irregularidades de más de 1/16" (1,6 mm)?			
¿Tienen las perforaciones suficiente holgura para subsanar posibles problemas de alineamiento en montaje?			ANEXO 7 - Tamaño de perforaciones
05. Uso de arandelas			[8]-6
En caso de cumplir con al menos una de los siguientes condiciones, debe hacerse uso de arandelas en el sistema de apernado:			
<input type="checkbox"/> Desalineamiento entre plano de tuerca y superficie adyacente	<input type="checkbox"/> Perforaciones tipo "Ojo chino"	<input type="checkbox"/> Material grado 40 o inferior	
<input type="checkbox"/> Uso de herramientas de pretensión calibradas	<input type="checkbox"/> Pernos tipo "Twist-off"	<input type="checkbox"/> Perforaciones más grandes de lo especificado	

06. Pretensión de pernos		[8]-7.1 v8.2
¿Se realiza prueba de pre-instalación?		ANEXO 8 - Pretensión en pre-instalación
¿Se conoce con certeza el nivel de pretensión que debe alcanzar el perno?		ANEXO 9 - Pretensión mínima de pernos
¿Se encuentra el perno limpio y adecuadamente lubricado?		
¿Qué proceso de pretensión se va a aplicar?	Método "Turn-of-nut" (Anexo 6)	
07. Recomendaciones en el uso de pernos		Detalle
¿Cómo identificar el tipo y grado de perno, tuerca y arandela?	ANEXO 10 - Identificación de tipo de perno y grado asociado	
Pernos A325 son equivalente a los ASTM F1852	[8]-1.1	
Pernos A490 son equivalentes a los ASTM F2280	[8]-1.1	
Los pernos A490, ASTM F2280 y ASTM F1852 NO son reutilizables		
Los pernos A325 negros, sí pueden reutilizarse.		
Los pernos A325 y A490 pueden limpiarse y re-lubricarse en caso de ser necesario.		
Los pernos ASTM F2280 y ASTM F1852 no deben re-lubricarse, únicamente el proveedor		
Se deben extraer únicamente los pernos que se van a instalar, en caso de sobrar, deben regresarse al lugar protegidos.		
Norma ASTM A563 rige especificación de tuercas.		
Norma ASTM F436 rige especificación de arandelas.		
Norma ASTM F959 rige arandelas de indicador de tensión directa (Para pretensión)		
Observaciones generales del proceso		
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso

PROCESO 12. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS			
Descripción general del proceso			
Las estructuras de acero están siempre en proceso de oxidación, sin embargo, con la aplicación de recubrimientos se puede retrasar e impedir que afecte la integridad de los elementos. En esta sección se brindan los parámetros más importantes a inspeccionar durante el proceso de preparación de superficie, aplicación de recubrimiento y curado del mismo, basándose en la normativa de la "Association for Materials Protection and Performance (AMPP)", y el "Programa de Inspector de Recubrimientos Nivel 1", de NACE.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso de preparación de superficie y aplicación de recubrimientos			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Ficha técnica de producto a aplicar	<input type="checkbox"/> Instrumentos de medición de espesores y condiciones ambientales	
<input type="checkbox"/> Otro. Especifique:			
Puntos críticos de inspección de preparación de superficie y recubrimientos			[9]
01. Responsabilidades del inspector de recubrimientos	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se tienen todas las especificaciones del proyecto y necesidades del cliente claras y por escrito?			01. Especificaciones generales
¿Se tiene clara la especificación y ficha técnica del producto que se va a aplicar?			[9] - 13
¿El inspector de recubrimientos realiza reuniones con los involucrados para subsanar cualquier duda del procedimiento y tipo de producto que se va a aplicar?			
¿El inspector se encarga de documentar todo el proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento, así como generar los informes detallados de cada etapa?			
¿El inspector se cerciora que el producto sea el correcto y esté en buenas condiciones antes de aplicarse?			
¿El inspector brinda al equipo de trabajo la ficha técnica y la ficha de seguridad (MSDS) del producto que van a aplicar?			
02. Corrosión			
¿En qué grado de corrosión se encuentra el material?			[10]
¿Qué tipo de corrosión se logra observar en el material?			
03. Preparación de superficie			
¿Qué grado de limpieza se debe alcanzar según la especificación?			[11]
¿Qué perfil de anclaje es necesario para asegurar adherencia del recubrimiento?			
¿Se mantiene el grado de limpieza necesario a la hora de aplicar el recubrimiento?			
Antes de aplicar un proceso de arenado o limpieza con herramienta manual, ¿Se hace un proceso de pre-limpieza mediante solventes?			
¿Qué método de limpieza se utilizará para preparar la superficie?			
04. Condiciones ambientales			
¿Se mide la temperatura de la superficie donde se va a aplicar el recubrimiento?			[9] - 5.1.1
¿Se mide la temperatura del ambiente?			
¿Se mide la humedad relativa del ambiente?			
¿Se conoce el punto de rocío del ambiente?			
Según el lugar de trabajo, ¿El viento genera condiciones adversas para la aplicación de recubrimientos?			
¿Hay presencia de polvo o contaminantes en el aire?			

05. Aplicación de recubrimientos			
¿Se verifica que los componentes del recubrimiento se mezclen en su totalidad previo a la aplicación?			
¿Se verifica que se agregue el diluyente correcto y en la proporción adecuada?			
¿Qué método de aplicación se utilizará?			
¿Se utiliza el "Stripe Coating"?			Stripe Coating
En recubrimientos bi-componentes, ¿Se mezclan los componentes en las proporciones especificadas?			
¿Se respetan los tiempos de inducción y tiempo de vida máximo para la aplicación?			
06. Mediciones y ensayos de verificación			
¿Se realizan mediciones de espesor húmedo luego de la aplicación?			
¿Se tiene clara la relación entre espesor húmedo, sólidos por volumen disueltos y espesor de capa seca final?			ANEXO 11 - Relación de WFT y DFT
¿Se realiza una verificación del aire presurizado, que no contenga agua ni aceite?			
¿Se realizan mediciones de espesor de película seca (DFT) mediante micrómetro?			
¿Se realizan pruebas de adherencia?			
¿Se utiliza el detector de discontinuidades para hallar porosidades o agrietamientos en el recubrimiento?			
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso	

PROCESO 13. TRANSPORTE DE LAS ESTRUCTURAS

Descripción general del proceso

El transporte de las estructuras prefabricadas, desde un taller hasta el sitio de instalación, es un proceso que normalmente se le delega a terceros, y que es poco inspeccionado por el control de calidad de las partes interesadas. Se debe asegurar que el material que se transporta vaya seguro, no vaya a sufrir daños excesivos durante el transporte, que no ponga en riesgo a las personas que llevan la carga y también, que cumpla con las normativas y leyes nacionales para transitar con ese tipo de cargas pesadas en las rutas nacionales.

Generalidades

Datos del responsable del proceso de transportes

Nombre del responsable del proceso: Puesto:

Datos generales de la inspección

Nombre del inspector: Fecha de inspección:

Puesto del inspector: No. de inspección:

Insumos necesarios inspeccionar el proceso

Peso de la carga a transportar Normativa Nacional aplicable Otro. Especifique:

Puntos críticos del Transporte de Estructuras

[12]

01. Revisiones previas a la carga para el transporte	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Está el recubrimiento adecuadamente seco y curado?			
¿Se conoce la ruta a seguir para llegar al proyecto?			
En la ruta, ¿Hay limitaciones de espacio o límites de carga a tomar en cuenta?			
¿Cuenta el vehículo y chofer con respectivas licencias y permisos para transportar ese tipo de carga?			[12] - 1
En caso que la carga sea alta (mayor a 1,8 m), ¿Los empleados cuentan con arnés de seguridad y línea de vida en durante la carga y descarga del material?			[5] - 61
02. Estabilidad y protección de la integridad de la carga transportada			
¿Están todas las piezas con su código de identificación?			08. Armado de estructura
¿Se montan primero las piezas más grandes y pesadas, y posteriormente las más livianas?			
¿Se colocan maderas o materiales antideslizantes entre las piezas para evitar el deslizamiento?			
¿Se colocan amarras de la carga en todos los posibles ejes de movimiento?			
¿Está el peso de la carga apropiadamente distribuida en los ejes?			
03. Cumplimiento de normativa nacional para transporte de cargas			
¿La carga supera los 2,5 m de ancho?			[12] - 4
¿La carga supera los 3,8 m de altura?			[12] - 4
¿El largo del camión articulado con la estructura carga supera los 18,3 m?			[12] - 4
¿La estructura sobresale más de un metro por detrás o delante del vehículo?			[12] - 4
¿Se colocan banderolas en la carga sobresaliente?			[12] - 5
En caso que se sobrepasen las dimensiones establecidas, ¿Se realiza el transporte en horas de poco tránsito y con señales de seguridad adecuadas (escolta)?			[12] - 5

Observaciones generales del proceso

[Ir a proceso anterior](#)

[Ir a PORTADA](#)

[Ir a siguiente proceso](#)

PROCESO 14. MONTAJE DE ESTRUCTURA

Descripción general del proceso

Las condiciones de trabajo en campo, son mucho menos controladas que la producción en taller, por tal, la inspección debe ser minuciosa para asegurar que se complete la actividad con éxito. Además, es común que en campo converjan otros contratistas, por lo que la gestión del espacio, el planeamiento y los tiempos de montaje deben ser más precisos. Esta sección se encuentra basada en "Steel Bridge Erection Guide Specification", de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Generalidades

Datos del responsable del proceso de montaje de estructura

Nombre del responsable del proceso:	Puesto:
-------------------------------------	---------

Datos generales de la inspección

Nombre del inspector:	Fecha de inspección:
Puesto del inspector:	No. de inspección:

Insumos necesarios inspeccionar el proceso

Especificaciones del proyecto
 Plan de izaje
 Capacidad de equipo de izaje
 Otro. Especifique: _____

Puntos críticos del proceso

01. Material almacenado	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se encuentra el material etiquetado y almacenado conforme a su secuencia de montaje?			13. Transporte de estructuras
¿El material almacenado en campo ha sufrido golpes, pandeos, torceduras o algún defecto visible?			
¿El material ha sufrido algún nivel de corrosión mientras está almacenado en campo?			
¿El material está completo para iniciar la actividad?			
En caso de entregas parciales, ¿Se tiene clara la secuenciación de montaje?			

02. Plan de izaje

El plan de izaje elaborado, debe contener como mínimo los siguientes parámetros:

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Plano del área de trabajo y montaje | <input type="checkbox"/> Planos de ubicación de bases para instalación | <input type="checkbox"/> Caminos de acceso hasta sitio de montaje |
| <input type="checkbox"/> Estructuras y condiciones que limitan acceso hasta sitio de montaje | <input type="checkbox"/> Zonas de almacenamiento de materiales | |
| <input type="checkbox"/> Indicaciones de puntos de izaje de elementos | <input type="checkbox"/> Información de grúa o equipo de izaje a utilizar | <input type="checkbox"/> Restricciones de viento |
| <input type="checkbox"/> Arriostres temporales para soportar cargas | <input type="checkbox"/> Detalles del sistema de anclaje (Eslingas, cadenas, etc) | <input type="checkbox"/> Condiciones de soporte del suelo |
| <input type="checkbox"/> Ubicación exacta de la grúa torre o camión, así como radios de giro. | <input type="checkbox"/> Otro. Especifique: _____ | |

03. Verificación de resultado final del proceso

¿Se verifica que los elementos verticales están aplomados?			
¿Se verifica que exista linealidad entre elementos de un mismo eje?			
¿Se verifican y realizan ensayos en las uniones soldadas en campo?			10. Soldadura
¿Se verifican parámetros de apernado y torque de elementos ensamblados en campo?			11. Pernos
¿Los planos de montaje y taller coinciden con lo que está instalado en campo?			07. Planos de taller
¿Se realizan la mayoría de actividades a nivel de suelo, previo a montar las estructuras?			

Observaciones generales del proceso

[Ir a proceso anterior](#)

[Ir a PORTADA](#)

[Ir a siguiente proceso](#)

PROCESO 15. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

Descripción general del proceso

El objetivo principal de esta sección es brindar una guía de cuándo y dónde deben realizarse los END, según la información que se desee obtener. La sección no brinda una guía completa de cómo ejecutar los ensayos, ya que es una metodología amplia y específica para cada uno de ellos, pero sí guía al profesional en dónde profundizar en el tema y qué tipo de profesional se debe acceder para ejecutar END confiables y con resultados certificados. Ver capítulo 6 del Structural Welding Code AWS D1.1

Generalidades

Datos del responsable del proceso de END

Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
-------------------------------------	--	---------	--

Datos generales de la inspección

Nombre del inspector:	Fecha de inspección:
Puesto del inspector:	No. de inspección:

Insumos necesarios inspeccionar el proceso de END

Especificaciones del proyecto
 Certificación de inspectores de END
 Procedimiento de END
 Otro. Especifique: _____

END según detalle a inspeccionar

01. Calificación del personal en END	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Es el personal que está ejecutando los ensayos certificado por la ASNT?			[14]
¿Qué nivel de calificación posee el inspector?			[14]
Con el nivel de certificación que posee el inspector ¿Los resultados de los ensayos serán certificados?			[14]
02. Inspección visual de soldadura			[6] - Tabla 6.1
¿Se detectan grietas en la soldadura?			
¿Se identifica que exista fusión completa entre capas adyacentes del metal de aporte y metal base?			
¿Se cumple con todos los tamaños de soldadura especificados?		ANEXO 12 - Soldaduras	07. Planos de taller
¿Las soldaduras se inspeccionan inmediatamente después de terminado el proceso de soldadura?			
¿Se halla más de un poro cada 100 mm de más de 2,5 mm de diámetro?			
¿Se logra observar socavación de más de 1 mm en los bordes del material base?			
¿Se tiene una soldadura regular, sin abultamientos excesivos o zonas vacías?			
¿Se eliminó completamente la escoria y salpicaduras de la soldadura una vez terminada?			
03. Inspección visual de recubrimientos			12. Limpieza y recubrimientos
¿Se observan ampollamientos o grietas en el recubrimiento?			
¿Se observa que el recubrimiento no ha secado por completo?			
¿Se siente que las capas inferiores al recubrimiento siguen suave?			
¿Se mantiene un color uniforme en toda la superficie?			
¿Se identifica algún defecto en el recubrimiento?			
03. Líquidos penetrantes (PT) y partículas magnéticas (MT) para inspección de soldaduras y materiales			
¿Se necesita inspeccionar la superficie de las soldaduras y materiales en búsqueda de discontinuidades? (porosidad, agrietamientos o irregularidades excesivas)			
¿Se encuentra la superficie limpia y sin pintar al momento del ensayo?			
¿Se posee de buena iluminación para la realización del ensayo?			
¿Se logran detectar discontinuidades en las soldaduras o el material base con el ensayo?			
¿Se brinda el informe de resultados obtenidos a los encargados?			
04. Ultrasonido (UT) para revisión de soldaduras y material base			
¿Se necesita inspeccionar el nivel de penetración en una junta soldada?			
¿Se necesita inspeccionar si hay discontinuidades como poros, grietas, escoria atrapada o cualquier otro defecto a nivel interno de la soldadura?			
¿Se brinda el informe de resultados obtenidos a los encargados?			

05. Radiografía (RT) para revisión de soldaduras y material base		
Según especificaciones, ¿Es necesaria la aplicación de un ensayo radiográfico?		01. Especificaciones generales
¿Se cuenta con todo el equipo de protección personal para la ejecución del ensayo?		
¿Se brinda el informe de resultados obtenidos a los encargados?		
Observaciones generales del proceso		
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a siguiente proceso

PROCESO 16. LISTA DE CHEQUEO Y ENTREGA FINAL			
Descripción general del proceso			
Es fundamental ejecutar un cierre oficial de las actividades. Esto brinda seguridad con el cliente, se hacen las últimas revisiones de calidad y comienza a correr el tiempo de garantía sobre las estructuras entregadas. Es un proceso formal, en el cual se revisa el alcance inicial de la actividad y se compara contra la estructura que se entrega finalmente, con base al contrato firmado y las especificaciones iniciales del proyecto.			
Generalidades			
Datos del responsable del proceso de Lista de chequeo y entrega final			
Nombre del responsable del proceso:		Puesto:	
Datos generales de la inspección			
Nombre del inspector:		Fecha de inspección:	
Puesto del inspector:		No. de inspección:	
Insumos necesarios inspeccionar el proceso			
<input type="checkbox"/> Especificaciones del proyecto	<input type="checkbox"/> Lista de chequeo	<input type="checkbox"/> Alcance del contrato original	<input type="checkbox"/> Otro. Especifique: _____
Puntos críticos de cierre del proyecto			
01. Cumplimiento de alcance total de la obra	Opción	Respuesta/Comentario	Referencia / Anexo / Glosario / Comentario
¿Se cumple con todas las tareas especificadas en contrato?			01. Especificaciones generales
¿Se cumple con todas las órdenes de cambio contratadas?			
¿El cliente acepta satisfactoriamente los trabajos ejecutados?			
02. Cumplimiento en cronograma y tiempos de la obra			
¿Se cumple el proyecto según el cronograma inicial?			
En caso de entrega tardía, ¿Se ejecutaron multas a la empresa contratista de la obra?			01. Especificaciones generales
¿Cuál es la principal razón del atraso de la entrega final?			
03. Cierre formal del proyecto			
¿El cliente acepta el trabajo por escrito?			
¿Se recopilan las lecciones aprendidas del proyecto?			
Observaciones generales del proceso			
Ir a proceso anterior	Ir a PORTADA	Ir a Anexos	

Glosario de términos	
Término o abreviatura	Significado
AISC	American Institute of Steel Construction
AISI	American Iron and Steel Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASNT	American Society for Nondestructive Testing
Avellan / Perforación avellanada	Es un proceso que se realiza en las perforaciones, donde se le realiza un corte externo al borde de la perforación, con el fin de encajar adecuadamente tornillos con cabeza angular o bien, para realizar un bisel en la perforación y que pueda soldarse con buena penetración una barra o perno.
AWS	American Welding Society (Asociación Americana de Soldadura)
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica
CIC	Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica
CIEMI	Colegio de Ingenieros Electricistas, Mecánicos e Industriales de Costa Rica
CJP	Complete Joint Penetration (Junta de penetración completa)
CONAVI	Consejo Nacional de Vialidad
Contrato por tiempo definido	Contrato por plazo definido, es decir, al terminar el plazo se termina el contrato. O bien, por obra terminada. Una vez finalizada la obra, se termina el contrato.
Contrato por tiempo indefinido	Contrato por un plazo no determinado.
COVID 19	Coronavirus Desease 2019
CWI	Certified Welding Inspector (Inspector Certificado de Soldadura)
DFT	Dry Film Thickness (Espesor de película seca)
ED	Ensayos Destructivos
EDT	Estructura de Desglose de Trabajo
END	Ensayos No Destructivos
EPP	Equipo de Protección Personal
Escuadra	Se refiere a la verificación de ortogonalidad entre elementos. Es cuando se necesita que los elementos tengan exactamente 90° entre ellos.
FAW	Flux Core Arc Welding (Soldadura tipo tubular)
GMAW	Gas Metal Arc Welding (Soldadura con protección gaseosa)
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding (Soldadura con protección gaseosa y tungsteno)
HSS	Hollow Structural Section (Sección estructural hueca)
INA	Instituto Nacional de Aprendizaje
LanammeUCR	Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos de la Universidad de Costa Rica
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en energía y Diseño Ambiental)
Muestra voluntaria	
Oxicorte	Proceso de corte de acero, con base a gases (acetileno, propano, oxígeno), que se mezclan y calientan el material hasta generar una reacción química con el hierro presente en el material base. Posteriormente se aplica presión del oxígeno y desplaza el material, cortándolo. Es ampliamente utilizado en corte, ya que puede procesar materiales de gran espesor.
PJP	Partial Joint Penetration (Junta de penetración parcial)
PPI	Programa de Puntos de Inspección
PQR	Procedure Qualification Record (Registro de calificación de procedimiento)
QA	Quality Assurance
QC	Quality Control
RT	Riesgos de Trabajo
SAW	Submerged Arc Welding (Soldadura de arco sumergido)
SJI	Steel Joist Institute
SMAW	Solid Metal Arc Welding (Soldadura con electrodo revestido)
Stripe Coating	Es la aplicación extra de recubrimiento para pintar bordes, soldaduras, anclajes, perforaciones o cualquier otra zona con irregularidades en la estructura. Provee una protección extra a la corrosión, en lugares donde no se alcanza fácilmente el espesor de recubrimiento deseado.
Tortuga	Herramienta utilizada para realizar cortes rectos en láminas de acero, que posee un motor eléctrico de velocidad constante, que brinda un mejor acabado de corte. Es necesario un operario para utilizar la herramienta, por lo que se considera un proceso semi-automático.
Tubería rolada	Tubos de sección circular fabricados mediante un proceso de rolado, con base a láminas de acero
UCR	Universidad de Costa Rica
WFT	Wet Film Thickness (Espesor de película húmeda)
WPQR	Welder Procedure Qualification record (Registro de calificación de procedimiento de soldador)
WPS	Welding Procedure Specification (Especificación de procedimiento de soldadura)

Apéndice 2. Encuesta aplicada a profesionales de la Ingeniería Civil en Costa Rica

Inspección de estructuras de acero en Costa Rica

El presente cuestionario es una herramienta aplicada para la elaboración del Trabajo Final de Graduación denominado: "Metodología para inspección de estructuras de acero mediante ensayos no destructivos en Costa Rica", elaborado por el estudiante Ignacio Díaz López, de la Universidad de Costa Rica, con el fin de optar por la licenciatura en la carrera de Ingeniería Civil.

La encuesta va dirigida a profesionales graduados de la carrera de Ingeniería Civil, que esté ejerciendo la profesión actualmente, además de expertos del gremio de metalmecánica.

Agradecemos de antemano su colaboración respondiendo esta breve encuesta con el fin de tener un panorama más claro del estado actual de la inspección de estructuras de acero en Costa Rica.

La encuesta tiene una duración aproximada de 6 minutos.

***Obligatorio**

1. Correo electrónico *

Inspección de estructuras de acero en Costa Rica

Información General

2. ¿Cuántos años de experiencia tiene desarrollando actividades relacionadas con la ingeniería civil? *

3. ¿Hace cuántos años realizó su incorporación al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica? *

-
4. ¿En cuál centro de enseñanza superior estudió la carrera de Ingeniería Civil? *

Marca solo un óvalo.

- Universidad de Costa Rica
- Universidad Latina de Costa Rica
- Universidad Fidélitas
- Universidad Central
- Universidad Autónoma de Centro América (UACA)
- Prefiero no responder
- Otros: _____

Experiencia laboral

5. ¿Cuáles han sido sus áreas de desempeño laboral? Puede seleccionar varias opciones. *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Construcción
- Diseño y análisis estructural
- Transportes y carreteras
- Geotecnia
- Ingeniería ambiental
- Hidráulica e hidrología
- Investigación en ingeniería
- Inspección de obras
- Gestión de proyectos
- Otros:

6. ¿Ha realizado alguna vez inspección de estructuras de acero? *

Marca solo un óvalo.

Sí (Pasa a pregunta 8)

No (Pasa a pregunta 7)

7. ¿Por qué razón nunca ha realizado inspecciones de estructuras de acero? Puede seleccionar varias opciones.

Selecciona todas las opciones que correspondan.

No he estado involucrado/a en proyectos que lo requieran

No es mi área de desempeño laboral

No me he capacitado adecuadamente para realizar la inspección

No poseo las herramientas necesarias para realizar la

inspección No es mi área de interés

Otros: _____

8. ¿En qué etapa de la obra ha realizado la inspección? Puede seleccionar varias opciones. *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

Durante su fabricación en taller

Durante el montaje de la estructura

Estructura en servicio

Otros:

9. ¿Qué herramientas o técnicas utiliza usted para realizar la inspección de la estructura de acero? Puede seleccionar varias opciones. *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Experiencia personal
- Protocolos propios de la empresa
- Listas de verificación (check list)
- Normativa nacional o internacional
- Ensayos no destructivos
- Opinión de expertos
- Instrumentos de medición (Por ejemplo, galgas de medición)
- Ensayos destructivos
- Otros: _____

Normativa aplicable en el país

10. ¿Cuáles de las siguientes normativas ha utilizado en la inspección de estructuras de acero? Puede seleccionar varias opciones. *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 10 - Rev 14)
- Reglamento de Construcciones (versión 2018) AWS
- D1.1 Structural Welding Code - Steel (AWS)
- AWS D1.5M Bridge Welding Code (AWS)
- Steel Construction Manual (AISC)
- Steel Design Guide (AISC)
- Otros: _____

11. ¿Considera usted que la normativa nacional le brinda una guía suficiente para realizar una adecuada inspección de estructuras de acero? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

12. ¿Qué tan relevantes considera usted los siguientes insumos para realizar inspección de estructuras de acero que ya están en servicio? *

Variable	Irrelevante	Poco importante	Importante	Muy importante	Fundamental
Planos de la estructura					
Información de los fabricantes					
Antigüedad de la estructura					
Información de los materiales utilizados					

13. ¿Qué tan relevantes considera usted que son los siguientes insumos para realizar una inspección de estructuras de acero durante su fabricación en taller? *

Variable	Irrelevante	Poco importante	Importante	Muy importante	Fundamental
Planos de la estructura e información de los materiales utilizados					
Información y experiencia de los fabricantes					
Normativa aplicable					
Ensayos para el control de calidad					

Inspección de soldaduras

14. Durante el diseño estructural de una obra con elementos de acero, ¿Acostumbrarealizar el proceso de diseño de todas las soldaduras? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No
- No aplica en mi área de desempeño laboral

15. ¿Cuáles de los siguientes defectos de soldadura ha visto en inspecciones decampo? *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Falta de penetración
- Porosidad
- Fisuras o agrietamientos de los cordones
- Deformaciones
- Socavaciones del material
- Otros: _____

16. ¿Qué ensayos no destructivos ha aplicado para inspeccionar soldaduras en estructuras de acero? *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Inspección visual
- Líquidos penetrantes
- Partículas magnéticas
- Ultrasonido
- Rayos X
- Corrientes inducidas (Eddy Current)
- Otros: _____

17. ¿Conoce usted sobre la oferta de formación que existen en el país en

relación con la inspección de estructuras de acero? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

18. ¿Ha participado en alguna capacitación o curso práctico en torno a la inspección de estructuras de acero? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

19. ¿A través de qué centro de capacitación ha recibido usted conocimientos en el área de inspección de estructuras metálicas? *

Recubrimientos

20. ¿Qué método o herramienta utilizaría usted como inspector para verificar el cumplimiento de espesores mínimos de pintura en una estructura metálica?

*

21. Durante el proceso de diseño y elaboración de planos de estructuras metálicas, ¿Indica usted la aplicación de recubrimientos especiales para la protección contra incendio en elementos de acero?

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Tornillería

22. ¿Según su criterio profesional, cuándo considera usted que debe hacerse uso de tornillos de alta resistencia? *

Marca solo un óvalo.

- Siempre
- Solo en elementos que componen el sistema sismorresistente
- Otros: _____

23. Para elementos del sistema sismorresistente. ¿Qué tipo de tornillería utilizaría en las uniones? Puede seleccionar varias opciones. *

Selecciona todas las opciones que correspondan.

- Pernos A325
- Pernos A490
- Pernos A307
- Pernos Grado 5
- Pernos Grado 8
- Otros: _____

Certificación

Información sobre inspectores mediante ensayos no destructivos y de soldadores certificados.

24. ¿Cuáles requisitos solicita usted para las personas que realizan los procedimientos de soldadura?

Marca solo un óvalo.

- Certificación por ente nacional o internacional que haga constatar conocimiento de los procedimientos
- Experiencia comprobable en el área de la soldadura
- No solicito ningún requisito al soldador encargado de ejecutar la obra
- Otros: _____

25. ¿Ha utilizado alguna vez los servicios profesionales de un inspector calificado o certificado de ensayos no destructivos para inspeccionar alguna obra con elementos de acero?

Selecciona todas las opciones que correspondan.

Sí

No

Opinión personal

26. Desde su experiencia laboral, ¿Considera que la inspección y seguimiento de la calidad de fabricación de estructuras de acero en el país es adecuada? ¿Qué cambiaría de ser necesario?

iMuchas gracias!

Agradezco mucho su aporte y tiempo invertido para contestar todas las preguntas. De este proyecto de graduación se elaborará una metodología práctica para guiar a los profesionales en la inspección de estructuras de acero. En caso de estar interesado de recibir este material una vez que sea publicado, anote su correo electrónico para futuro contacto.

27. ¿Desea recibir la Guía de Inspección de Estructuras de Acero una vez que se publique?

Selecciona todas las opciones que correspondan.

Sí

No

Anote su correo electrónico para contacto de envío de la Guía de Inspección de Estructuras de Acero.

Contacto

Ignacio Díaz López

Universidad de Costa Rica

Correo: jose.diazlopez@ucr.ac.cr
ignacio@diazlopez.net

/

Celular: 8935-8531

Anexo 1. Ejemplo 1 de WPS

ANNEX N		AWS D1.1/D1.1M:2010						
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes <input type="checkbox"/> PREQUALIFIED <input type="checkbox"/> QUALIFIED BY TESTING <input type="checkbox"/> or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes <input type="checkbox"/>								
Company Name _____ Welding Process(es) _____ Supporting PQR No.(s) _____		Identification # _____ Revision _____ Date _____ By _____ Authorized by _____ Date _____ Type—Manual <input type="checkbox"/> Semiautomatic <input type="checkbox"/> Mechanized <input type="checkbox"/> Automatic <input type="checkbox"/>						
JOINT DESIGN USED Type: Single <input type="checkbox"/> Double Weld <input type="checkbox"/> Backing: Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Backing Material: _____ Root Opening _____ Root Face Dimension _____ Groove Angle: _____ Radius (J-U) _____ Back Gouging: Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Method _____		POSITION Position of Groove: _____ Fillet: _____ Vertical Progression: Up <input type="checkbox"/> Down <input type="checkbox"/>						
BASE METALS Material Spec. _____ Type or Grade _____ Thickness: Groove _____ Fillet _____ Diameter (Pipe) _____		ELECTRICAL CHARACTERISTICS Transfer Mode (GMAW) Short-Circuiting <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Spray <input type="checkbox"/> Current: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> Pulsed <input type="checkbox"/> Power Source: CC <input type="checkbox"/> CV <input type="checkbox"/> Other _____ Tungsten Electrode (GTAW) Size: _____ Type: _____						
FILLER METALS AWS Specification _____ AWS Classification _____		TECHNIQUE Stringer or Weave Bead: _____ Multi-pass or Single Pass (per side) _____ Number of Electrodes _____ Electrode Spacing Longitudinal _____ Lateral _____ Angle _____ Contact Tube to Work Distance _____ Peening _____ Interpass Cleaning: _____						
SHIELDING Flux _____ Gas _____ Composition _____ Electrode-Flux (Class) _____ Flow Rate _____ Gas Cup Size _____		POSTWELD HEAT TREATMENT Temp. _____ Time _____						
PREHEAT Preheat Temp., Min. _____ Interpass Temp., Min. _____ Max. _____								
WELDING PROCEDURE								
Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			

Form N-1 (Front)

Fuente: (American Welding Society, 2010)

Anexo 2. Ejemplo 2 de WPS

AWS D1.1/D1.1M:2010		ANNEX N						
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) Yes <input checked="" type="checkbox"/> PREQUALIFIED <input checked="" type="checkbox"/> QUALIFIED BY TESTING <input type="checkbox"/> or PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS (PQR) Yes <input type="checkbox"/>								
Company Name <u>LECO</u> Welding Process(es) <u>SAW</u> Supporting PQR No.(s) <u>Prequalified</u>		Identification # <u>W2081</u> Revision <u>2</u> Date <u>1-3-89</u> By <u>R. Jones</u> Authorized by <u>C. W. Hayes</u> Date <u>1-3-89</u> Type—Manual <input type="checkbox"/> Semiautomatic <input type="checkbox"/> Mechanized <input checked="" type="checkbox"/> Automatic <input type="checkbox"/>						
JOINT DESIGN USED Type: <u>Butt</u> Single <input checked="" type="checkbox"/> Double Weld <input type="checkbox"/> Backing: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Backing Material: <u>ASTM A 36</u> Root Opening <u>5/8"</u> Root Face Dimension <u>—</u> Groove Angle: <u>20°</u> Radius (J-U) <u>—</u> Back Gouging: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Method <u>—</u>		POSITION Position of Groove: <u>F</u> Fillet: <u>—</u> Vertical Progression: Up <input type="checkbox"/> Down <input type="checkbox"/>						
BASE METALS Material Spec. <u>ASTM A 36</u> Type or Grade <u>—</u>		ELECTRICAL CHARACTERISTICS Transfer Mode (GMAW) Short-Circuiting <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Spray <input type="checkbox"/> Current: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> Pulsed <input type="checkbox"/> Power Source: CC <input type="checkbox"/> CV <input type="checkbox"/> Other <u>—</u> Tungsten Electrode (GTAW)						
Thickness: Groove <u>1"</u> Fillet <u>—</u> Diameter (Pipe) <u>—</u>		Size: <u>—</u> Type: <u>—</u>						
FILLER METALS AWS Specification <u>A5.17</u> AWS Classification <u>EM12K</u>		TECHNIQUE Stringer or Weave Bead: <u>Stringer</u> Multi-pass or Single Pass (per side) <u>Multipass</u> Number of Electrodes <u>1</u> Electrode Spacing Longitudinal <u>—</u> Lateral <u>—</u> Angle <u>—</u> Contact Tube to Work Distance <u>1-1/4"</u> Peening <u>None</u> Interpass Cleaning: <u>slag Removed</u>						
SHIELDING Flux <u>860</u> Gas <u>—</u> Composition <u>—</u> Electrode-Flux (Class) <u>F7A2-EM12K</u> Flow Rate <u>—</u> Gas Cup Size <u>—</u>		POSTWELD HEAT TREATMENT Temp. <u>N.A.</u> Time <u>—</u>						
PREHEAT Preheat Temp., Min. <u>150°F</u> Interpass Temp., Min. <u>150°F</u> Max. <u>350°F</u>								
WELDING PROCEDURE								
Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts	Travel Speed	Joint Details
		Class	Diam.	Type & Polarity	Amps or Wire Feed Speed			
1-n	SAW	EM12K	5/32"	DC+	45 ipm 550 Amps ±10%	28 V ±7%	16 ipm ±15%	

Form N-1 (Front)

Fuente: (American Welding Society, 2010)

