

**Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**Comparación de rendimientos de construcción de naves industriales de
acero con conexiones pernadas y con conexiones soldadas**

Proyecto de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

David Osvaldo Suárez Cambroner

Director del Proyecto de Graduación:

Ing. Marcos Rodríguez Mora, M.Sc.

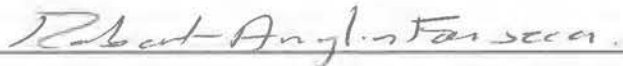
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica
Mayo, 2016

Hoja de aprobación



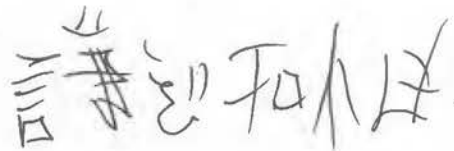
Ing. Marcos Rodríguez Mora, M.Sc.
Director del Proyecto de Graduación



Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc.
Asesor del Proyecto de Graduación



Ing. Gilbert Alvarado Ching
Asesor del Proyecto de Graduación



David Osvaldo Suárez Cambronero
Estudiante

Derechos de propiedad intelectual

Fecha: 09 de Mayo del 2016

El suscrito, David Osvaldo Suárez Cambronero, cédula 6-0374-0689, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A65672**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Comparación de rendimientos de construcción de naves industriales de acero con conexiones pernadas y con conexiones soldadas**, bajo la Dirección del **Ing. Marcos Rodríguez Mora, M.Sc.**, quien 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 esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

A Dios por permitirme concluir con éxito uno de mis sueños.

A familia y a mis padres quienes siempre me han dado lo mejor sacrificando incondicionalmente su tiempo y recursos para inculcarme a mí y a mis hermanos valores, principios y enseñanzas. Por darme lo más importante que un hijo puede recibir, amor y un ejemplo a seguir de sus padres. Este logro es tan mío como de ustedes.

Agradecimientos

Mis sinceros agradecimientos a los miembros de mi comité asesor, al Ing. Marcos Rodríguez Mora e Ing. Robert Anglin Fonseca por su guía académica, enseñanzas y consejos para el desarrollo de la presente investigación. Además, deseo expresar mi profundo agradecimiento al Ing. Gilbert Alvarado Ching por su guía en esta investigación así como en mi formación laboral y profesional.

Finalmente, un agradecimiento a la empresa Servicios Estructurales SERVES S.A. especialmente al Arq. Arnaldo Ramírez, por sus explicaciones y por el suministro de datos y planos fundamentales en el desarrollo de esta investigación; así como un agradecimiento a la empresa Consultora Estructural CEGA S.A. por la colaboración con información importante acerca de los prototipos investigados.

Suárez Cambronero, David Osvaldo.

Comparación de rendimientos de construcción de naves industriales de acero con conexiones pernadas y con conexiones soldadas

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.:

D. O. Suárez C., 2016

V,87, [32]h; ils. col – 13 refs.

RESUMEN

En este proyecto se estudia el efecto en los rendimientos de construcción en naves industriales de acero según el tipo de conexiones utilizadas para su construcción (pernadas o soldadas). Se realiza una recopilación de datos para un prototipo de estructura con conexiones soldadas, y el prototipo análogo con conexiones pernadas. Para el prototipo pernado se realizan mediciones en taller y campo en un proyecto de 1760 m² en Puriscal, San José de Costa Rica. En el caso de la versión con conexiones soldadas se utilizan los registros de rendimientos y duraciones de una compañía constructora con amplia experiencia en ambos prototipos. Como parte del trabajo se desarrollan plantillas de rendimientos típicas para cada una de las 14 actividades que componen la construcción de las estructuras las cuales son una herramienta fundamental para la recopilación y procesamiento de datos.

Se despeja la hipótesis de que para el prototipo con conexiones pernadas requiere un tiempo de construcción menor, sin embargo se determina que se requiere mayor cantidad de material para su desarrollo, diferencial que es estimado en este proyecto.

Se generan indicadores de rendimientos en términos de kilogramos de acero requeridos por metro cuadrado de estructura para cada sistema de conexiones, así como rendimientos en días de construcción por metro cuadrado de estructura para cada prototipo. Estos indicadores podrán ser utilizados en análisis económicos o bien podrán ser comparados con indicadores similares en estructuras de igual tipología pero con diferentes dimensiones.

RENDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN; NAVES INDUSTRIALES DE ACERO; CONEXIONES PERNADAS; CONEXIONES SOLDADAS

Ing. Marcos Rodríguez Mora, M.Sc.
Escuela de Ingeniería Civil

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS	X
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación	1
1.1.1. El problema específico	1
1.1.2. Importancia	4
1.2. Antecedentes teóricos y prácticos del problema.....	6
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Delimitación del problema	7
1.4.1. Alcances	7
1.4.2. Limitaciones	10
1.5. Metodología	11
1.5.1. Fase teórica	12
1.5.2. Fase de estimación de cantidades.....	12
1.5.3. Fase de medición de rendimientos en campo y en taller	13
1.5.4. Fase de análisis y recomendaciones	13
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	14
2.1. Planificación de operaciones.....	14
2.1.1. Tipos de planes operacionales	17
2.1.2. Análisis de procesos.....	18
2.1.3. Condiciones del entorno de proyectos	20
2.2. Tipos de costos de la obra.....	20
2.2.1. Costos directos	20
2.2.2. Costos indirectos	21
2.3. Tipos de estimación de costos	21
2.3.1. Estimación conceptual.....	21
2.3.2. Estimación preliminar	21
2.3.3. Estimación detallada	21
2.3.4. Métodos de estimación de costos de mano de obra	22
2.3.5. Método de costos unitarios por actividad.....	22
2.3.6. Método de horas hombre por unidad de trabajo	22
2.3.7. Métodos para obtener rendimientos de mano de obra.....	22
2.3.8. Método de tiquetes de trabajo.....	22
2.3.9. Método de medición de ciclos no repetitivos	22
2.3.10. Método de medición de ciclos repetitivos.....	23
2.3.11. Método de muestreo de trabajo.....	23

2.4.	Factores que afectan la mano de obra	23
2.5.	Tipos de conexiones en estructuras de acero.....	24
2.5.1.	Conexiones pernadas	24
2.5.2.	Conexiones soldadas.....	26
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA Y ORIGEN DE DATOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS		30
3.1.	Procedencia de datos utilizados	30
3.1.1.	Datos del prototipo con conexiones soldadas	30
3.1.2	Datos del prototipo con conexiones pernadas	31
3.2.	Procedimiento constructivo de la estructura.....	31
3.2.1	Procedimiento en taller.....	32
3.2.2.	Procedimiento constructivo en sitio de la obra.....	35
CAPÍTULO 4: ESTIMACIÓN DE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS EN ETAPA DE FABRICACIÓN EN TALLER.....		45
4.1.	Estimación de materiales.....	45
4.1.1.	Metodología de estimación	45
4.1.2.	Cantidades de materiales según prototipo	45
4.2.	Medición de mano de obra en taller	47
	La medición de mano de obra se realizó mediante el uso de plantillas específicamente desarrolladas según el tipo de actividad a ser evaluada.....	47
4.2.1.	Metodología de medición	47
4.2.2.	Cantidades de mano de obra según prototipo	47
4.3.	Medición de equipos requeridos en taller	49
4.3.1.	Descripción de equipos requeridos en taller para ambos prototipos	49
4.3.2.	Cantidades de equipos para ambos prototipos	50
4.4.	Comparación de resultados entre prototipos en etapa de construcción en taller	52
4.4.1.	Comparación de materiales requeridos	52
4.4.2.	Comparación de tiempos de construcción entre ambos prototipos	53
4.4.3.	Comparación de equipos requeridos para cada prototipo	55
CAPÍTULO 5: ESTIMACIÓN DE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS EN ETAPA DE MONTAJE EN SITIO		56
5.1.	Estimación de materiales en campo	56
5.1.1.	Metodología de estimación en sitio de montaje	56
5.1.2.	Cantidades de materiales según prototipo	56
5.2.	Medición de mano de obra en campo.....	57
5.2.1.	Metodología de medición	57
5.2.2.	Cantidades de mano de obra según pieza y prototipo.....	58
5.3.	Medición de equipos requeridos en campo	70
5.3.1.	Metodología de medición	70
5.3.2.	Cantidades de equipos según prototipo	70

CAPÍTULO 6: COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
6.1. Comparación de rendimientos de material y equipos según prototipo	73
6.1.1. Comparación de rendimientos de materiales y equipos según prototipo en etapa de taller	73
6.1.2. Comparación de rendimientos de materiales y equipos según prototipo en etapa de campo	75
6.2. Tiempos de construcción según prototipo	80
6.2.1. Comparación de cronogramas en etapa de taller para ambos prototipos	80
6.2.2. Comparación de cronogramas en etapa de campo para ambos prototipos	81
6.3. Diferencias entre rendimientos de construcción para ambos prototipos	83
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
7.1. Conclusiones	85
7.2. Recomendaciones	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
APÉNDICE A	90
APÉNDICE B: DESGLOSE ESTIMACIÓN DE PESOS DE PIEZAS SEGÚN COMPONENTES	91
APÉNDICE C: PLANTILLA PARA REGISTRO DE RENDIMIENTOS EN TALLER PROTOTIPO PERNADO	97
APÉNDICE D: EJEMPLOS DE PLANTILLAS PARA REGISTRO DE RENDIMIENTOS EN CAMPO PROTOTIPO PERNADO	98
APÉNDICE E: DESGLOSE TIEMPOS DE INSTALACIÓN DE PIEZAS PARA PROTOTIPO PERNADO ..	100
APÉNDICE F: PLANTILLA PARA MEDICIÓN DE EQUIPOS EN CAMPO	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Prototipo de estructura pernada en Puriscal, San José, Costa Rica.	3
Figura 1.2. Ubicación geográfica del proyecto.	8
Figura 1.3. Estructura soldada construida en el año 2011 localizada en Orotina, Alajuela, Costa Rica.	9
Figura 1.4. Estructura soldada construida en el año 2012 localizada en Desamparados, San José, Costa Rica.	10
Figura 1.5. Metodología del proyecto.	11
Figura 2.1. Planificación de operaciones.	15
Figura 2.2. Relación entre factores y objetivos en una operación.	16
Figura 2.3. Ejemplos de conexiones pernadas en naves industriales de acero.	25
Figura 2.4. Pistola de impacto neumática marca "Chicago Pneumatic", modelo CP 897.	26
Figura 2.5. Ejemplos de soldaduras de tipo filete.	27
Figura 2.6. Geometría de soldadura de penetración completa.	28
Figura 2.7. Procedimiento de pruebas con líquidos penetrantes en soldaduras.	29
Figura 3.1. Presentación de la pieza tipo columna en estructura con conexiones pernadas.	33
Figura 3.2. Proceso de soldado de columna en etapa de taller estructura con conexiones pernadas.	34
Figura 3.3. Diagrama de proceso constructivo en taller.	35
Figura 3.4. Instalación de columnas principales proyecto en Puriscal, San José.	35
Figura 3.5. Instalación de vigas de amarre superiores proyecto en Puriscal, San José.	36
Figura 3.6. Colocación de vigas principales proyecto en Puriscal, San José.	37
Figura 3.7. Colocación de vigas de amarre entre marcos proyecto en Puriscal, San José.	38
Figura 3.8. Instalación de tensores de techo proyecto en Puriscal, San José.	38
Figura 3.9. Instalación de clavadores de techo proyecto en Puriscal, San José.	39
Figura 3.10. Instalación de cinchas entre clavadores proyecto en Puriscal, San José.	40
Figura 3.11. Instalación de vigas de amarre tipo soleras longitudinales proyecto en Puriscal, San José.	40
Figura 3.12. Instalación de columnas secundarias proyecto en Puriscal, San José.	41
Figura 3.13. Instalación de tensores de pared longitudinales proyecto en Puriscal, San José.	42
Figura 3.14. Instalación de vigas de amarre soleras transversales proyecto en Puriscal, San José.	42
Figura 3.15. Instalación de tensores de pared transversales proyecto en Puriscal, San José.	43
Figura 3.16. Instalación de bracones de pared proyecto en Puriscal, San José.	43
Figura 3.17. Instalación de bracones de techo proyecto en Puriscal, San José.	44
Figura 5.1 Apuntalamiento en marcos de prototipo soldado en Desamparados, San José Costa Rica.	57
Figura 5.2 Instalación de columnas principales proyecto en Puriscal, San José.	58
Figura 5.3 Instalación de vigas principales.	59

Figura 5.4 Instalación de tensores de techo en tubo	61
Figura 5.5 Instalación de cinchas entre clavadores.....	62
Figura 5.6 Instalación de tensores de pared en marcos longitudinales.....	64
Figura 5.7 Instalación de bracones de pared	65
Figura 5.8 Cronograma etapa de campo prototipo pernado, duración total 23 días	69
Figura 5.9 Figura: Cronograma etapa de campo prototipo soldado, duración total 39 días.....	69
Figura 6.1. Comparación entre cronogramas etapa de taller estructura con conexiones pernadas y soldadas.	80
Figura 6.2. Comparación entre cronogramas etapa de construcción en sitio estructura con conexiones pernadas y soldadas.	81
Figura 6.3. Comparación general entre cronogramas de estructura con conexiones pernadas y soldadas	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1. Peso de piezas prototipo soldado.....	46
Cuadro 4.2. Equipos utilizados en la construcción de la estructura en etapa de taller	50
Cuadro 5.1. Materiales requeridos en sitio según prototipo.....	56
Cuadro 5.2. Duraciones por piezas colocación de columnas principales	58
Cuadro 5.3. Duraciones colocación de vigas de amarre entre columnas	59
Cuadro 5.4. Duraciones por piezas colocación vigas principales	59
Cuadro 5.5. Duraciones por pieza colocación vigas de amarre entre marcos.....	60
Cuadro 5.6. Duraciones por piezas tensores de techo en sección tubular	60
Cuadro 5.7. Duración promedio colocación de clavadores.....	60
Cuadro 5.8. Duraciones por pieza colocación de cinchas	61
Cuadro 5.9. Duraciones colocación de vigas de amarre longitudinales a 2,5 s.n.p.t.	62
Cuadro 5.10. Duraciones por pieza colocación de columnas secundarias	63
Cuadro 5.11. Duraciones colocación de tensores de pared en marcos longitudinales.....	63
Cuadro 5.12. Duraciones por pieza colocación de vigas a 2,5 metros sobre el nivel de piso de la nave en marcos transversales.....	64
Cuadro 5.13. Duraciones colocación de tensores de pared en marcos transversales.....	65
Cuadro 5.14. Duraciones por pieza colocación de bracones en paredes	65
Cuadro 5.15. Duraciones por pieza colocación de bracones en paredes	66
Cuadro 6.1. Comparación de equipos entre prototipos de estructura	74
Cuadro 6.2. Comparación de tiempos de construcción para cada prototipo.....	75
Cuadro 6.3. Resumen de rendimientos de construcción en campo para cada prototipo (cont.)	76
Cuadro 6.4. Resumen de rendimientos de construcción en campo para cada prototipo (cont.)	77
Cuadro 6.5. Resumen de rendimientos de construcción en campo para cada prototipo (cont.)	78

Cuadro 6.6. Resumen de rendimientos de construcción para el montaje en sitio de cada prototipo	79
Cuadro 6.7. Comparación de rendimientos de construcción entre ambos prototipos	83
Cuadro 6.8. Comparación de tiempos y materiales totales requeridos para ambos prototipos	83
Cuadro 6.9. Comparación general de rendimientos entre ambos prototipos.....	84

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El presente capítulo describe una problemática en la estimación de costos y tiempos de construcción para estructuras tipo nave industrial en acero en función del tipo de uniones pernadas o soldadas que se utilicen.

1.1. Justificación

Dada la incertidumbre existente se justifica la realización estudios para determinar la influencia del tipo de conexiones en los rendimientos constructivos. La problemática tratada en este estudio y su importancia se describe a continuación.

1.1.1. El problema específico

La construcción en acero se ha convertido en una alternativa cada vez más utilizada en el desarrollo de todo tipo de proyectos. Especialmente en el área industrial, se opta por utilizar este material en la fabricación de naves industriales debido a las facilidades constructivas y tiempos de construcción.

En todo proyecto de construcción la economía es parte fundamental por lo que la optimización de los recursos se torna clave para desarrollar exitosamente la obra, es por ello que la búsqueda de eficiencia en cuanto a costos y tiempos de ejecución es una prioridad en el diseño, planificación y desarrollo de los proyectos.

Las prácticas usuales a nivel nacional presentan dos tendencias en cuanto a los procesos constructivos de las estructuras tipo naves industriales en acero, las cuales generan ciertas ventajas y desventajas comparativas entre ambas. La primer tendencia consiste en construir en taller los componentes básicos de la estructura (columnas, vigas, entre otras), y posteriormente unir estos componentes en sitio empleando un proceso de soldadura en campo (prototipo soldado). Según planos de la estructura se determina que un 85 % de las conexiones en campo de este sistema son soldadas. La segunda tendencia en la fabricación de estas estructuras consiste en construir los componentes básicos en taller y previendo la construcción de placas adicionales para realizar las uniones pernadas en campo (prototipo pernado) reduciendo la cantidad de soldadura en el sitio de montaje. Basado en el estudio de los planos de la estructura se estima que un 21 % de las conexiones en campo de este prototipo son soldadas, el restante porcentaje se realiza mediante conexiones pernadas.

Ambos prototipos requieren equipos, materiales y mano de obra distintos por lo que se genera un diferencial en las eficiencias relativas de cada sistema que en la actualidad no han sido cuantificadas en un estudio técnico que contemple todas las variables y determine cuál de ambos sistemas representa mayor eficiencia en dos aspectos: costos de construcción y tiempos de construcción.

El enfoque industrial de proyectos que utilizan este tipo de estructuras requiere no solo de eficiencia en los costos (recursos invertidos / recursos programados), sino también en los tiempos de construcción, así que la realización de un estudio técnico que permita evaluar ambos sistemas en estos aspectos económicos, se vuelve fundamental para mejorar y estandarizar la eficiencia de este tipo de estructuras.

Las empresas enfocadas en la construcción de naves industriales en acero se enfrentan a la incertidumbre de cuál sistema ofrece mejores condiciones de costos contra cuál ofrece menores tiempos de construcción, o si en dado caso alguno de ellos presenta mayor eficiencia en ambos aspectos. Esta problemática ocasiona que el criterio de elección de las estructuras sea parcialmente empírico al no tener sustento técnico de cuál tipología de conexiones genera menores costos y cuál requiere de plazos más cortos de construcción.

Paralelamente, el tamaño de ambas tipologías es equivalente, ya que únicamente se varía el sistema de conexiones manteniendo sus dimensiones constantes.

Ante la incertidumbre actual en la eficiencia de ambos sistemas, se realiza un estudio técnico detallado que demuestra cuál de ambos sistemas requiere de menor cantidad de insumos, y cuál sistema requiere un menor tiempo de construcción de la estructura principal en acero, manteniendo constante el prototipo de nave industrial y variando el tipo de conexiones de la estructura metálica principal, esclareciendo la influencia del sistema de conexiones en la eficiencia de las estructuras tipo nave industrial de acero.

La incertidumbre en cuanto a qué sistema es propicio según las limitantes del proyecto (costos o tiempos de construcción), puede generar gastos innecesarios o inclusive puede calificar al proyecto como no rentable, ya que el costo de la estructura metálica principal ronda entre el 20 % a 30 % del costo total de proyectos de enfoque comercial con infraestructura de tipo naves industriales, lo anterior según datos de empresa de consultoría estructural que colaboró en este proyecto.

Este proyecto aporta como solución al problema específico una estimación de la influencia del tipo de conexiones del sistema estructural principal en el costo y tiempos de construcción de naves industriales en acero. La investigación consiste en la evaluación de dos escenarios distintos para la construcción de un mismo prototipo arquitectónico de nave industrial descritos a continuación:

Prototipo pernado: El sistema consiste en el prototipo de nave industrial definido para la investigación utilizando aproximadamente un 79 % de sus conexiones pernadas en campo, y un restante 21 % soldadas, las cuales corresponden a conexiones de elementos que no se encuentran en ruta crítica de la estructura y que son soldadas por facilidades constructivas.

Prototipo soldado: El sistema soldado se conforma por el prototipo de nave industrial definido para la investigación con aproximadamente un 85 % de sus conexiones soldadas en campo y un 15 % de conexiones pernadas.

Una vez estimados los rendimientos de forma independiente de cada uno de los sistemas para la estructura, se define la influencia de cada tipología de conexiones en los costos y tiempos de construcción, con un análisis económico detallado de materiales, equipos y mano de obra requeridos, lo que permite comparar en términos económicos equivalentes los sistemas pernado y soldado.



Figura 1.1. Prototipo de estructura pernada en Puriscal, San José, Costa Rica.

1.1.2. Importancia

La construcción de estructuras en acero es una alternativa constantemente utilizada, ya que representa una opción segura y rápida para la edificación. Normalmente el factor económico es trascendental para el desarrollo de proyectos, especialmente en el área industrial, es por ello que la ingeniería de valor puede propiciar el desarrollo de gran cantidad de proyectos productivos que contribuyan al avance y estabilidad económica del país.

Según la empresa de consultoría estructural que colaboró en este estudio los análisis económicos de factibilidad de proyectos contienen dos aspectos de vital importancia, la inversión inicial y el tiempo en que la inversión genera ingresos; ambos están vinculados a la infraestructura del proyecto. Ante esto la ingeniería de valor debe ofrecer una respuesta eficaz e inmediata para evolucionar las condiciones de los proyectos de tal forma que se maximice el provecho de los recursos y se reduzcan los tiempos de construcción de la infraestructura.

El área industrial requiere de una infraestructura adaptada a sus necesidades, y por ende se han desarrollado **prototipos básicos de estructuras, tal es el caso de las “naves industriales”**.

En el país una importante cantidad de naves industriales se construyen utilizando acero como principal material, esto según la empresa constructora que apoyó el presente estudio, la cual cuenta con más de 20 años de experiencia. Se han realizado importantes avances para mejorar la eficiencia de marcos de acero, largueros y otros componentes, sin embargo, existe un punto importante que aún no ha sido esclarecido totalmente y consiste en identificar la influencia del sistema de conexiones (soldadas o pernadas) en el costo y tiempos de construcción de naves industriales.

Ante esto, se analizó la influencia del sistema de conexiones en los costos de las estructuras tipo naves industriales en acero, evaluando dos sistemas distintos para la configuración de las conexiones de la estructura principal, opciones con capacidades de resistencia equivalentes, las cuales son estudiadas en condiciones equivalentes. Este análisis define cuál opción requiere una menor inversión monetaria, y cuál opción requiere mayores plazos de ejecución para la estructura principal. Los hallazgos pueden tener una gran importancia en la economía de la construcción de naves industriales en acero.

Anualmente en el país se construyen gran cantidad estructuras tipo nave industrial. En el presente estudio se utiliza un prototipo muy utilizado como objeto de análisis del impacto del sistema de conexiones. Se espera que los hallazgos sean aplicables a sistemas análogos de un nivel con claros y separación de marcos similares en donde se varíe la longitud total de la estructura.

La contribución a la economía de los proyectos de naves industriales en acero justifica que se haya realizado una investigación detallada que determine la influencia del tipo de conexiones, comparando dos tipologías de conexiones en términos de costos económicos y tiempos de ejecución. Esta investigación implica la identificación de un prototipo general de estructura, posteriormente la estimación detallada de los materiales, equipos y mano de obra requeridos para la construcción de la estructura principal, para finalmente calcular el costo de cada sistema según el tipo de conexiones que se utilicen, además los tiempos necesarios para el desarrollo de cada sistema.

Al analizar opciones alternas evaluando su rendimiento estructural en kilogramos de acero requeridos por metro cuadrado de construcción y además su rendimiento en tiempo, se genera un aporte de ingeniería de valor a los proyectos explorando posibilidades en busca de la opción más económica capaz de satisfacer los requerimientos operacionales y funcionales de la edificación.

Desde el punto de vista de los diseñadores estructurales, constructores así como de los propietarios, la investigación realizada tiene una enorme importancia y representa el punto de confluencia de los intereses de todas las partes que en común buscan la optimización de los recursos.

El desarrollo de la investigación se enfocó a la ingeniería de valor, combinando una fase de estimación detallada de materiales, equipos y mano de obra para finalmente determinar la influencia del tipo de conexiones en los costos y tiempos de construcción, produciendo una serie de recomendaciones con fundamento científico y enfocada a la optimización de los sistemas estructurales tipo naves industriales, lo que representa un parámetro de eficiencia económica como referencia para los proyectos de tipología similar a prototipo analizado.

1.2. Antecedentes teóricos y prácticos del problema

La experiencia adquirida en el pasado ha llevado a mejorar la configuración de las estructuras de tipo nave industrial. Se han realizado investigaciones para evaluar las prácticas constructivas según las recomendaciones y normativas para el diseño de estructuras tipo nave industrial, tal es el caso de Mario Jiménez Arias, que en su Trabajo Final de Graduación en julio de 1995, evalúa la construcción de estructuras de acero en viviendas y naves industriales. En este trabajo se determinó el estado de desconocimiento en ese momento por la mayoría de profesionales en el diseño de estructuras de acero. No se determinó la influencia económica de las conexiones en el costo general de las obras de tipo nave industrial.

Actualmente no se ha identificado en el medio nacional un estudio que determine la influencia del sistema de conexiones de la estructura principal en el costo y tiempo de construcción de las naves industriales. Esta es una problemática presente en este tipo de proyectos que no ha sido aclarada mediante un estudio técnico detallado.

En el área de investigación en Costa Rica se destacan trabajos de graduación de estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. A continuación se describen algunos de los trabajos con mayor relevancia y relación con el estudio de la influencia del sistema de conexiones en la estructura principal.

David Ugalde Bedoya en su trabajo final de graduación para obtener el grado de ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica en 2008, realizó un estudio para optimizar los marcos de acero y largueros en naves industriales. En este proyecto se determinó la influencia de la configuración arquitectónica de los marcos en el peso requerido de largueros de techo, sin variar el sistema de conexiones de los marcos.

En el año 2013 Freddy Hidalgo en su trabajo final de graduación de ingeniería civil en la Universidad de Costa Rica, analizó la productividad de la mano de obra en la construcción de un proyecto industrial con una estructura tipo nave industrial en Tres Ríos de Cartago. Dicha investigación se centralizó en este proyecto en específico sin realizar algún tipo de medición de la influencia del sistema de conexiones de la estructura metálica de la nave.

En la investigación previa realizada para la elaboración de este estudio no se detectó ningún trabajo técnico que defina la importancia del sistema de conexiones de la

estructura metálica principal en el costo y tiempos de construcción de estructuras de tipo nave industrial, es por ello que este trabajo suministra una respuesta con sustento técnico acerca de la interrogante del desempeño de cada tipo de sistema según sus conexiones, criterios que se espera serán de aplicación en el medio nacional e internacional.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Comparar los rendimientos y tiempos de construcción de la estructura metálica principal entre naves de acero con conexiones pernadas (prototipo pernado) y con conexiones soldadas (prototipo soldado).

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir un tipo general de estructura metálica típica para realizar el análisis de rendimientos y tiempos de construcción.
- Estimar los rendimientos en materiales, mano de obra y tiempos de construcción tanto para la estructura metálica del prototipo pernado (naves industriales con conexiones prefabricadas en taller y pernadas en sitio), como para la estructura metálica del prototipo soldado (naves industriales con conexiones soldadas en sitio).
- Comparar los rendimientos de materiales, mano de obra y tiempos de construcción de los prototipos pernados y soldados para determinar cuál de los sistemas presenta una mayor eficiencia.
- Analizar y recomendar los tipos de proyectos en que es adecuado utilizar el sistema pernado y el sistema soldado.

1.4. Delimitación del problema

1.4.1. Alcances

El alcance del proyecto corresponde al estudio de un prototipo definido de nave industrial. Las dimensiones del prototipo corresponde a una estructura típica para nave industrial según la compañía de consultoría estructural consultada, la cual posee un área de 1766.7 m² con un largo de 49.68 m y un ancho de 35.56 m. la altura al centro de los marcos es

de 6.8 m con una altura en columnas de 5.12 m, ambos sobre el nivel de piso terminado. La estructura cuenta con 9 marcos transversales colocados a cada 6.18 m centro a centro. Se cuantifican los requerimientos de materiales, equipos, mano de obra y tiempos de construcción de dos versiones distintas del prototipo de estructura, variando la configuración de las conexiones, prefabricadas en taller y pernadas en sitio (Prototipo pernado) y por otro lado una estructura con conexiones soldadas en sitio (Prototipo soldado), realizando un presupuesto detallado de ambos y comparándolos en términos equivalentes.

El alcance geográfico de las mediciones consiste en realizar levantamiento de rendimientos en un proyecto ubicado en Puriscal, San José, Costa Rica.



Figura 1.2. Ubicación geográfica del proyecto.

Fuente: Google Earth (2016), (modificado con autor).

El estudio contabiliza únicamente los componentes de estructura metálica principal, vigas principales, columnas, vigas laterales, clavadores, conexiones, y componentes estructurales como rigidizadores, bracones, tensores de techo y laterales.

No se consideró ningún tipo de estructura secundaria como retículas para cerramientos laterales, ni estructuras de soporte para cerramientos de fachadas ya que representa un

enfoque particular arquitectónico que varía de un uso a otro además estas estructuras secundarias no afectan los resultados de la investigación basada en la estructura primaria.

Las condiciones climáticas supuestas en el estudio son óptimas, no se considera ningún tipo de retraso por imprevistos ambientales, climáticos o naturales, ni por días no laborables, además se considerará que el terreno y las fundaciones se encuentran listas para la construcción de la estructura metálica principal. En el caso de la estructura con conexiones soldadas se tiene una mayor vulnerabilidad a atrasos por lluvia, por lo tanto, al considerar época seca en el análisis se utiliza el escenario más conservador para el estudio que busca el análisis de las ventajas comparativas del sistema de conexiones pernadas.

El estudio se realizó en un caso donde se tendrá un escenario constante variando únicamente los sistemas de conexiones y determinando la influencia de esta variación en la economía de la estructura.

Para el prototipo soldado se utilizan datos de los registros históricos de la compañía constructora que colaboró en el estudio, empresa con amplia experiencia en ambos sistemas. Las mediciones realizadas se efectúan tanto en taller como en campo para un proyecto en Puriscal, San José, Costa Rica, a cargo de la misma empresa constructora llevado a cabo entre los meses de julio y agosto del año 2015.



Figura 1.3. Estructura soldada construida en el año 2011 localizada en Orotina, Alajuela, Costa Rica.

1.4.2. Limitaciones

El proyecto se limita a un prototipo de nave industrial en acero, definiendo como constantes parámetros arquitectónicos como las dimensiones en altura, las dimensiones en planta y la separación entre marcos.

Otra limitación consiste en que al realizarse las mediciones en un único proyecto de prototipo pernado no se tendrán valores de una muestra estadísticamente significativa, por lo que no se podrá dar conclusiones significativas al género de estructuras tipo nave industrial en acero, requiriendo de estudios de graduación posteriores donde se amplíe la muestra estadística y se incluyan formatos arquitectónicos distintos.

En la actualidad la construcción de prototipos soldados no se desarrolla por parte de la empresa constructora, ya que hipotéticamente se considera que la versión pernada presenta mejores condiciones, así que los datos utilizados para el prototipo soldado están limitados a registros históricos de las empresas constructoras. En el caso de esta investigación se utilizaron datos de la empresa constructora especializada en la construcción de estructuras metálicas.



Figura 1.4. Estructura soldada construida en el año 2012 localizada en Desamparados, San José, Costa Rica.

1.5. Metodología

La metodología utilizada para la elaboración del estudio se muestra en la siguiente figura.

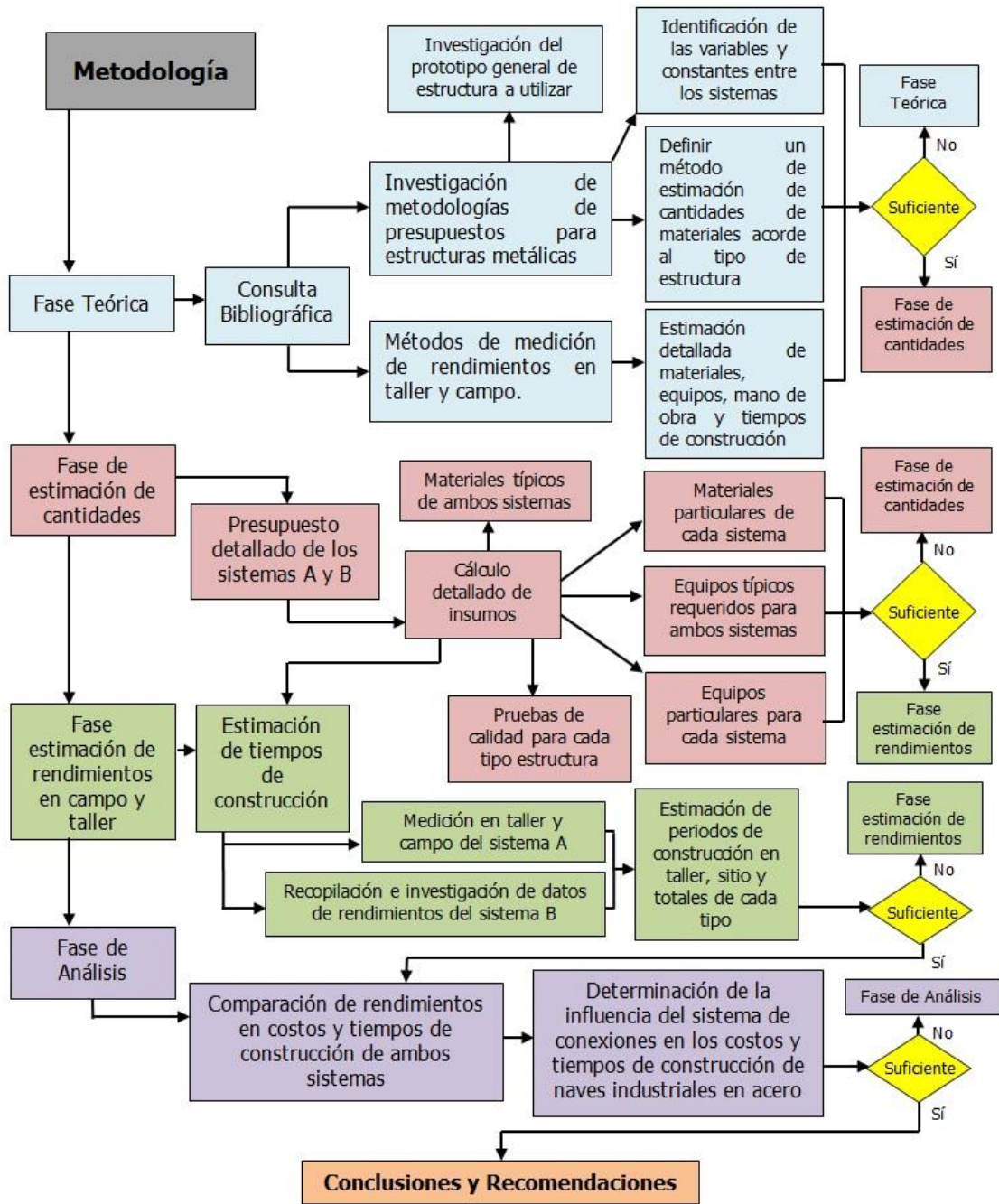


Figura 1.5. Metodología del proyecto.

1.5.1. Fase teórica

En esta etapa se investigó sobre las diferentes metodologías para la realización de presupuestos detallados. Para esto, se investigó las fuentes de consulta para obtener información sobre las metodologías aplicables a este tipo de estructuras en acero. Además, se utilizaron las recomendaciones de la empresa constructora de estructuras de acero, la cual cuenta con una amplia experiencia en la construcción de proyectos similares a la estructura analizada. Esta fase permitió recopilar todos los parámetros importantes para la estimación detallada de materiales, equipos y mano de obra requeridos para la construcción del prototipo de estructura en estudio.

Particularmente la investigación se centralizó en los métodos de estimación de materiales, equipos y mano de obra aplicables a estructuras de acero. En esta etapa se confeccionaron las plantillas de medición de rendimientos que fueron utilizadas en las distintas mediciones de las actividades.

Paralelamente se investigó y definió el prototipo arquitectónico y estructural comúnmente utilizado en naves industriales enfocadas a uso comercial. Para la definición del sistema se consultó a la compañía de diseño estructural.

1.5.2. Fase de estimación de cantidades

La fase de estimación de cantidades inició con la identificación de materiales; placas de acero, soldaduras, pernos, entre otras. Paralelamente se identificaron los equipos requeridos para ambos sistemas en común así como para cada sistema en particular. Una vez definidos los rubros aplicables se definió la forma óptima de medir cada parámetro.

Los materiales de ambos prototipos fueron cuantificados a partir de los planos de taller suministrados por la empresa constructora quien a su vez obtuvo los planos constructivos del propietario y confeccionados por la empresa de diseño estructural.

Para cuantificar los requerimientos de equipos se estudiaron los procesos de construcción en taller e instalación en campo de ambos sistemas acorde a la metodología constructiva de la compañía constructora. Para el prototipo con conexiones soldadas se utilizaron datos de esta empresa de proyectos anteriores, dichos datos han sido generados en el desarrollo de más de 20 años de la empresa en proyectos análogos. Para el prototipo perrado se realizan mediciones en el desarrollo de un proyecto en Puriscal, San José, Costa Rica. Se realizaron visitas al taller de la empresa en la Lima de Cartago entre los

meses de junio y julio del año 2015, así como al sitio del proyecto entre los meses de julio y agosto del mismo año, aplicando las metodologías de estimación de rendimientos de equipos.

1.5.3. Fase de medición de rendimientos en campo y en taller

Para la medición de rendimientos de mano de obra se realizaron visitas tanto al taller de la empresa constructora como al sitio de montaje de la estructura. La empresa aportó datos de proyectos similares realizados. Según los requerimientos, se definieron los tipos de mano de obra; horas soldador, horas operario de equipo especial, horas ayudante, entre otras.

El producto que se obtuvo de esta fase es un tiempo de ejecución para las actividades en taller y en campo. Basado en las duraciones de las actividades se determinó para cada uno de los prototipos un tiempo de construcción el cual se compara en el capítulo 5.

1.5.4. Fase de análisis y recomendaciones

En la fase final de análisis se realiza una comparación en términos de costos y tiempos de construcción para cada sistema, tomando en cuenta el comportamiento del rendimiento en kilogramos acero por metro cuadrado de estructura (kg/m^2), días de construcción requeridos por metro cuadrado de construcción ($\text{días constructivos/m}^2$), indicadores obtenidos para ambos prototipos pernado y soldado considerando los componentes de la estructura principal.

El producto de esta comparación en términos económicos equivalentes es la estimación de la influencia del sistema de conexiones de la estructura metálica principal de naves industriales en los costos y tiempos de ejecución de obras de tipo nave industrial en acero. De esta forma se sustenta técnicamente una serie de recomendaciones según el alcance económico y tiempos disponibles para el desarrollo de proyectos industriales.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

El marco teórico presenta una revisión de los conceptos generales pertinentes a la investigación, incluyendo un análisis de planificación de operaciones bajo el concepto de línea de producción aplicado a la construcción e instalación típica de estructuras metálicas tipo nave industrial investigadas en este trabajo.

2.1. Planificación de operaciones

Según Serpell (2002), una operación es aquella actividad de trabajo que resulta en elaboración e instalación de un elemento definible de construcción, para lo cual se requieren algunos procesos tecnológicos y se sigue una estructura de tareas asignadas. Los procesos pueden ser clasificados en función del flujo de tareas que se realizan o el pedido.

1. Según el flujo:

- Lineal o en serie
- Intermitente o por estaciones de trabajo
- Por proyecto o producto único

2. Según el tipo de pedido

- Por pedido: es una respuesta a las necesidades de un cliente
- Por inventario: se solicitan cantidades de un producto que se requieren a medida en que son demandados

Ambos casos de procesos pueden mezclarse dependiendo de la tipología del proyecto específico.

Para lograr ejecutar operaciones eficientes se requiere que los administradores del proyecto tengan participación desde la etapa inicial en la planificación del proyecto, logrando que sus decisiones a nivel operacional sean tomadas con una visión más integral. La siguiente figura presenta la secuencia básica de la planificación de operaciones según Serpell (2002).

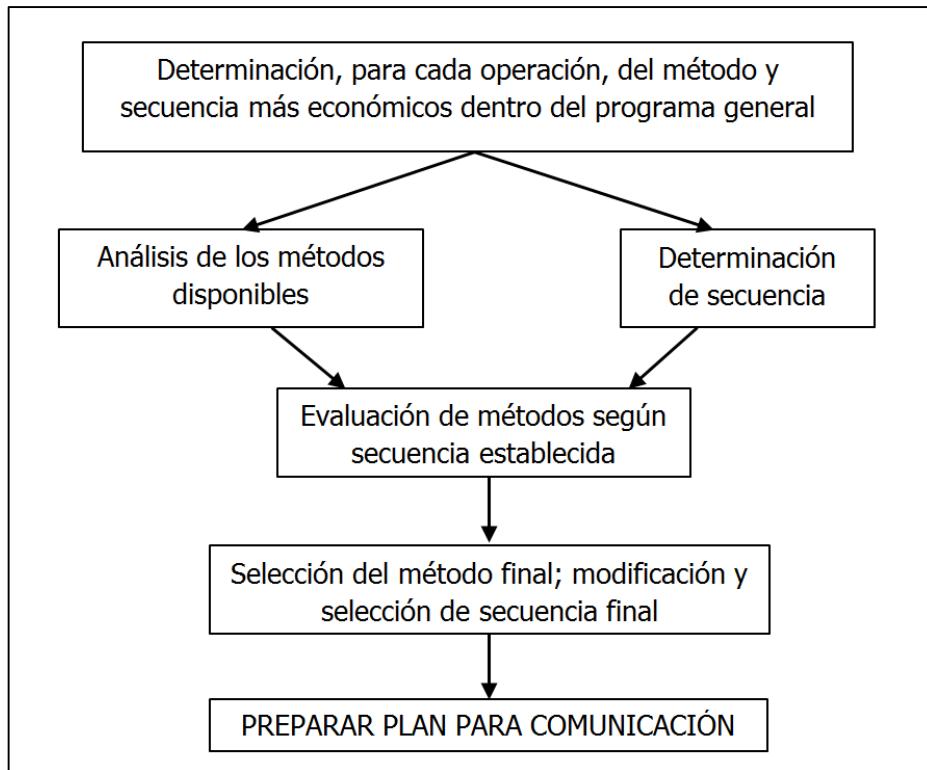


Figura 2.1. Planificación de operaciones.
Fuente: Serpell, (2002)

Para realizar una adecuada planificación de las operaciones se debe tener conocimiento detallado de los factores que incidan en ellas y de los objetivos que persigan cada una. En una operación típica para la fabricación de estructuras de acero, tanto en etapa de prefabricación en taller como en etapa de instalación en campo, se debe identificar los factores y subfactores que impactan el desempeño de ejecución, ya sea en cuanto a calidad, productividad, costo o duración. Posteriormente, se pueden identificar los factores de mayor relevancia para el cumplimiento de cada uno de los objetivos de la operación y orientar las acciones de la planificación y control más apropiadas para lograrlo.

Serpell (2002) presenta un diagrama de la relación entre factores y objetivos de una operación. En el caso de una estructura de acero, el control y estandarización de los factores tiene un papel relevante en la búsqueda del objetivo de alcanzar un alto grado de competitividad de la operación constructiva.

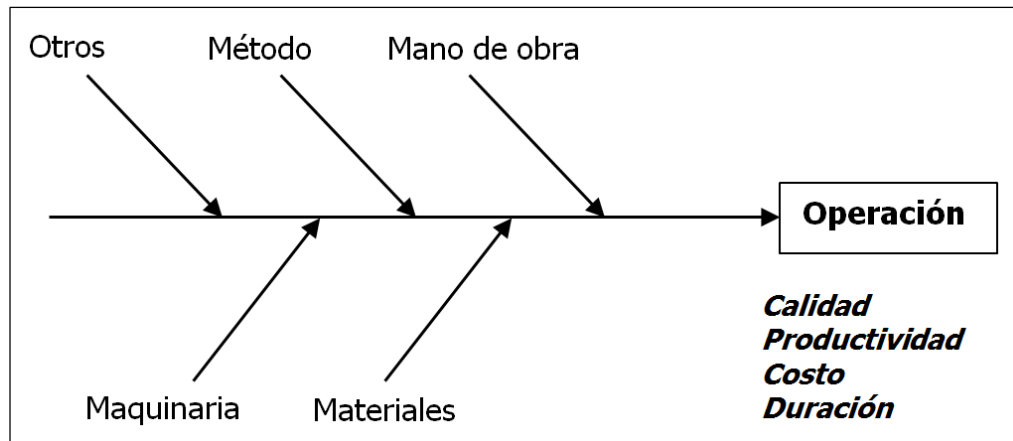


Figura 2.2. Relación entre factores y objetivos en una operación.
Fuente: Serpell, (2002)

La planificación a nivel de operación debe considerar una serie de problemas, de donde destacan los siguientes:

1. Instalación de auxiliares para la producción.
2. Asignación y programación de recursos.
3. Selección y mantenimiento de los equipos.
4. Políticas de inventario.
5. Diseño y control de procesos de ejecución de las operaciones.
6. Métodos de trabajo.
7. Aseguramiento y plan de control de la calidad.

Se debe planificar en detalle y de forma oportuna las labores a ejecutar y los elementos necesarios para llevarlo a cabo. De esta manera los ejecutores de la obra podrán realizar sus asignaciones de manera ordenada, económica y oportuna para la administración de la obra y los trabajos de la construcción.

La anticipación con la cual debe efectuarse la planificación de operaciones debe ser tal que:

- a. Los involucrados en los planes puedan objetarlos y mejorarlos.
- b. Los insumos se encuentren disponibles a tiempo.
- c. Los subcontratistas sean informados oportunamente y a la vez se despejen sus interrogantes.
- d. Los equipos requeridos sean aportados de forma oportuna según particularidades de los procesos.

2.1.1. Tipos de planes operacionales

Los planes operacionales describen cuál es la faena y como debe ejecutarse. Se genera como resultado de un proceso de planificación adecuado. A continuación se mencionan los principales planes operacionales:

1. Los croquis o dibujos: Contienen detalles constructivos y de montajes. En una estructura de acero los planos de taller son un ejemplo de este plan operacional. Inicialmente el cliente suministra una versión de planos de licitación y a partir de esta se definen los planos de taller con todos los detalles e información de los elementos que componen la estructura.

2. Hojas de asignación de trabajos: Este plan responde las interrogantes de un obrero antes de ejecutarlas. En el caso del proceso de producción de una estructura de acero con un proceso de prefabricación en taller este plan debe informarle al obrero donde debe ir, que debe hacer, quienes componen su cuadrilla o grupo de trabajo, detalles de la faena, procedimientos a seguir, materiales y herramientas que requiere, que producto se espera que entregue al procesos siguiente y cual debió recibir previamente. En la etapa de construcción en sitio la información debe ser la misma, además de cualquier otra interrogante que se genere por requerimientos propios de ejecución.

3. Esquemas de trabajo: Consisten en planos auxiliares para la ejecución de etapas de la construcción que tienen un tamaño o complejidad importante. Debe reunirse toda la información necesaria de detalles de las distintas áreas que lo componen; estructural, electromecánica, entre otras.

4. Modelos a escala: Son una base tridimensional de apoyo informativo para la planificación y diseño de las operaciones. En el caso concreto de la estructura investigada ésta se compone por la interacción de un número definido de piezas, el control en la interacción de piezas mediante un modelaje tridimensional permite prever cualquier incongruencia o interferencia y por lo tanto evitar retrasos o errores.

5. Diagramas de Flujo: Agregan una ubicación en planta de los recursos en un gráfico de la zona de trabajo. En el caso particular de estructuras con elementos previamente construidos en taller y que dependen de un orden de ensamble, los encargados de la

ejecución cuentan con información que les permite ubicar los componentes prefabricados siguiendo el orden definido en la planificación de la operación.

6. Sistemas computacionales: Son recursos computacionales que permiten crear modelos gráficos para la planificación y diseño de operaciones, como por ejemplo el Diseño Asistido por computador que permite crear modelos gráficos para el diseño y la planificación de operaciones. Otro programa más sofisticado es el O4B de la empresa REMPRO que cubre los procesos constructivos, administrativos, financieros y comerciales de las empresas del sector construcción simulando el movimiento de una obra a través de un conjunto de instalaciones ingresadas al computador.

7. Modelos operacionales: Son modelos matemáticos cuyos resultados permiten tener una base para la toma de decisiones acerca de operaciones y procesos, especialmente en análisis de optimización de recursos.

2.1.2. Análisis de procesos

En la etapa de planificación de operaciones, una tarea importante es el análisis de los procesos que forma parte de las operaciones de la construcción. En el análisis deben considerarse una serie de aspectos:

Entender que es posible definir el proceso de transformación o cambio como un sistema, por lo tanto es necesario definir cuáles son sus límites, identificar los recursos que participan en el proceso, identificar los productos resultantes del proceso, comprender los flujos que existen en el sistema y finalmente comprender el método de transformación del sistema.

Otro aspecto de importancia es la capacidad de producción de un proceso, parámetro trascendental al planificar una operación de construcción. La capacidad que posea el proceso determina el potencial o capacidad máxima de producción del sistema. Una certera identificación de la capacidad del proceso coadyuva a satisfacer de forma adecuada las demandas del proyecto, además es importante por la relación que existe entre capacidad y costos de la operación.

Según Serpell (2002), existen tres tipos de capacidades por considerar en la planificación de los sistemas de producción:

1. Capacidad de diseño: Es la producción máxima que podría ser lograda o producción ideal.
2. Capacidad efectiva: Es la producción máxima dada una combinación de productos, dificultades de programación, mantención de maquinarias y factores relacionados con la calidad.
3. Capacidad real: Es la producción lograda, que generalmente es menor a la efectiva por concepto de interrupciones, defectos, e imprevistos.

En función de estas tres capacidades, se pueden establecer dos parámetros de gestión que tienen gran utilidad para el control de los procesos de producción y de la capacidad de ellos:

$$\text{Eficiencia} = \text{Producción real} / \text{Producción efectiva}$$

$$\text{Utilización} = \text{Producción real} / \text{Producción de diseño}$$

Para lograr determinar la capacidad efectiva de un proceso constructivo, se debe considerar una serie de factores descritos a continuación:

- Instalaciones productivas o faena, donde se incluyen la distribución, el diseño y los factores medioambientales.
- Los productos que deben ser producidos, considerándose la calidad, capacidad constructiva, y la estandarización de su diseño.
- Factores de los procesos, tales como calidad y cantidad de materiales, y otros recursos de la construcción disponibles.
- Factor humano y su gestión: capacitación, motivación, seguridad, entre otras.
- Factores asociados a la gestión de del proceso de la construcción, tales como la efectividad de la planificación y control, administración de materiales y equipos, control de calidad y control de pérdidas.
- Factores externos, como regulaciones ambientales, normativa de seguridad o técnica.

Finalmente en el análisis de procesos, la tecnología se define como el conjunto de procesos, herramientas, métodos, procedimientos, equipos y maquinarias que se utilizan para llevar a cabo la construcción. La tecnología es importante por el impacto que genera en la organización a cargo de la construcción.

2.1.3. Condiciones del entorno de proyectos

Es de suma importancia analizar el contexto en que se desarrollará el proyecto, para ello, es necesario evaluar los siguientes factores:

- Disponibilidad de mano de obra en la zona
- Disponibilidad de materiales y otros recursos en la zona
- Recursos básicos (agua, electricidad, alcantarillado, entre otros)
- Condiciones físicas y topográficas del terreno
- Formas de acceso al lugar de la obra
- Apoyos logísticos requeridos
- Condiciones climáticas

En el caso de una estructura con requerimientos de mano de obra especializada, como lo es el caso de los soldadores certificados en estructuras de acero se debe analizar este factor y determinar medidas de reducir la vulnerabilidad de la operación a estos factores. En la investigación realizada uno de los prototipos requiere mayor cantidad de soldadura en sitio, por lo tanto ese prototipo tiene una mayor afectación por el factor de disponibilidad de mano de obra en la zona, o bien por costos adicionales que implica la instalación de personal en los sitios de proyecto.

2.2. Tipos de costos de la obra

Usualmente los costos de las variables de un proyecto de construcción pueden clasificarse en dos tipos. Costos directos e indirectos.

2.2.1. Costos directos

Son los costos vinculados de forma directa y permanente a las labores de la construcción. Dentro de los costos directos se pueden mencionar los costos de materiales, mano de obra y subcontratos de actividades específicas.

2.2.2. Costos indirectos

Son los costos asociados a las actividades de apoyo complementarias a las labores propias del proyecto. Comúnmente los costos directos no están vinculados a una actividad específica sino que a un grupo de actividades o al proyecto en general. Algunos costos indirectos consisten en gastos por oficinas, bodegas de campo, obras temporales, seguridad y dirección de la obra.

2.3. Tipos de estimación de costos

Según el grado de precisión, los presupuestos pueden agruparse en tres categorías, las cuales se describen a continuación.

2.3.1. Estimación conceptual

Este método presenta una baja precisión, se genera en fases preliminares de los proyectos cuando no se dispone de planos ni especificaciones técnicas de la obra. Se genera a partir de una descripción general del tipo de obra que se construirá. Se utilizan unidades representativas de los componentes según el alcance o partido arquitectónico de los proyectos.

2.3.2. Estimación preliminar

De igual forma se conoce como estimación por unidades de área y/o volumen. En este método se determinan los componentes por unidad, metros cuadrados, metros cúbicos, kilogramos de acero, entre otros. Posteriormente, se definen costos unitarios para cada rubro contabilizado según la experiencia de la empresa constructora o datos oficiales, tal es el caso del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, entidad que suministra precios de referencia según la actividad o rubro del presupuesto.

2.3.3. Estimación detallada

Es el método más completo de estimación, incluye la determinación de las cantidades y costos de todos los rubros y actividades presentes en la obra. Se incluyen materiales, mano de obra, equipos, garantías, administración, seguros, subcontratos, utilidad, y financiamientos. Abarca todos los costos directos e indirectos del proyecto.

2.3.4. Métodos de estimación de costos de mano de obra

En los presupuestos detallados se requiere estimar el costo de mano de obra, rubro que presenta una gran variabilidad por la cantidad de factores que inciden en ella.

2.3.5. Método de costos unitarios por actividad

Consiste en determinar las principales actividades que se proyecta generen un costo de mano de obra. Posteriormente se asigna un costo unitario a cada elemento. Finalmente se obtiene un costo global de la actividad mediante el producto de ambas. Normalmente el criterio basado en la experiencia puede suministrar costos unitarios según la actividad.

2.3.6. Método de horas hombre por unidad de trabajo

Para aplicar este método es necesario cuantificar los trabajos y elementos principales de la obra, pero además se requiere fraccionar las actividades en paquetes básicos de trabajo. En este método se debe actualizar constantemente los datos de rendimientos de mano de obra, es por ello que se debe llevar un registro adecuado en la empresa para mantener vigente los datos de rendimientos. Este procedimiento ofrece una mayor certeza en cuanto a la estimación del costo real de la obra.

2.3.7. Métodos para obtener rendimientos de mano de obra

Existe gran cantidad de formas para recolectar rendimientos de mano de obra, a continuación se mencionan cuatro metodologías según Ostwald, 2001.

2.3.8. Método de tiquetes de trabajo

Consiste en que cada empleado o el encargado de los trabajadores contabilicen las labores realizadas en una ficha. Esta información es utilizada para estimar la cantidad de horas hombre requeridas para la realización de la actividad.

2.3.9. Método de medición de ciclos no repetitivos

Se conoce como Método de medición de trabajo diario continuo. Se utiliza para estimar rendimientos de mano de obra de procesos con ciclos de larga duración o actividades con una baja frecuencia, por ejemplo colado de entrepisos, excavaciones para fundaciones, colocación de estructura de techos, entre otras.

2.3.10. Método de medición de ciclos repetitivos

Contrario al método anterior, este consiste en medir la duración de una de las partes que componen un ciclo, de tal forma que genere un registro donde se comparen múltiples ciclos, ya sea que se realicen de forma simultánea o no. Se considera óptimo aplicar esta metodología en labores altamente repetitivas.

2.3.11. Método de muestreo de trabajo

Esta técnica utiliza conceptos de probabilidades y estadística para analizar el comportamiento de una población, evaluando únicamente una muestra de la población general. Se realiza la cuantificación del trabajo en términos del tiempo requerido para realizarlo. Permite evaluar a grupos grandes de trabajadores sin necesidad del control cronométrico de otros métodos.

2.4. Factores que afectan la mano de obra

La mano de obra en general representa el rubro con mayor variabilidad en la construcción, por lo que difícil controlar o proyectar el comportamiento de este componente en los presupuestos.

Parte importante del éxito económico para el oferente o contratista es determinar o predecir correctamente el desempeño de la mano de obra, así que identificar los aspectos que puedan incidir en su comportamiento es realmente importante.

De manera general se puede identificar los factores que más repercuten en el rendimiento de mano de obra, como son:

- Motivación personal y relación laboral; abarcando el estado anímico, psicológico, motivacional, fisiológico y de seguridad del trabajador
- El clima y temperatura; su incidencia puede variar según la región geográfica y estación del año
- Seguridad en la obra, puede propiciar el desarrollo o limitarlo según sus condiciones y registros ocurridos en el proyecto
- Oferta, demanda y rotación de mano de obra; constituye el atractivo económico que representan las labores de construcción, así como el efecto especialización por actividades, lo que permite que los trabajadores desarrollen destrezas en

determinadas actividades, que le dan un carácter de línea de producción a las actividades de la construcción.

- Experiencia del trabajador, consiste en acumular conocimientos y destreza muscular particulares de un proceso para mejorar su desempeño en la ejecución de actividades.
- Condiciones de iluminación, es un factor que mejora el desempeño del trabajador pues este se mantiene atento y es consciente de su entorno.
- Tipo de herramienta utilizada, genera en el trabajador una sensación de confianza, evita la fatiga y mejora su precisión.
- Curva de aprendizaje, en procesos repetitivos es de gran impacto ya que crea aptitudes y destrezas que crean un ciclo continuo de mejoría en la eficiencia.

2.5. Tipos de conexiones en estructuras de acero

A continuación se describen los sistemas de conexiones comúnmente utilizadas en estructuras de acero: conexiones pernadas y conexiones soldadas.

2.5.1. Conexiones pernadas

El uso de conexiones pernadas en campo presenta una serie de ventajas y desventajas comparativas con sistemas de conexiones soldadas. Dentro de las ventajas se destaca que no se requiere mano de obra altamente calificada y además el proceso de pernado es rápido de ejecutar y más fácil de controlar. A su vez el uso de tornillos es una actividad menos susceptible a demoras por factores climáticos, ya que el montaje de estructuras de acero normalmente se realiza a la intemperie donde el clima incide directamente en los tiempos de construcción especialmente en uniones soldadas. Sin embargo las desventajas de esta metodología consisten en que se requieren placas de conexión y tornillos adicionales, lo cual incrementa el costo global de las estructuras, además que la precisión constructiva debe ser muy controlada por lo que se requiere el uso de máquinas computarizadas para el corte de piezas y confección de agujeros para pernos.

La "*American Society for Testing Materials*" (ASTM por sus siglas en Inglés) presenta una clasificación normalmente utilizada en nuestro país para los tipos de pernos, dentro de donde se destacan: A307, A325, A449, A 490, clasificados según características como la resistencia y la composición química del perno. La siguiente figura presenta dos ejemplos de conexiones pernadas, un tipo de conexión entre vigas de tipo solera (derecha) y otro

tipo correspondiente a la conexión pernada entre viga y columna principal de un marco de acero.



Figura 2.3. Ejemplos de conexiones pernadas en naves industriales de acero

Para que el sistema de conexiones pernadas tenga un desempeño adecuado se debe aplicar una tensión mínima en el perno. En conexiones de elementos principales como columnas y vigas se sigue un procedimiento que consiste en utilizar una pistola de impacto neumática conectada a un compresor de aire con la cual se presiona el perno y finalmente se utiliza una llave calibrada o torquímetro para determinar que la tensión inicial en el tornillo sea la indicada según recomendaciones técnicas del fabricante. Para elementos de conexiones secundarias en elementos como vigas de amarre, se presionan las tuercas hasta el tope posible mediante una llave manual (estado donde hay un contacto total entre placas y la tuerca no tiene movimiento libre), posteriormente se aplica una rotación adicional de 180 grados (media vuelta) a la tuerca cuando la longitud del tornillo sea menor a 8 veces su diámetro o 20 cm, y 240 grados (dos tercios de vuelta) cuando es mayor que estos valores. Este procedimiento de colocación en los pernos garantiza que no se produzcan pérdidas de presión en los pernos manteniendo la integridad y funcionamiento estructural de la conexión.

La siguiente figura muestra un tipo de pistola de impacto neumática utilizada en procesos de instalación de estructuras de acero.



Figura 2.4. Pistola de impacto neumática marca "Chicago Pneumatic", modelo CP 897

2.5.2. Conexiones soldadas

Las conexiones soldadas consisten en la unión elementos de acero utilizando un proceso de soldado por arco protegido, el cual consiste en la generación de un arco eléctrico mediante el uso de un electrodo. Existen dos metodologías comúnmente utilizadas en soldaduras de arco protegido con gas, la primera de ellas consiste en utilizar un electrodo revestido cuyos componentes brindan el material de aporte para la soldadura y además liberan por la fusión a altas temperaturas un gas que protege la transferencia del material de aporte. Este tipo de soldadura tiene ventajas por la portabilidad y económico de los equipos requeridos. Otro tipo de soldadura por arco eléctrico protegido es el sistema MIG ("*Metal Inset Gas*" por sus siglas en Inglés) el cual fue introducido a finales del año 1940 la AWS lo define como un proceso de soldadura donde la fusión se produce por calentamiento con un arco, entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa el cual protege el metal liquido de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. En este sistema el alambre-electrodo es impulsado en forma automática, a una velocidad continua fijada previamente por el soldador hacia la zona de trabajo mientras la pistola de soldadura se posiciona en el ángulo adecuado. Este tipo de proceso tiene una serie de

ventajas y desventajas comparativas con el proceso de soldadura con electrodo revestido. Las principales ventajas radican en que es un procedimiento más rápido y fácil de realizar ya que el flujo del electrodo es automático, además se tiene un producto de mayor calidad. Las desventajas consisten en que se requieren equipos e insumos más costosos, además los equipos no son portátiles y requieren una manipulación más compleja.

El sistema de soldadura tipo MIG es ideal para ser utilizado en talleres en donde los equipos se mantienen en una posición fija. Por otro lado el uso de electrodos revestidos es más conveniente de utilizar en los sitios de construcción por la portabilidad de sus componentes.

En conexiones soldadas es normalmente utilizado el proceso denominado Soldadura de Penetración Completa o CPJ por sus siglas en Inglés. Este tipo de procedimiento es utilizado en la unión a tope de elementos y en uniones de elementos con placas. El proceso inicia con la colocación de una placa pequeña o soldadura de soporte en el punto inferior de la unión. La función de este soporte es contener el material fundido para que no se derrame por efecto de gravedad. El segundo paso es la colocación de una capa de soldadura y posteriormente una limpieza mediante escarificación de residuos. El segundo paso se repite hasta completar el espesor de soldadura según requerimientos estructurales. Otro tipo de soldadura comúnmente utilizada es la soldadura de filete la cual une dos placas sobrepuestas una sobre otra formando una línea de soldadura similar a un filete. Las siguientes figuras muestran las geometrías típicas de ambos tipos de soldaduras.

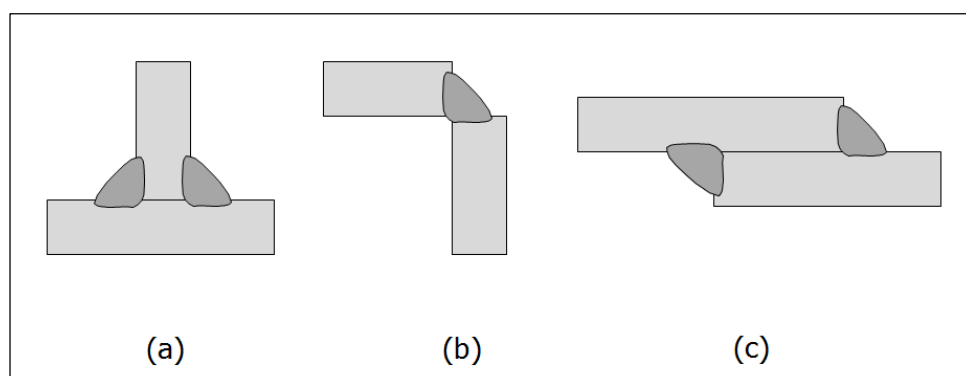


Figura 2.5. Ejemplos de soldaduras de tipo filete

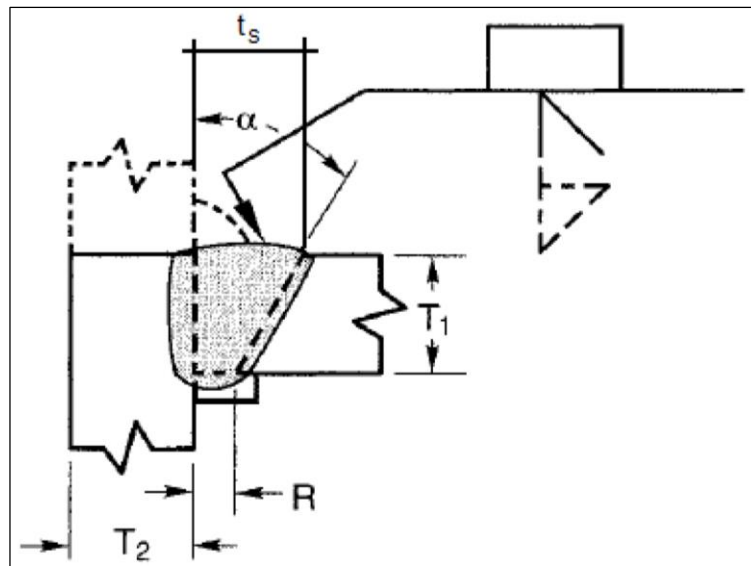


Figura 2.6. Geometría de soldadura de penetración completa
Fuente: AWS D1.1, 2010

El control de calidad es otro factor importante a considerar en la construcción de uniones soldadas. La cantidad y tipo de pruebas se realizan según el tipo de elementos y acorde a especificaciones estructurales de diseñadores. Tres de las pruebas no destructivas más utilizadas son:

Inspección visual: Consiste en la inspección ocular por parte de un especialista la cual revela las imperfecciones más graves en las soldaduras. Es el ensayo no destructivo más económico disponible.

Líquidos penetrantes: Consiste en aplicar un líquido coloreado fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual normalmente es un polvo de color blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre esta capa de revelador se delinea el contorno de la falla. La siguiente figura muestra los pasos de esta prueba.

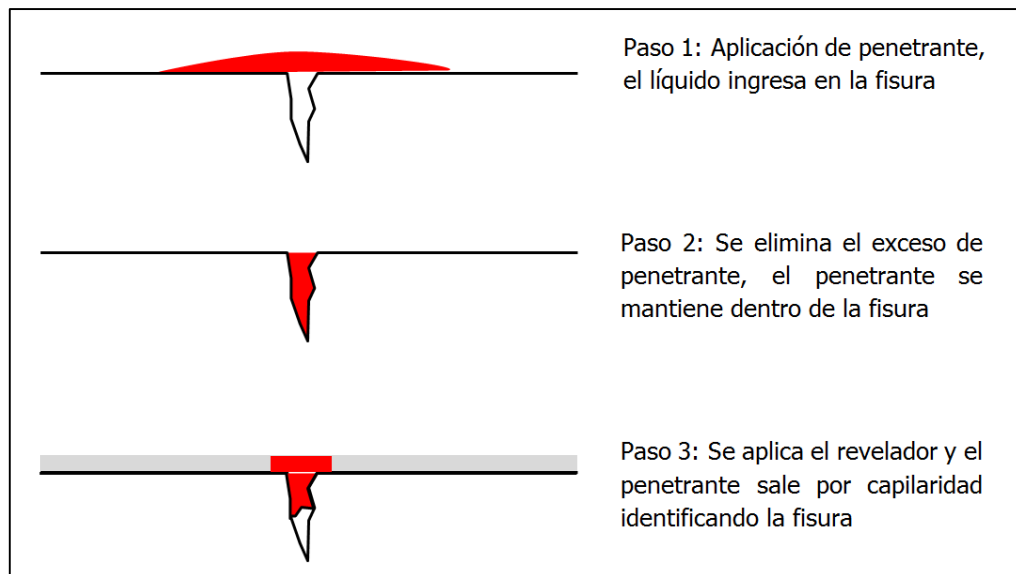


Figura 2.7. Procedimiento de pruebas con líquidos penetrantes en soldaduras

Ultrasonido industrial: Es un procedimiento de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad del material. Los equipos de ultrasonido permiten detectar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas, dependiendo del tipo de medidor utilizado y las frecuencias seleccionadas dentro de un rango de 0.25 hasta 25 MHz.

Normalmente la realización de pruebas se programa de tal manera que no genere atrasos en el cronograma establecido por el constructor de la estructura. En caso de detectar alguna irregularidad, la soldadura debe ser reparada por parte de la compañía sin generarle ningún retraso al cronograma.

Las pruebas visuales se realizan en todos los elementos dada la rapidez del proceso, por otro lado las pruebas especializadas como ultrasonido o líquidos penetrantes se efectúan con una frecuencia que varía según el diseñador de la estructura metálica, sin embargo es común que se realice una prueba por cada conexión de elementos principales (vigas, columnas de marcos, y tensores), y una prueba cada tres conexiones para elementos secundarios como vigas de amarre y columnas secundarias.

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA Y ORIGEN DE DATOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS

En el presente capítulo se describe el proceso constructivo seguido en la fabricación del prototipo de la estructura tipo nave industrial, así como la procedencia de datos a partir de los cuales se desarrolla el estudio de rendimientos de construcción.

3.1. Procedencia de datos utilizados

A continuación se describe la procedencia de los datos utilizados en el análisis para ambos prototipos de estructuras.

3.1.1. Datos del prototipo con conexiones soldadas

Los datos utilizados en el estudio para el sistema con conexiones soldadas fueron obtenidos de los registros históricos de la empresa constructora en proyectos similares al prototipo investigado, desarrollados por la compañía con una antigüedad menor o igual a 5 años desde la fecha de realización de este análisis.

La base de datos se compone de los registros de siete proyectos construidos entre los años 2011 y 2014, los cuales se describen a continuación:

- Junio 2011: Supermercado en Quepos Puntarenas, nave industrial en acero con aproximadamente 1800 m² de construcción, conexiones de tipo soldadas.
- Julio 2011: Supermercado en Desamparados San José, nave industrial en acero con aproximadamente 1800 m² de construcción, conexiones de tipo soldadas.
- Julio 2011: Supermercado en Tres Ríos Cartago, nave industrial en acero con aproximadamente 1800 m² de construcción, conexiones de tipo soldadas.
- Junio 2011: Supermercado en Grecia Alajuela, nave industrial en acero con aproximadamente 1800 m² de construcción, conexiones de tipo soldadas.
- Febrero 2012: Supermercado en Tibás San José, nave industrial en acero con aproximadamente 6700 m² de construcción, conexiones de tipo pernadas.
- Marzo 2012: Supermercado en Alajuelita San José, nave industrial en acero con aproximadamente 1800 m² de construcción, conexiones de tipo soldadas.

- Mayo 2014: Supermercado en Heredia Sur, nave industrial en acero con aproximadamente 1800 m² de construcción, conexiones de tipo pernadas.

Estos proyectos tienen un enfoque industrial de tipo supermercado similar al proyecto donde se realizaron las mediciones del sistema pernado. Durante más de 20 años de operación la compañía constructora ha acumulado registros de proyectos, sin embargo los proyectos anteriores al año 2011 son descartados por la antigüedad de los datos.

Según registros de la compañía constructora, no se presentaron retrasos por factores ambientales en seis de los siete proyectos que componen la base de datos. En el caso del proyecto construido en Tres Ríos en el año 2011, se presentaron retrasos leves según el criterio de funcionarios de la empresa que participaron en el proceso de montaje en sitio.

3.1.2 Datos del prototipo con conexiones pernadas

Los datos considerados en el análisis para la estructura con conexiones pernadas fueron obtenidos mediante mediciones realizadas tanto en taller como en campo para un proyecto construido en Puriscal, San José, Costa Rica. Las mediciones fueron efectuadas entre los meses de julio y agosto del año 2015. Para la recopilación de los datos se diseñaron plantillas específicas para cada una de las catorce diferentes tipos de piezas que se requieren en la instalación de la estructura. En cada plantilla se contemplan todos los pasos específicos en la colocación de las diferentes piezas, de tal modo que se registraron las duraciones de cada subactividad, así como una duración total de la instalación de cada componente. La utilización de las plantillas permitió identificar tiempos perdidos no correspondientes a la actividad favoreciendo la precisión de los datos medidos.

3.2. Procedimiento constructivo de la estructura

A continuación se describe el proceso seguido en etapa de taller así como en etapa de instalación de la estructura en sitio de construcción.

3.2.1 Procedimiento en taller

El proceso de construcción de las piezas en taller consiste en una línea de producción que consta de cuatro etapas distintas: corte de componentes, armado de piezas, resoldado de piezas y finalmente acabados. La primera etapa consiste en el corte de todos los componentes que serán requeridos para cada pieza. En esta labor se utilizó una cortadora de mesa con plasma robotizada la cual opera comandada por un software especializado en el cual se introduce el plano de taller y este reproduce cada componente indicado en la lámina de acero. La máquina de corte utiliza un contenedor de gas desde el cual se conduce el fluido hasta una boquilla de corte que se mueve según indicaciones del software. Además para láminas de espesor igual o inferior a 1.27 cm se utilizan cortadoras de tipo esmeril de 11.5 y 23 centímetros así como una guillotina hidráulica de 2.5 metros de largo de corte. La etapa de corte normalmente es realizada la semana previa al inicio de las demás etapas para no generar atrasos.

La segunda etapa del proceso consiste en el armado de las piezas a partir de los componentes previamente cortados. En este punto del proceso las cuadrillas de armado, compuestas por un soldador y un ayudante siguen las indicaciones del plano de taller para confeccionar cada una de las piezas. La conformación inicial consiste en darle forma estable a las piezas para que estas sean posteriormente resoldadas en la tercer etapa. Durante el armado los componentes son soldados únicamente en puntos estratégicos mediante soldadoras de electrodo. Como control de calidad se realiza una prueba de precisión la cual consiste en presentar cada pieza ante una plantilla estandarizada, esto garantiza que cada parte calce adecuadamente en su posición con las demás piezas del conjunto total de la estructura. Este procedimiento se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.1. Presentación de la pieza tipo columna en estructura con conexiones pernadas

La tercer etapa consiste en todas las soldaduras pendientes en las piezas que se indiquen los planos constructivos. Cada cuadrilla de soldado se compone de un soldador especializado quien opera una máquina tipo Mig de arco protegido. El soldador recibe la pieza de la línea de armado a la cual inicialmente le coloca marcas donde se deberán colocar las líneas de soldadura, esto permite al soldador trabajar de forma mecánica y por lo tanto más eficientemente. El producto terminado de esta etapa es una pieza totalmente acabada para ser sometida al proceso de acabados. La siguiente figura muestra una pieza tipo columna principal durante el proceso de resoldado.



Figura 3.2. Proceso de soldado de columna en etapa de taller estructura con conexiones pernadas.

Finalmente la última de las etapas en taller consiste en la aplicación de acabados. Inicialmente se limpian las piezas y se colocan dos capas de anticorrosivo según especificaciones técnicas de espesor total 2 "mills". Posteriormente se aplican dos manos de acabado de espesor total 2 "mills". Previo a la pintura se remueven restos de soldadura e impurezas en el material para recibir la pintura aplicada con equipos tipo compresores en un ambiente controlado de factores medioambientales como polvo, viento y lluvia lo cual permite alcanzar la calidad solicitada.

Cada una de las cuatro etapas dispone de un sitio específico dentro del taller para ser ejecutada, manteniendo un orden en el proceso. Además se cuenta con equipos apropiados de tipo montacargas y montacargas con brazo telescópico para trasladar los productos de una etapa a la siguiente. Para ambos prototipos de conexiones tanto soldadas como pernadas el proceso tiene las mismas etapas presentando duraciones distintas debido a trabajo adicional que implica prefabricar las conexiones principales en el caso pernado. La siguiente figura resume mediante un diagrama el proceso constructivo seguido en taller.

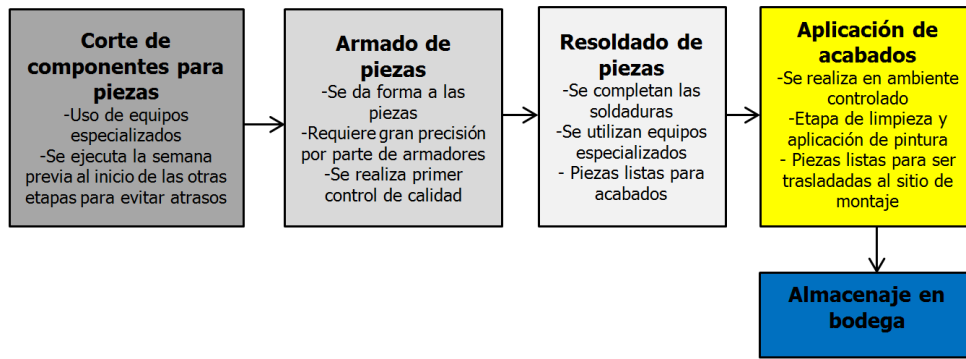


Figura 3.3. Diagrama de proceso constructivo en taller

3.2.2. Procedimiento constructivo en sitio de la obra

El proceso de instalación en sitio consiste en el ensamblaje de 14 piezas distintas y labores de acabados. A continuación se describen los pasos seguidos en la instalación.

Paso 1 Instalación de columnas principales: Se colocan mediante el uso de una grúa camión las columnas principales de la nave. Las fundaciones tienen embebidos pernos de anclaje roscados, los cuales calzan los agujeros de las columnas para posteriormente colocar dos tuercas por perno. Se utiliza una pistola de impacto con compresor. El proceso es el mismo tanto para una estructura con conexiones soldadas como con conexiones pernadas. La siguiente figura muestra la colocación con ayuda de la grúa de una de las columnas principales.



Figura 3.4. Instalación de columnas principales proyecto en Puriscal, San José

Paso 2 Instalación de vigas de amarre superiores: Una vez colocadas al menos dos columnas principales en cada eje longitudinal, se da inicio a la instalación de vigas de amarre superiores. Estas vigas se colocan sin la utilización de grúa. Su función es unir lateralmente las columnas principales para que mantengan la verticalidad. En el caso de la estructura pernada se tiene un segmento de viga soldado a la columna con una placa en el extremo donde se presenta la viga y se realiza una conexión pernada en ambos extremos. En el caso del prototipo con conexiones soldadas se presenta la viga directamente al alma de columna y se realiza la soldadura de unión. Este segundo procedimiento daña significativamente el acabado de la columna por lo tanto se incurre en trabajos de reparación de acabados. En la siguiente figura se muestran instaladas las vigas de amarre de uno de los marcos longitudinales, para un prototipo de estructura con conexiones pernadas.



Figura 3.5. Instalación de vigas de amarre superiores proyecto en Puriscal, San José

Paso 3 Colocación de vigas principales: Una vez estabilizadas lateralmente las columnas principales se colocan las vigas principales con el uso de una grúa. En el caso de una estructura pernada estos elementos se componen por dos tramos de viga las cuales previo a su instalación se presentan a nivel de piso una frente a la otra y se unen con la conexión pernada, seguidamente se sube la pieza para acoplarla en sus extremos con conexiones de tipo pernadas entre viga principal y columna principal. En el caso de la estructura soldada ambas secciones se colocan de manera independiente instalando

sistemas de apuntalamiento temporal para colocar soldaduras puntuales que permitan estabilizar el marco, posteriormente se realiza la soldadura completa entre vigas en la conexión central, así como en sus extremos entre columna principal y viga principal. La figura presentada a continuación muestra la preparación de vigas a nivel de piso, así como la colocación con grúa para una estructura con conexiones pernadas.



Figura 3.6. Colocación de vigas principales proyecto en Puriscal, San José

Paso 4 Colocación de vigas de amarre entre marcos: El proceso consiste en colocar 6 vigas de dos tipos distintos entre cada uno de los marcos transversales. El primer tipo de vigas está compuesto por 2 elementos tipo Z paralelos los cuales forman una retícula con elementos tubulares soldados entre ellos. De cada lado de la nave se coloca una de estas vigas, una cercana a la cumbrera y otra sobre las columnas principales. El segundo tipo de viga es una en perfil tubular de 10 x 15 centímetros, las cuales se colocan en las cercanías de la cumbrera. Para la estructura pernada se unen mediante pernos a las vigas principales, en el caso de la estructura con conexiones soldadas esta vigas se unen a las vigas principales mediante un proceso de soldado. La figura siguiente muestra el proceso de instalación de estas vigas de amarre entre marcos.



Figura 3.7. Colocación de vigas de amarre entre marcos proyecto en Puriscal, San José

Paso 5 instalación de tensores de techo: Una vez fijadas las vigas de amarre entre marcos se colocan los tensores de techo en sección tubular de 10 x 10 centímetros, los cuales unen diagonalmente dos marcos consecutivos. En total se colocan 48 de tensores de techo. Para ambos prototipos se realiza un mismo proceso conexiones soldadas. En la siguiente figura se presenta el proceso de soldado de los tensores.



Figura 3.8. Instalación de tensores de techo proyecto en Puriscal, San José

Paso 6 instalación de clavadores de techo: La instalación de clavadores de techo da inicio una vez los tensores de techo estén fijados, lo cual garantiza la alineación de los marcos. En la estructura soldada se colocan los clavadores y se aplica soldadura para su fijación, en el caso de la estructura pernada se instalan con el uso de dos pernos en cada extremo del clavador fijados a un accesorio colocado sobre las vigas principales. La figura mostrada a continuación presenta el proceso de colocación de clavadores en la estructura pernada utilizada en la medición de rendimientos.



Figura 3.9. Instalación de clavadores de techo proyecto en Puriscal, San José

Paso 7 instalación de cinchas: Las cinchas son elementos de tipo varilla lisa con roscas en ambos extremos las cuales se colocan perpendicularmente entre clavadores de perfil Z a cada terceras partes de su longitud total, reduciendo la longitud no soportada. Su instalación es manual y no requiere el uso de grúa. En ambos prototipos de estructuras, pernada y soldada el procedimiento es el mismo, utilizando ambos extremos roscados que se unen al alma del clavador. A continuación se presenta una figura del proceso de instalación de cinchas.



Figura 3.10. Instalación de cinchas entre clavadores proyecto en Puriscal, San José

Paso 8 instalación de vigas de amarre longitudinales a 2.5 metros sobre el nivel

de piso de la nave: Una vez colocadas las paredes de cerramiento se colocan vigas soleras en elementos tubulares en sección de 10 x 20 centímetros, las cuales soportan lateralmente las paredes a la vez dan rigidez lateral a los marcos principales. El procedimiento de instalación es análogo a la instalación de vigas de amarre superiores descritas en el paso 2.

La siguiente figura muestra un momento en el proceso de instalación de las vigas de amarre.



Figura 3.11. Instalación de vigas de amarre tipo soleras longitudinales proyecto en Puriscal, San José

Paso 9 instalación de columnas secundarias: En los marcos laterales y posteriores se colocan columnas secundarias las cuales dan soporte lateral a las estructuras de cerramiento y fachada. Para ambos prototipos de estructuras la instalación de columnas se realiza de forma soldada. Seguidamente la figura presenta un momento en el proceso de instalación de las columnas secundarias.



Figura 3.12. Instalación de columnas secundarias proyecto en Puriscal, San José

Paso 10 instalación de tensores de pared en marcos transversales: Una vez colocadas las vigas de amarre a 2.5 metros sobre el nivel de piso, se colocan los tensores de pared en varilla lisa. El procedimiento es el mismo independientemente del sistema de conexiones utilizado, ya que los tensores requieren un apoyo fijo (soldado) y un extremo móvil (con tuerca) de tal forma que se aplica un torque que tense el elemento. La siguiente figura aclara el proceso de instalación de los tensores.



Figura 3.13. Instalación de tensores de pared longitudinales proyecto en Puriscal, San José

Paso 11 instalación de vigas de amarre en marcos transversales a 2.5 metros sobre el nivel de piso de la nave: Una vez colocadas las columnas secundarias en los marcos frontal y posterior se procede con el ensamblaje de las vigas soleras en elementos tubulares en sección de 10 x 20 centímetros, brindando soporte lateral a las paredes. El procedimiento de instalación es análogo a la instalación de vigas de amarre superiores descritas en el paso 8. A continuación la figura presenta el proceso de instalación de las vigas.



Figura 3.14. Instalación de vigas de amarre soleras transversales proyecto en Puriscal, San José

Paso 12 instalación de tensores de pared en marcos longitudinales: De forma similar a la colocación de tensores descrita en el paso 10, se ensamblan juegos de tensores en los marcos frontal y posterior transversales.

La figura adjunta presenta la ubicación de los tensores en los marcos transversales.



Figura 3.15. Instalación de tensores de pared transversales proyecto en Puriscal, San José

Paso 13 instalación de bracones de pared: Son elementos en sección tubular colocados para mejorar el desempeño estructural de las columnas principales. El proceso constructivo es el mismo independiente del sistema de conexiones soldadas o pernadas, donde se realizan cortes y ajustes particulares en los elementos para finalmente soldar los tubos. Un registro del proceso se presenta en la siguiente figura.

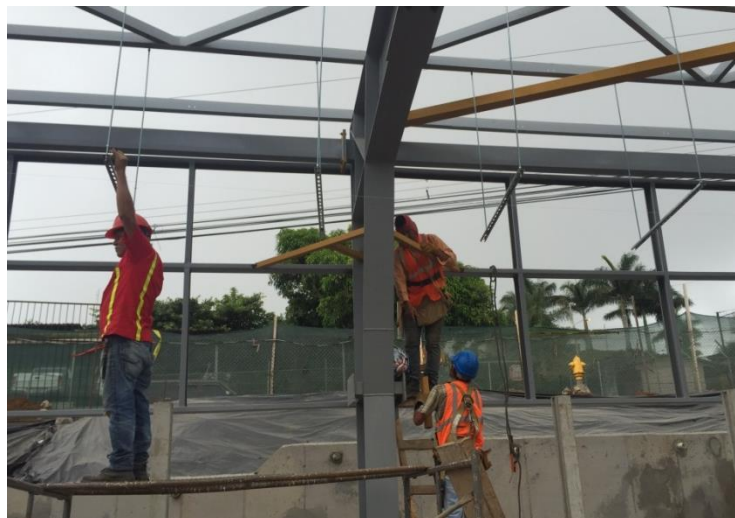


Figura 3.16. Instalación de bracones de pared proyecto en Puriscal, San José

Paso 14 instalación de bracones en vigas principales: Son elementos en sección tipo angular colocados para mejorar el desempeño estructural de las vigas principales. El proceso constructivo en un prototipo con conexiones soldadas consiste en ajustar el elemento con cortes en sitio para finalmente soldar el elemento al ala inferior de la viga y en su otro extremo a un clavador de techo. En una estructura con conexiones pernadas los bracones de vigas son fabricados en taller donde se realizan los agujeros requeridos y se ensambla mediante pernos en el sitio de construcción. Seguidamente se presenta una figura de los bracones de techo.



Figura 3.17. Instalación de bracones de techo proyecto en Puriscal, San José

La estructura típica de la cual se derivan ambos prototipos es una nave industrial con marcos de acero en secciones tipo I formadas a partir de placas de acero ASTM A-36 con espesores variables que oscilan entre los 0,47 centímetros a los 1,90 centímetros según el elemento estructural, con componentes secundarios como vigas de amarre en secciones tubulares de acero ASTM A-36. Lateralmente los marcos son rigidizados por tensores de tipo varilla lisa que cumplen la norma ASTM A-706 para varillas soldables. En el caso de los clavadores de techo se utilizan secciones roladas en frío tipo Z de 15 centímetros de peralte. La estructura se compone de nueve marcos transversales separados a cada 6.18 metros centro a centro, con una luz de 35 metros. A nivel de techo se colocan tensores en secciones tubulares que unen diagonalmente a los marcos creando un tipo de diafragma rígido. Se dispone de componentes secundarios como bracones para control local de esfuerzos, así como cinchas en varilla lisa para reducir la longitud no soportada de clavadores de techo.

CAPÍTULO 4: ESTIMACIÓN DE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS EN ETAPA DE FABRICACIÓN EN TALLER

En este capítulo se describe la metodología de estimación de materiales, mano de obra y equipos requeridos en el proceso de fabricación de la estructura en taller.

4.1. Estimación de materiales

La estimación de materiales se realiza a partir de los planos de taller de la estructura de prototipo pernada suministrados por la empresa constructora dedicada a la construcción e instalación de estructuras metálicas. Los planos de taller se confeccionan a partir de planos de licitación suministrados por el cliente en el proceso de contratación.

El prototipo de estructuras está conformado por un conjunto de piezas las cuales son fabricadas en taller y que posteriormente se ensamblan en sitio mediante conexiones de tipo pernadas, o con conexiones soldadas. Cada una de estas piezas se conforma mediante el ensamble de una serie de componentes obtenidos de elementos comercialmente disponibles (placas de acero, tubos, angulares, varillas, entre otras) y su respectiva soldadura. En el caso de la estructura soldada no se cuenta con planos de taller sin embargo se cuenta con planos constructivos suministrados por la empresa de consultoría estructural.

4.1.1. Metodología de estimación

La metodología consiste en estimar el peso de los componentes y soldadura requerida para cada pieza de la estructura. Se obtuvieron un peso total de pieza según el prototipo pernado o soldado. La discrepancia entre ambos será definida como el diferencial entre ambos prototipos. El rendimiento de materiales de cada prototipo será la sumatoria de pesos de todas las piezas entre la unidad de área de la estructura, considerando que las dimensiones de la estructura se mantienen constantes para ambos prototipos.

4.1.2. Cantidades de materiales según prototipo

Las cantidades de materiales en términos de kilogramos de acero de los catorce componentes que conforman los prototipos se muestran en los siguientes cuadros. En estos se presentan cada una de las piezas y su peso total según el prototipo de estructura. El Apéndice B muestra el desglose de los pesos de cada componente según la pieza y según el prototipo.

Cuadro 4.1. Peso de piezas prototipo soldado

Pieza		Cantidad total en estructura	Peso total componente (kg)
1	Columnas principales de marcos	18	11541,5
2	Vigas de amarre superiores	16	1455,7
3	Vigas principales	9	9854,5
4	Vigas de amarre entre marcos	8	4777,7
5	Tensores de techo en tubo	48	3396,6
6	Clavadores de techo	288	5651,4
7	Cinchas entre clavadores de techo	816	454,0
8	Vigas de amarre entre marcos longitudinales a 2,5 msnt	16	1455,7
9	Columnas secundarias	15	2217,7
10	Tensores de pared marcos longitudinales	8	844,3
11	Vigas de amarre entre marcos transversales a 2,5 msnt	13	1030,5
12	Tensores de pared marcos transversales	8	381,4
13	Bracones de pared	16	218,4
14	Bracones de vigas	16	440,2
Peso total Prototipo de estructura soldada (kg)			43719,4

Cuadro 4.2. Peso de piezas prototipo pernado

Pieza		Cantidad total en estructura	Peso total componente (kg)
1	Columnas principales de marcos	18	11948,5
2	Vigas de amarre superiores	16	1924,0
3	Vigas principales	9	10524,8
4	Vigas de amarre entre marcos	8	4777,7
5	Tensores de techo en tubo	48	3396,6
6	Clavadores de techo	288	5596,4
7	Cincha entre clavadores de techo	816	454,0
8	Vigas de amarre entre marcos longitudinales a 2,5 msnt	16	1924,0
9	Columnas secundarias	15	2217,7
10	Tensores de pared marcos longitudinales	8	866,0
11	Vigas de amarre entre marcos transversales a 2,5 msnt	13	1498,8
12	Tensores de pared marcos transversales	8	386,9
13	Bracones de pared	16	218,4
14	Bracones de vigas	16	430,7
Peso total Prototipo de estructura pernada (kg)			46164,4

4.2. Medición de mano de obra en taller

La medición de mano de obra se realizó mediante el uso de plantillas específicamente desarrolladas según el tipo de actividad a ser evaluada.

4.2.1. Metodología de medición

El proceso de construcción de piezas opera bajo el formato de línea de producción el cual tiene un número fijo de cuadrillas tanto para una estructura de tipo pernada como para una estructura de tipo soldada. Para cada prototipo se tendrá un rendimiento distinto en cada uno de los procesos que de forma general componen un cronograma de tiempos de construcción requeridos para cada sistema. El horario de trabajo en la construcción de la estructura abarca de lunes a viernes de 7:00 am a 5:00 pm.

Se utilizaron plantillas de apoyo para registrar los tiempos de inicio y fin de las distintas actividades. En el Apéndice C, se muestra la plantilla utilizada en taller para levantar el registro de rendimientos.

4.2.2. Cantidades de mano de obra según prototipo

La medición de mano de obra consiste en determinar el tiempo requerido por etapa para cada pieza de la estructura total. En el caso de los tiempos para el prototipo pernado fueron medidos en taller. Para el prototipo soldado se utilizan los tiempos del registro histórico de la compañía constructora.

El siguiente cuadro muestra en la cantidad y composición de las cuadrillas que participaron en la construcción del prototipo pernado de la estructura. Según los registros de la empresa en caso del prototipo soldado serían requeridas la misma cantidad y composición de cuadrillas.

Cuadro 4.3. Cantidad y composición de cuadrillas requeridas para la construcción de ambos prototipos

Nombre de cuadrilla	Cantidad de cuadrillas	Composición de cuadrilla		
		Soldador/operario	Ayudante	Operador Eq. Especial
Encargado	1	1	0	0
Corte	1	0	3	3
Armado	3	1	1	0
Re-Soldado	3	1	0	0
Acabados	1	2	3	0
Montacargas	1	0	0	1
Manipulador telescópico	1	0	0	1

Para cada uno de los componentes se registró el tiempo necesario de ejecución para cada etapa. Los resultados se presentan en horas de cuadrilla requeridas por pieza, a continuación se muestran dos cuadros con los tiempos medidos así como los tiempos obtenidos a través de registros históricos de la empresa constructora.

Cuadro 4.4. Tiempos requeridos en cada etapa de construcción por pieza para prototipo soldado

ID	Componente	Unidad	Cant.	Prototipo soldado			
				h/ corte	h/ armado	h/ soldado	h/ acabado
1.1	Viga principal sección constante	Piezas	18	0,25	2,5	4	2
1.2	Viga principal (sección variable)	Piezas	18	0,25	2,5	4	2
2	Columna	Piezas	18	1,5	5	6	4
3	Resumen componentes 1.1, 1.2 y 2	Global	1	36	20	28	16
4	Vigas laterales	Global	1	18	9	5	2,5
5	Pernos de anclaje	Global	1	3	27	1	0
6	Clavadores	Global	1	9	9	0	2
7	Tensores de techo	Global	1	4,5	0	1	1
8	Tensores de pared	Global	1	4,5	9	6	1
9	Bracones	Global	1	4,5	4,5	0	0,5
10	Columnas secundarias	Global	1	22,5	135	3	2
11	Vigas longitudinales de techo	Global	1	13,5	9	2	3
12	Cinchas	Global	1	9	18	0	1
13	Tubo monitor	Global	1	4,5	0	0	0,5
14	Canal de baldosa	Global	1	4,5	45	0	1

Cuadro 4.5. Tiempos requeridos en cada etapa de construcción por pieza para prototipo pernado

ID	Componente	Unidad	Cant.	Prototipo pernado			
				h/ corte	h/ armado	h/ soldado	h/ acabado
1.1	Viga principal sección constante	Piezas	18	0,25	3	4	2
1.2	Viga principal (sección variable)	Piezas	18	0,30	3	4	2
2	Columna	Piezas	18	1,5	7	7	4
3	Resumen componentes 1.1, 1.2 y 2	Global	1	36	180	252	144
4	Vigas laterales	Global	1	18	18	5	22,5
5	Pernos de anclaje	Global	1	3	27	9	0
6	Clavadores	Global	1	9	27	0	18
7	Tensores de techo	Global	1	4,5	0	9	9
8	Tensores de pared	Global	1	4,5	9	6	9
9	Bracones	Global	1	4,5	13,5	0	4,5
10	Columnas secundarias	Global	1	22,5	135	27	18
11	Vigas longitudinales de techo	Global	1	13,5	18	18	27
12	Cinchas	Global	1	9	18	0	9
13	Tubo monitor	Global	1	4,5	0	0	4,5
14	Canal de baldosa	Global	1	4,5	45	0	9

Una vez cuantificados los tiempos requeridos se determinan las duraciones de las actividades. En ambos casos se considera la continuidad de cada cuadrilla de las 4 etapas.

4.3. Medición de equipos requeridos en taller

Según el registro histórico de la empresa constructora los equipos requeridos para ambos prototipos son los mismos, sin embargo los equipos de corte de piezas requieren un mayor uso, particularidad que no impacta en el cronograma final ya que las actividades de corte son programadas la semana previa al inicio de los procesos de armado, resoldado y acabados.

4.3.1. Descripción de equipos requeridos en taller para ambos prototipos

Los equipos requeridos se componen de herramientas eléctricas, hidráulicas y manuales. Se utilizaron equipos de última tecnología de corte con plasma y oxicorte los cuales agilizan el proceso y uniformizan la calidad al aumentar la precisión de cortes y agujeros. Este equipo se conoce como Control numérico de corte o CNC por sus siglas en inglés ("*Cutting Numeric Control*"), el cual puede realizar cortes con plasma así como oxicorte que utiliza una mezcla entre el gas del corte normal del plasma y oxígeno. Este tipo de corte logra una mejor verticalidad en el corte en placas de gran espesor, normalmente se **utiliza en cortes de placas con espesores mayor o equivalentes a 1.59 cm (5/8")**. Este tipo de máquina puede tener velocidades de corte que oscilan entre los 50 mm/min a los 35560 mm/min en función del espesor de placa que se corte.

Otra herramienta de corte utilizada es la guillotina marca Cincinnati, equipo con funcionamiento hidráulico que realiza cortes lineales en placas de hasta 1,27 cm de espesor. La operación de esta máquina es sencilla y representa uno de los equipos de corte más utilizados.

Para la confección de agujeros se utilizan taladros magnéticos de alta precisión los cuales realizan las perforaciones guiados por plantillas para cada componente perforado.

Las soldaduras de la etapa de armado se realizan con soldadoras electrodo de tipo capilla de 220 voltios, con las cuales únicamente se colocan puntos de soldadura en puntos estratégicos según la pieza. Para el proceso de resoldado se utilizan soldadoras tipo Mig de arco protegido con gas, las cuales son mucho más eficientes y precisas que las soldadoras de tipo electrodo.

4.3.2. Cantidades de equipos para ambos prototipos

A continuación se presenta un cuadro con los equipos utilizados en la construcción de la estructura. Bajo el concepto de línea de producción se utiliza un conjunto de equipos equivalente tanto para el prototipo pernado como para el prototipo soldado.

Cuadro 4.2. Equipos utilizados en la construcción de la estructura en etapa de taller

Equipo	Días prototipo soldado	Días prototipo pernado
Cortadora CNC	3	4
Guillotina 2.5 metros	3	4
Taladro magnético	6	8
Esmeriladora	6	8
Soldadora de electrodo y máscara	48	60
Cinta manual 8 m	108	127.5
Maso 5 kg	108	127.5
Escuadras	108	127.5
Prensa tipo sargento	144	180
Niveles	48	60
Plomo	48	60
Cinta manual 50 m	0	0
Soldadora tipo Mig y máscara	60	67.5
Tanque acetileno	0	0
Cuerda de nylon	48	60
Montacargas	18	32
Montacargas telescópico	18	32
Compresor y pistola	36	41
Accesorios de limpieza de piezas	28	32



Figura 4.1. Equipos utilizados, guillotina (superior izquierda), cortadora CNC (superior derecha), taladro magnético (intermedia izquierda), soldadora tipo Mig (intermedia derecha), montacargas (inferior izquierda), equipo manual (inferior derecha).

Por la cantidad constante de recursos en taller, herramienta y mano de obra, se define todo el conjunto como una herramienta general (identificando en taller con un tamaño aproximado de 3500 m²) con una serie de herramientas definidas, por lo tanto se establece como recursos requeridos para cada prototipo una cantidad de días de operación del taller para la construcción de cada prototipo.

4.4. Comparación de resultados entre prototipos en etapa de construcción en taller

Los siguientes cuadros presentan una comparación de los resultados obtenidos de la comparación de los prototipos en materiales, mano de obra y equipos requeridos en etapa de taller.

4.4.1. Comparación de materiales requeridos

El siguiente cuadro presenta la comparación entre materiales requeridos para cada prototipo así como una estimación del diferencial.

Cuadro 4.7. Peso de piezas según prototipo y diferencial entre ambos sistemas

Pieza	Peso (kg)			Cantidad total en estructura	Diferencial total		
	Pernada	Soldada	Diferencia/pieza (kg)		Peso (kg)	%	
1	Columnas principales de marcos	663,80	641,19	22,61	18	407,01	3,53%
2	Vigas de amarre superiores	120,25	90,98	29,27	16	468,30	32,17%
3	Vigas principales	1169,42	1094,95	74,48	9	670,30	6,80%
4	Vigas de amarre entre marcos	597,21	597,21	0,00	8	0,00	0,00%
5	Tensores de techo en tubo	3396,58	3396,58	0,00	1	0,00	0,00%
6	Clavadores de techo	5596,42	5651,40	-54,98	1	-54,98	-0,97%
7	Cinchas entre clavadores de techo	454,04	454,04	0,00	1	0,00	0,00%
8	Vigas de amarre entre marcos longitudinales a 2,5 msnpt	120,25	90,98	29,27	16	468,30	32,17%
9	Columnas secundarias	2217,66	2217,66	0,00	1	0,00	0,00%
10	Tensores de pared marcos longitudinales	865,97	844,27	21,70	1	21,70	2,57%
11	Vigas de amarre entre marcos transversales a 2,5 msnpt	1498,79	1030,50	468,30	1	468,30	45,44%
12	Tensores de pared marcos transversales	386,94	381,42	5,51	1	5,51	1,45%
13	Bracones de pared	218,35	218,35	0,00	1	0,00	0,00%
14	Bracones de vigas	430,68	440,17	-9,49	1	-9,49	-2,16%
Prototipo de estructura		Peso (kg)		Diferencial (kg)	Diferencial porcentual		
Estructura conexiones pernadas		46164,37		2444,94	5,59%		
Estructura conexiones soldadas		43719,43					

Los desperdicios de material de material son prácticamente idénticos en ambos prototipos ya que ambos sistemas requieren la misma cantidad y tipo de las piezas, las cuales no varían su dimensión. El desperdicio del porcentaje adicional de material sería aproximadamente un 3% del diferencial lo cual es una cantidad muy bajo (cerca de 75 kg) respecto al total del peso de la estructura por lo tanto se omite su consideración.

4.4.2. Comparación de tiempos de construcción entre ambos prototipos

Los siguientes cuadros presentan la comparación entre tiempos de construcción requeridos así como un cronograma de ejecución para cada prototipo.

Cuadro 4.8. Tiempos requeridos en cada etapa de construcción por pieza para ambos prototipos

ID	Componente	Und.	Cant	Prototipo pernado				Prototipo soldado			
				h/ corte	h/ armado	h/ soldado	h/ acabado	h/ corte	h/ armado	h/ soldado	h/ acabado
1.1	Viga principal sección constante	Piezas	18	0,250	3	4	2	0,25	2,5	4	2
1.2	Viga principal (sección variable)	Piezas	18	0,300	3	4	2	0,25	2,5	4	2
2	Columna	Piezas	18	1,5	7	7	4	1,5	5	6	4
3	Resumen 1.1, 1.2 y 2	Global	1	36	180	252	144	36	20	28	16
4	Vigas laterales	Global	1	18	18	5	22,5	18	9	5	2,5
5	Pernos de anclaje	Global	1	3	27	9	0	3	27	1	0
6	Clavadores	Global	1	9	27	0	18	9	9	0	2
7	Tensores de techo	Global	1	4,5	0	9	9	4,5	0	1	1
8	Tensores de pared	Global	1	4,5	9	6	9	4,5	9	6	1
9	Bracones	Global	1	4,5	13,5	0	4,5	4,5	4,5	0	0,5
10	Columnas secundarias	Global	1	22,5	135	27	18	22,5	135	3	2
11	Vigas longitudinales de techo	Global	1	13,5	18	18	27	13,5	9	2	3
12	Cinchas	Global	1	9	18	0	9	9	18	0	1
13	Tubo monitor	Global	1	4,5	0	0	4,5	4,5	0	0	0,5
14	Canal de baldosa	Global	1	4,5	45	0	9	4,5	45	0	1

Cuadro 4.9. Duración de actividades registradas en el cronograma de cada prototipo

Actividad	Duración (d)	
	Prototipo pernado	Prototipo soldado
Armado 9 columnas, 9 vigas secc. constante (A1, A2, A3)	3,3	2,5
Armado 9 columnas (A1)	7	5
Vigas longitudinales de techo (A1)	2	1
Cinchas	2	2
Canal para pared prefabricada (A1)	5	5
Armado 9 vigas secc. Constante (A2)	3	2,5
Armado pernos anclaje (A2)	3	3
Tensores de pared (A2)	1	1
Columnas secundarias (A2)	8	8
Bracones (A2)	1,5	0,5
Armado 9 vigas secc. Variable (A3)	3	2,5
Armado vigas de amarre (A3)	2	1
Clavadores (A3)	3	1
Armado 9 vigas secc. Variable (A3)	3	2,5
Columnas secundarias (A3)	5,5	5,5
Soldadura	22,5	20
Acabados	20,5	18

La siguiente figura muestra el cronograma del proceso constructivo en taller para una estructura pernada, la cual tarda 32 días en ser completada.

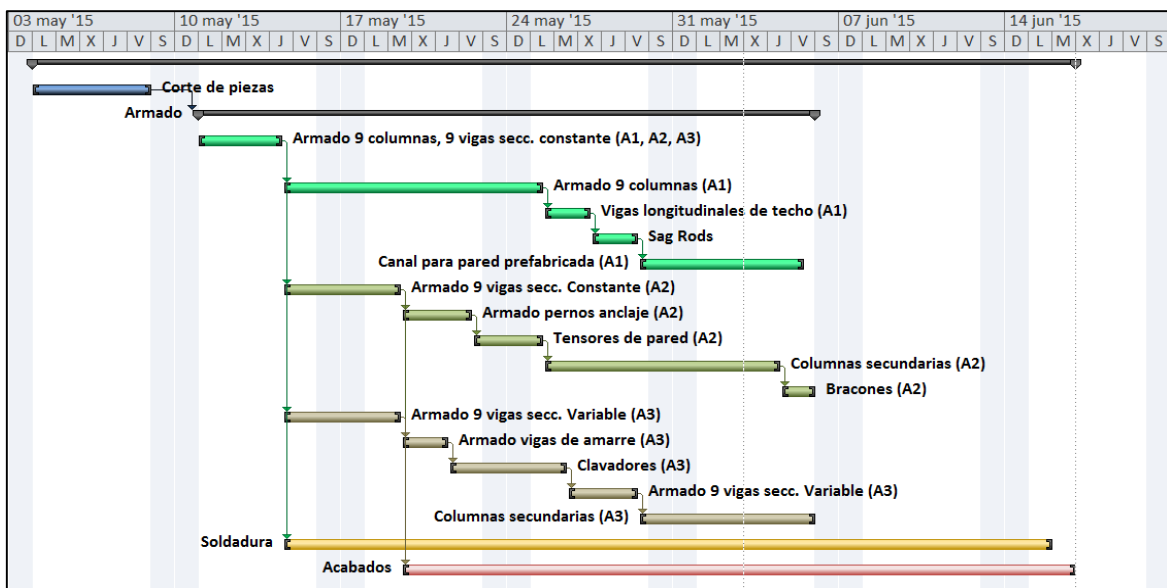


Figura 4.2. Cronograma etapa de taller estructura con conexiones pernadas.

La figura mostrada a continuación consiste en el cronograma del proceso constructivo en taller para una estructura soldada, la cual requiere 28 días en ser construida.

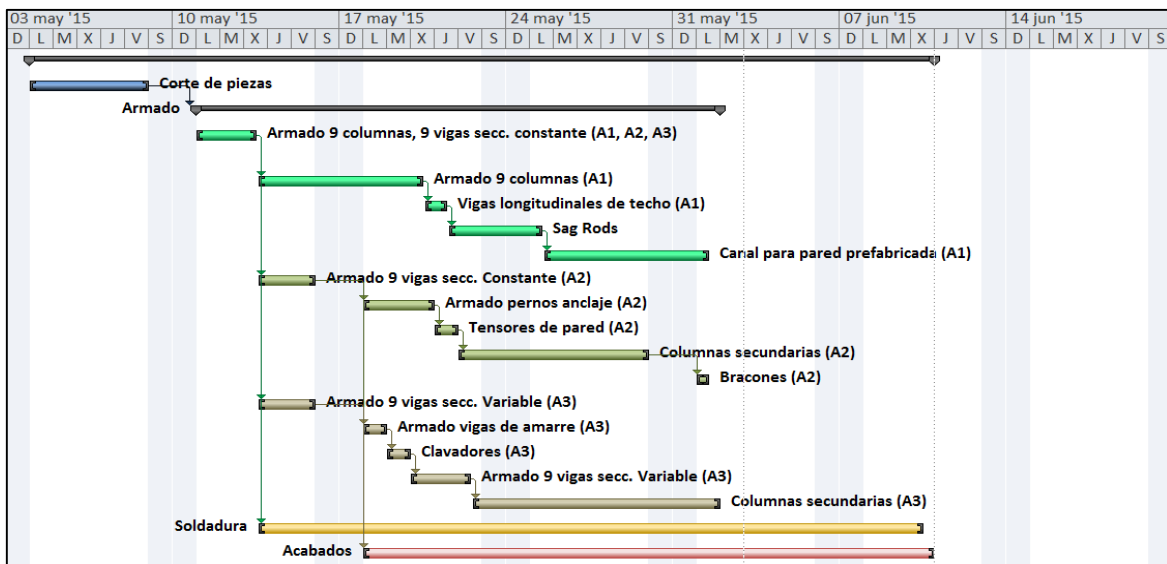


Figura 4.3. Cronograma etapa de taller estructura con conexiones soldadas.

Se determina que en etapa de taller el prototipo de estructura pernada requiere un mayor tiempo de ejecución en los procesos de armado soldadura y acabados. Esto se debe a que el proceso de armado contiene mayor cantidad de componentes adicionales, y por

consiguiente también se requiere mayor tiempo de soldadura y acabados que el prototipo soldado. Esta discrepancia de tiempos se puede resumir en un incremento de 4 días o porcentualmente 14,28% de tiempo más de construcción para la versión pernada con respecto a la versión soldada. De forma cualitativa ambos prototipos presentan un avance equivalente, sin embargo la duración de los procesos en sitio presenta importantes variaciones en los tiempos de ejecución, discrepancias que fueron determinadas en el **Capítulo 5**. El siguiente cuadro presenta la duración de las actividades así como las fechas de inicio y fin de las actividades.

Cuadro 4.10. Duración de actividades, inicio y fin de cada actividad

Nombre de tarea	Prototipo estructura soldada			Prototipo estructura soldada		
	Duración	Comienzo	Fin	Duración	Comienzo	Fin
Etapas de taller	32 días	lun 04/05/15	mar 16/06/15	28 días	lun 04/05/15	mié 10/06/15
Corte de piezas	5 días	lun 04/05/15	vie 08/05/15	5 días	lun 04/05/15	vie 08/05/15
Armado	20 días	lun 11/05/15	vie 05/06/15	16 días	lun 11/05/15	lun 01/06/15
Armado 9 columnas, 9 vigas secc. constante (A1, A2, A3)	3.5 días	lun 11/05/15	jue 14/05/15	2.5 días	lun 11/05/15	mié 13/05/15
Armado 9 columnas (A1)	7 días	jue 14/05/15	lun 25/05/15	5 días	mié 13/05/15	mié 20/05/15
Vigas longitudinales de techo (A1)	2 días	lun 25/05/15	mié 27/05/15	1 día	mié 20/05/15	jue 21/05/15
Cinchas	2 días	mié 27/05/15	vie 29/05/15	2 días	jue 21/05/15	lun 25/05/15
Canal para pared prefabricada (A1)	5 días	vie 29/05/15	vie 05/06/15	5 días	lun 25/05/15	lun 01/06/15
Armado 9 vigas secc. Constante (A2)	3 días	jue 14/05/15	mar 19/05/15	2.5 días	mié 13/05/15	vie 15/05/15
Armado pernos anclaje (A2)	3 días	mar 19/05/15	vie 22/05/15	3 días	lun 18/05/15	mié 20/05/15
Tensores de pared (A2)	1 día	vie 22/05/15	lun 25/05/15	1 día	jue 21/05/15	jue 21/05/15
Columnas secundarias (A2)	8 días	lun 25/05/15	jue 04/06/15	6 días	vie 22/05/15	vie 29/05/15
Bracones (A2)	1.5 días	jue 04/06/15	vie 05/06/15	0.5 días	lun 01/06/15	lun 01/06/15
Armado 9 vigas secc. Variable (A3)	3 días	jue 14/05/15	mar 19/05/15	2.5 días	mié 13/05/15	vie 15/05/15
Armado vigas de amarre (A3)	2 días	mar 19/05/15	jue 21/05/15	1 día	lun 18/05/15	lun 18/05/15
Clavadores (A3)	3 días	jue 21/05/15	mar 26/05/15	1 día	mar 19/05/15	mar 19/05/15
Armado 9 vigas secc. Variable (A3)	3 días	mar 26/05/15	vie 29/05/15	2.5 días	mié 20/05/15	vie 22/05/15
Columnas secundarias (A3)	5.5 días	vie 29/05/15	vie 05/06/15	6.5 días	vie 22/05/15	lun 01/06/15
Soldadura	22.5 días	jue 14/05/15	lun 15/06/15	20 días	mié 13/05/15	mié 10/06/15
Acabados	20.5 días	mar 19/05/15	mar 16/06/15	18 días	lun 18/05/15	mié 10/06/15

4.4.3. Comparación de equipos requeridos para cada prototipo

Dado el sistema operacional del taller de tipo línea de producción con equipos y mano de obra constante, se define todo el conjunto como un recurso general que debe ser destinado una cantidad de días para la construcción de cada estructura. En el caso del prototipo pernado se requieren 32 días de taller, en el prototipo soldado se requieren 28 días de taller con un diferencial entre ambos de 4 días de taller.

CAPÍTULO 5: ESTIMACIÓN DE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS EN ETAPA DE MONTAJE EN SITIO

5.1. Estimación de materiales en campo

La estructura está planificada con el concepto de maximizar la prefabricación en taller buscando que la etapa de campo consista en el ensamblaje de las piezas independientemente del prototipo. Sin embargo cada tipo específico de prototipo requiere una serie de materiales por el proceso particular de ensamblaje de tipo pernado o de tipo soldado. Específicamente el prototipo con conexiones soldadas requiere una cantidad mayor de materiales para sistemas de apuntalamiento y aplomado de las piezas. A continuación se detalla la metodología de medición y cantidades de materiales requeridos.

5.1.1. Metodología de estimación en sitio de montaje

Los materiales requeridos en etapa de campo para el prototipo de conexiones pernadas son cuantificados mediante la visita al sitio de construcción, donde se contabilizan los materiales requeridos. Para la versión soldada se recurre al registro de materiales de la empresa constructora, compañía con amplia experiencia en la construcción ambos prototipos. Las mediciones se limitan a componentes de la estructura principal sin considerar componentes secundarios correspondientes al uso de la estructura.

5.1.2. Cantidades de materiales según prototipo

Los materiales consisten en perfiles tubulares y varillas los cuales son utilizados en sistema de apuntalamientos. Las cantidades de materiales requeridas se resumen en el siguiente cuadro. En el prototipo soldado el apuntalamiento es requerido, ya que la viga central se coloca en dos partes que son soldadas en posición.

Cuadro 5.1. Materiales requeridos en sitio según prototipo

Componente	Prototipo versión pernada		Prototipo versión soldada		Diferencial	
	Cantidad	Peso en kg	Cantidad	Peso en kg	(kg)	(%)
Tubo de 0.18x10x10 cm longitud 6 metros	0	0	10	339,12	186,5	87,9%
Tubo de 0.18x7.5x7.5 cm longitud 6 metros	6	152,60	0	0		
Varillas #6 longitud 6 metros	4	53,64	4	53,64		
Alambre negro	1	6	1	6		
Peso total (kg)	212,2		398,8			

La siguiente figura muestra un ejemplo del sistema de apuntalamiento para un marco del prototipo soldado.



Figura 5.1 Apuntalamiento en marcos de prototipo soldado en Desamparados, San José Costa Rica

5.2. Medición de mano de obra en campo

La medición de mano de obra requerida en campo se realizó en un prototipo pernado de una estructura con uso de supermercado en Puriscal, San José de Costa Rica, construido entre los meses de junio y agosto del 2015, con horario de mediciones de 6:00 am a 5:00 pm. Esta estructura contiene piezas que componen la estructura principal así como un conjunto de piezas secundarias que son excluidas de esta investigación ya que son destinadas a cerramientos y funciones arquitectónicas particulares de un tipo específico de proyecto.

5.2.1. Metodología de medición

La metodología de medición de rendimientos de mano de obra en el sitio de montaje para la versión de estructura pernada consiste en identificar cada uno de los procesos requeridos para la construcción de la estructura principal. En la investigación se detecta 14 procesos distintos asociados a 14 diferentes tipos de piezas que componen la estructura. Se realizan levantamientos de las duraciones de cada subactividad que componen los montajes de cada pieza, y se realizan mediciones para todas las piezas colocadas en sitio con el apoyo de plantillas especialmente diseñadas para cada actividad. El apéndice D muestra algunos ejemplos de plantillas utilizadas. Finalmente se genera un promedio de duración por instalación de pieza. Con los registros de las actividades y el seguimiento diario del proyecto se confecciona el cronograma total del proyecto. En el caso de la estructura con conexiones soldadas se utiliza el registro de rendimientos de la empresa constructora.

5.2.2. Cantidades de mano de obra según pieza y prototipo

A continuación se presentan los cuadros resumen con las duraciones por pieza. El apéndice E muestra el desglose de tiempos de las actividades que componen la duración total.

Cuadro 5.2. Duraciones por piezas colocación de columnas principales

Datos del componente				00:24	00:24
Columna	Inicio	Fin	Duración (horas)	Fecha	Duración soldada*
A-1	11:00	11:50	00:50	22/07/2015	00:24
A-2	11:50	12:15	00:25	22/07/2015	
A-4	12:45	13:10	00:25	22/07/2015	
A-5	13:30	13:50	00:20	22/07/2015	
A-6	14:00	14:15	00:15	22/07/2015	
A-7	14:45	15:00	00:15	22/07/2015	
A-8	15:05	15:20	00:15	22/07/2015	
A-9	15:20	15:40	00:20	22/07/2015	
A-10	16:00	16:20	00:20	22/07/2015	
I-1	09:05	10:10	01:05	23/07/2015	
I-2	10:15	10:38	00:23	23/07/2015	
I-4	10:38	11:02	00:24	23/07/2015	
I-5	11:30	11:50	00:20	23/07/2015	
I-6	11:50	12:15	00:25	23/07/2015	
I-7	12:50	13:08	00:18	23/07/2015	
I-8	14:00	14:20	00:20	23/07/2015	
I-9	14:20	14:39	00:19	23/07/2015	
I-10	14:45	15:06	00:21	23/07/2015	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora de proyectos con antigüedad menor a 5 años

La siguiente figura presenta un momento en el proceso de instalación de columnas, para un proyecto investigado en Puriscal, San José.



Figura 5.2 Instalación de columnas principales proyecto en Puriscal, San José

Cuadro 5.3. Duraciones colocación de vigas de amarre entre columnas

Duración promedio (hr)			00:17	Fecha	00:58
Viga	Inicio	Fin	Duración (horas)		Duración soldada*
Viga de amarre superior A:1-2	16:00	16:19	00:19	(M 22 7 2015)	00:58
Viga de amarre superior A:2-4	16:20	16:38	00:18	(M 22 7 2015)	
Viga de amarre superior A:4-5	16:40	16:55	00:15	(M 22 7 2015)	
Viga de amarre superior A:5-6	07:15	07:25	00:10	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior A:6-7	07:30	07:45	00:15	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior A:7-8	07:45	08:05	00:20	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior A:8-9	08:25	08:44	00:19	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior A:9-10	08:45	09:00	00:15	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior I:1-2	09:10	09:30	00:20	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior I:2-4	09:30	09:48	00:18	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior I:4-5	09:50	10:10	00:20	(J 23 7 2015)	
Viga de amarre superior I:5-6	14:40	15:00	00:20	(V 24 7 2015)	
Viga de amarre superior I:6-7	15:02	15:15	00:13	(V 24 7 2015)	
Viga de amarre superior I:7-8	15:15	15:30	00:15	(V 24 7 2015)	
Viga de amarre superior I:8-9	15:30	15:47	00:17	(V 24 7 2015)	
Viga de amarre superior I:9-10	15:50	16:09	00:19	(V 24 7 2015)	

Cuadro 5.4. Duraciones por piezas colocación vigas principales

Duración promedio (horas)			02:22	Fecha	07:18
Viga	Inicio	Fin	Duración (horas)		Duración soldada (horas)*
Viga eje 1	10:20	15:30	04:10	(K 28 7 2015)	07:18
Viga eje 2	08:30	10:50	02:20	(M 29 7 2015)	
Viga eje 4	11:45	14:50	02:00	(M 29 7 2015)	
Viga eje 5	08:20	10:45	02:10	(J 30 7 2015)	
Viga eje 6	10:52	14:30	02:08	(J 30 7 2015)	
Viga eje 7	15:20	08:10	02:19	(V 31 7 2015)	
Viga eje 8	08:30	10:40	01:58	(V 31 7 2015)	
Viga eje 9	11:00	14:20	02:06	(V 31 7 2015)	
Viga eje 10	15:30	08:50	02:13	(S 1 8 2015)	



Figura 5.3 Instalación de vigas principales

Cuadro 5.5. Duraciones por pieza colocación vigas de amarre entre marcos

Duración promedio (horas)	Versión pernada	Versión soldada*
Elemento	00:36	01:02
Vigas de amarre entre ejes 1-2	00:40	01:02
Vigas de amarre entre ejes 2-4	00:30	
Vigas de amarre entre ejes 4-5	00:38	
Vigas de amarre entre ejes 5-6	00:35	
Vigas de amarre entre ejes 6-7	00:36	
Vigas de amarre entre ejes 7-8	00:37	
Vigas de amarre entre ejes 8-9	00:36	
Vigas de amarre entre ejes 9-10	00:35	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora

Cuadro 5.6. Duraciones por piezas tensores de techo en sección tubular

Duración promedio (horas)	02:15			02:15
Elemento	Duración total instalación y resoldado	Elemento	Duración total instalación y resoldado	Duración soldada*
Tensor de techo en tubo 01	01:58	Tensor de techo en tubo 25	01:59	02:15
Tensor de techo en tubo 02	02:04	Tensor de techo en tubo 26	02:06	
Tensor de techo en tubo 03	02:18	Tensor de techo en tubo 27	02:19	
Tensor de techo en tubo 04	02:15	Tensor de techo en tubo 28	02:24	
Tensor de techo en tubo 05	02:13	Tensor de techo en tubo 29	02:27	
Tensor de techo en tubo 06	02:09	Tensor de techo en tubo 30	02:39	
Tensor de techo en tubo 07	02:23	Tensor de techo en tubo 31	02:06	
Tensor de techo en tubo 08	02:09	Tensor de techo en tubo 32	02:11	
Tensor de techo en tubo 09	02:13	Tensor de techo en tubo 33	02:30	
Tensor de techo en tubo 10	02:18	Tensor de techo en tubo 34	02:30	
Tensor de techo en tubo 11	02:25	Tensor de techo en tubo 35	02:32	
Tensor de techo en tubo 12	02:16	Tensor de techo en tubo 36	02:26	
Tensor de techo en tubo 13	02:15	Tensor de techo en tubo 37	02:18	
Tensor de techo en tubo 14	02:19	Tensor de techo en tubo 38	02:30	
Tensor de techo en tubo 15	02:09	Tensor de techo en tubo 39	02:25	
Tensor de techo en tubo 16	02:13	Tensor de techo en tubo 40	02:14	
Tensor de techo en tubo 17	02:19	Tensor de techo en tubo 41	02:25	
Tensor de techo en tubo 18	02:20	Tensor de techo en tubo 42	02:11	
Tensor de techo en tubo 19	02:20	Tensor de techo en tubo 43	02:18	
Tensor de techo en tubo 20	02:18	Tensor de techo en tubo 44	02:18	
Tensor de techo en tubo 21	02:15	Tensor de techo en tubo 45	02:18	
Tensor de techo en tubo 22	02:26	Tensor de techo en tubo 46	02:22	
Tensor de techo en tubo 23	02:16	Tensor de techo en tubo 47	02:35	
Tensor de techo en tubo 24	02:22	Tensor de techo en tubo 48	02:27	

Cuadro 5.7. Duración promedio colocación de clavadores

Elemento	Duración promedio P (horas)	Versión soldada*
Montaje clavador	00:10	00:20

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora

La siguiente figura muestra el proceso de instalación de tensores de techo en sección tubular.



Figura 5.4 Instalación de tensores de techo en tubo

Cuadro 5.8. Duraciones por pieza colocación de cinchas

Duración promedio (horas)			02:05	Fecha	02:05
Elemento	Inicio	Fin	Duración		Versión soldada*
Zona 1 (1-2 y A-F)	06:00	08:10	02:10	05/08/2015	02:05
Zona 2 (2-4 y A-F)	08:10	10:15	02:05	05/08/2015	
Zona 3 (4-5 y A-F)	10:15	12:30	02:15	05/08/2015	
Zona 4 (5-6 y A-F)	13:00	15:05	02:05	05/08/2015	
Zona 5 (6-7 y A-F)	15:05	17:00	01:55	05/08/2015	
Zona 6 (7-8 y A-F)	07:00	09:15	02:15	06/08/2015	
Zona 7 (8-9 y A-F)	09:15	11:20	02:05	06/08/2015	
Zona 8 (9-10 y A-F)	11:20	13:20	02:00	06/08/2015	
Zona 9 (1-2 y F-I)	06:05	08:20	02:15	07/08/2015	
Zona 10 (2-4 y F-I)	08:20	10:17	01:57	07/08/2015	
Zona 11 (4-5 y F-I)	10:17	12:25	02:08	07/08/2015	
Zona 12 (5-6 y F-I)	13:00	15:00	02:00	07/08/2015	
Zona 13 (6-7 F-I)	15:00	17:05	02:05	07/08/2015	
Zona 14 (7-8 y F-I)	06:00	08:12	02:12	08/08/2015	
Zona 15 (8-9 y F-I)	08:12	10:13	02:01	08/08/2015	
Zona 16 (9-10 y F-I)	10:13	12:20	02:07	08/08/2015	

La figura mostrada a continuación presenta un momento en la etapa de instalación de cinchas entre clavadores.



Figura 5.5 Instalación de cinchas entre clavadores

Cuadro 5.9. Duraciones colocación de vigas de amarre longitudinales a 2,5 s.n.p.t.

Duración promedio (horas:minutos)			01:31	Fecha	02:29
Elemento	Inicio	Fin	Duración		Versión soldada*
Viga de amarre eje A entre ejes 10-9	10:30	12:05	01:35	10/08/2015	02:29
Viga de amarre eje A entre ejes 9-8	13:00	14:35	01:35	10/08/2015	
Viga de amarre eje A entre ejes 8-7	14:40	16:10	01:30	10/08/2015	
Viga de amarre eje A entre ejes 7-6	08:15	09:44	01:29	11/08/2015	
Viga de amarre eje A entre ejes 5-6	09:50	11:20	01:30	11/08/2015	
Viga de amarre eje A entre ejes 5-4	11:20	14:05	01:30	11/08/2015	
Viga de amarre eje A entre ejes 4-2	11:20	14:05	01:30	11/08/2015	
Viga de amarre eje A entre ejes 2-1	13:25	14:55	01:30	11/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 10-9	06:15	07:55	01:40	12/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 9-8	08:00	09:30	01:30	12/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 8-7	09:30	11:05	01:35	12/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 7-6	11:05	12:30	01:25	12/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 5-6	13:00	14:32	01:32	12/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 5-4	14:32	16:00	01:28	12/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 4-2	16:00	17:24	01:24	12/08/2015	
Viga de amarre eje I entre ejes 2-1	06:15	07:50	01:35	13/08/2015	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora con una antigüedad máxima de 5 años

Cuadro 5.10. Duraciones por pieza colocación de columnas secundarias

Duración promedio (horas:minutos)	02:29	02:29
Elemento tipo columna	Duración (horas)	Versión soldada*
81-128	02:45	02:29
81-132	02:55	
81-124	02:25	
81-129	02:38	
81-130	02:45	
81-133	02:37	
81-134	02:50	
81-131-I1	01:40	
81-131-I2	01:36	
81-131-A1	01:40	
81-131-A2	01:32	
81-124	03:00	
81-125	03:09	
81-126	02:43	
81-127	03:02	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora con una antigüedad máxima de 5 años

Cuadro 5.11. Duraciones colocación de tensores de pared en marcos longitudinales

Duración promedio (horas:minutos)	01:18	01:47
Elemento	Versión pernada	Versión soldada*
Tensor de pared 1 (superior en eje I de 9-8)	01:15	01:47
Tensor de pared 2 (superior en eje I de 9-8)	01:15	
Tensor de pared 3 (inferior en eje I de 8-7)	01:10	
Tensor de pared 4 (inferior en eje I de 8-7)	01:10	
Tensor de pared 5 (superior en eje I de 5-4)	01:24	
Tensor de pared 6 (superior en eje I de 5-4)	01:20	
Tensor de pared 7 (inferior en eje I de 5-4)	01:15	
Tensor de pared 8 (inferior en eje I de 5-4)	01:16	
Tensor de pared 9 (superior en eje A de 9-8)	01:30	
Tensor de pared 10 (superior en eje A de 9-8)	01:27	
Tensor de pared 11 (inferior en eje A de 8-7)	01:28	
Tensor de pared 12 (inferior en eje A de 8-7)	01:10	
Tensor de pared 13 (superior en eje A de 5-4)	01:25	
Tensor de pared 14 (superior en eje A de 5-4)	01:27	
Tensor de pared 15 (inferior en eje A de 5-4)	01:10	
Tensor de pared 16 (inferior en eje A de 5-4)	01:15	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora con una antigüedad máxima de 5 años



Figura 5.6 Instalación de tensores de pared en marcos longitudinales

Cuadro 5.12. Duraciones por pieza colocación de vigas a 2,5 metros sobre el nivel de piso de la nave en marcos transversales

Duración promedio (horas:minutos)			01:28	Fecha	02:20
Elemento	Inicio	Fin	Duración		Versión soldada*
Instalación viga 1 a 2.5 msnt Eje 1	08:30	10:05	01:35	10/08/2015	02:20
Instalación viga 2 a 2.5 msnt Eje 1	10:05	11:35	01:30	10/08/2015	
Instalación viga 3 a 2.5 msnt Eje 1	11:35	13:45	01:35	10/08/2015	
Instalación viga 4 a 2.5 msnt Eje 1	14:00	15:30	01:30	11/08/2015	
Instalación viga 5 a 2.5 msnt Eje 1	15:30	17:04	01:34	11/08/2015	
Instalación viga 6 a 2.5 msnt Eje 1	06:00	07:20	01:20	11/08/2015	
Instalación viga 7 a 2.5 msnt Eje 1	07:20	08:30	01:10	11/08/2015	
Instalación viga 8 a 2.5 msnt Eje 1	08:30	09:40	01:10	11/08/2015	
Instalación viga 1 a 2.5 msnt Eje 10	10:10	11:50	01:40	12/08/2015	
Instalación viga 2 a 2.5 msnt Eje 10	12:30	14:00	01:30	12/08/2015	
Instalación viga 3 a 2.5 msnt Eje 10	14:00	15:30	01:30	12/08/2015	
Instalación viga 4 a 2.5 msnt Eje 10	15:30	17:02	01:32	12/08/2015	
Instalación viga 5 a 2.5 msnt Eje 10	09:00	10:31	01:31	12/08/2015	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora con una antigüedad máxima de 5 años

Cuadro 5.13. Duraciones colocación de tensores de pared en marcos transversales

Duración promedio	01:18	01:45
Elemento	Duración (hr)	Versión soldada*
Tensor de pared 17 (superior en eje 1)	01:20	01:45
Tensor de pared 18 (superior en eje 1)	01:25	
Tensor de pared 19 (superior en eje 1)	01:15	
Tensor de pared 20 (superior en eje 1)	01:18	
Tensor de pared 21 (superior en eje 10)	01:19	
Tensor de pared 22 (superior en eje 10)	01:17	
Tensor de pared 23 (superior en eje 10)	01:13	
Tensor de pared 24 (superior en eje 10)	01:20	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora con una antigüedad máxima de 5 años

Cuadro 5.14. Duraciones por pieza colocación de bracones en paredes

Duración promedio	Versión pernada		01:13	01:13
Elemento	Duración	Elemento	Duración	Versión soldada*
Eje A en 10	00:55	Eje I en 10	00:57	01:13
Eje A en 9	01:30	Eje I en 9	01:30	
Eje A en 8	01:30	Eje I en 8	01:20	
Eje A en 7	01:25	Eje I en 7	01:15	
Eje A en 6	01:10	Eje I en 6	01:22	
Eje A en 5	01:08	Eje I en 5	01:30	
Eje A en 4	01:10	Eje I en 4	01:30	
Eje A en 2	01:20	Eje I en 2	01:32	
Eje A en 1	00:55	Eje I en 1	01:00	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora con una antigüedad máxima de 5 años

La siguiente figura presenta el proceso de instalación de bracones de pared.



Figura 5.7 Instalación de bracones de pared

Cuadro 5.15. Duraciones por pieza colocación de bracones en paredes

Duración promedio (horas)	00:29	01:06
Elemento	Duración (horas)	Versión soldada*
Eje A en 10	00:21	01:06
Eje A en 9	00:30	
Eje A en 8	00:31	
Eje A en 7	00:30	
Eje A en 6	00:28	
Eje A en 5	00:30	
Eje A en 4	00:30	
Eje A en 2	00:31	
Eje A en 1	00:25	
Eje I en 10	00:29	
Eje I en 9	00:30	
Eje I en 8	00:32	
Eje I en 7	00:31	
Eje I en 6	00:30	
Eje I en 5	00:31	
Eje I en 4	00:30	
Eje I en 2	00:28	
Eje I en 1	00:25	

* Duración obtenida del registro histórico de la compañía constructora con una antigüedad máxima de 5 años

El desglose de tiempos por piezas medidas para el prototipo pernado puede ser encontrado en el Apéndice E. El tamaño y tipo de cuadrillas fue determinado en campo para el prototipo pernado, en el caso de la versión con conexiones soldadas la compañía constructora cuenta con registros de cuadrillas utilizadas anteriormente en proyectos equivalentes en dimensiones y estructuración. El siguiente cuadro muestra una recopilación estadística de las duraciones.

Cuadro 5.16. Recopilación estadística de las duraciones medidas (cont.)

Actividad	Prototipo pernado				Prototipo soldado			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar
01-Instalación de columnas principales de marcos	01:05	00:15	00:24	00:12	ND	ND	00:24	ND
02-Instalación vigas de amarre superiores	00:20	00:10	00:17	00:02	ND	ND	00:58	ND
03-Instalación vigas principales	04:10	01:58	02:22	00:40	ND	ND	07:18	ND
04-Instalación vigas de amarre entre marcos	01:45	00:15	01:02	00:29	ND	ND	01:02	ND
05-Instalación tensores de techo en tubo	02:39	01:58	02:15	00:08	ND	ND	02:15	ND
06-Instalación clavadores	00:11	00:09	00:10	00:00	ND	ND	00:20	ND
07-Instalación de cinchas	02:15	01:55	02:05	00:06	ND	ND	02:05	ND

ND: Dato no disponible

Cuadro 5.17. Recopilación estadística de las duraciones medidas

Actividad	Prototipo pernado				Prototipo soldado			
	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar
08- Vigas de amarre entre marcos longitudinales a 2.5 msnpt	01:40	01:24	01:31	00:04	ND	ND	02:29	ND
09-Intalación columnas secundarias	03:09	01:32	02:29	00:34	ND	ND	02:29	ND
10-Intalación tensores de pared marcos longitudinales	01:30	01:10	01:18	00:07	ND	ND	01:47	ND
11-Intalación vigas de amarre entre marcos transversales a 2.5 msnpt	01:40	01:10	01:28	00:09	ND	ND	02:20	ND
12-Intalación tensores de pared marcos transversales	01:25	01:13	01:18	00:03	ND	ND	01:45	ND
13-Intalación bracones de pared	01:32	00:57	01:19	00:13	ND	ND	01:13	ND
14-Intalación bracones de vigas	00:32	00:21	00:29	00:02	ND	ND	01:06	ND

Los siguientes cuadros muestran el tamaño y composición de cuadrillas según actividad y prototipo de estructura.

Cuadro 5.18. Conformación de cuadrillas según actividades y prototipo de estructura (cont.)

1-Cuadrilla columnas principales			2-Cuadrilla vigas de amarre lateral superior		
Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada	Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada
Operario / Soldador	3	3	Operario / Soldador	1	2
Ayudante	6	6	Ayudante	2	2
Operador de grúa	1	1	Operador de grúa	0	0
3-Cuadrilla vigas principales			4-Cuadrilla vigas de amarre entre marcos		
Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada	Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada
Operario / Soldador	3	5	Operario / Soldador	3	4
Ayudante	4	4	Ayudante	4	4
Operador de grúa	1	1	Operador de grúa	0	0
5-Cuadrilla tensores de techo en tubo			6-Cuadrilla clavadores		
Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada	Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada
Operario / Soldador	4	4	Operario / Soldador	0	4
Ayudante	2	2	Ayudante	4	0
Operador de grúa	0	0	Operador de grúa	0	0

Cuadro 5.19. Conformación de cuadrillas según actividades y prototipo de estructura

7-Cuadrilla instalación de Cinchas			8-Cuadrilla vigas amarre 2.5 msnpt longitudinales		
Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada	Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada
Operario / Soldador	0	0	Operario / Soldador	1	2
Ayudante	2	2	Ayudante	2	1
Operador de grúa	0	0	Operador de grúa	0	0
09-Cuadrilla columnas secundarias			10-Cuadrilla tensores pared marcos longitudinales		
Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada	Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada
Operario / Soldador	4	4	Operario / Soldador	1	2
Ayudante	4	4	Ayudante	2	1
Operador de grúa	1	1	Operador de grúa	0	0
11-Cuadrilla vigas amarre 2.5msnpt marcos transversales			12-Cuadrilla tensores de pared marcos transversales		
Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada	Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada
Operario / Soldador	1	2	Operario / Soldador	1	2
Ayudante	2	1	Ayudante	2	1
Operador de grúa	0	0	Operador de grúa	0	0
13-Cuadrilla bracones de pared			14-Cuadrilla bracones de vigas		
Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada	Tipo de mano de obra	V. Pernada	V. Soldada
Operario / Soldador	1	1	Operario / Soldador	0	1
Ayudante	0	0	Ayudante	1	0
Operador de grúa	0	0	Operador de grúa	0	0

Las mediciones realizadas así como el uso de datos de la empresa permiten confeccionar los cronogramas de construcción de ambas estructuras. En el caso supuesto de la estructura soldada se establece su inicio ficticio el mismo día que el prototipo medido para facilitar la comparación entre ambos.

El sistema de ensamble en sitio con la utilización de conexiones pernadas requiere un tiempo inferior a la alternativa soldada, además requiere mano de obra menos especializada en proceso de soldadura en sitio. Adicionalmente el uso de conexiones soldadas implica una mayor vulnerabilidad a atrasos por efectos climatológicos ya que en caso de lluvia deben suspenderse todas las actividades de soldado. Estos posibles atrasos no son estimados en esta investigación sin embargo se aclara que están a favor de la hipótesis que se demostró con este estudio. En el caso particular de estructura investigada en Puriscal la afectación por lluvia fue prácticamente imperceptible por una condición climatológica particular de la época en que se realizó el estudio. El cronograma supuesto de estructura soldada no considera el efecto de retrasos por concepto de lluvias, por lo que se obtendrá un tiempo mínimo de ejecución de estructura soldada contra un tiempo real de estructura pernada. A continuación se presentan los cronogramas para ambos prototipos.

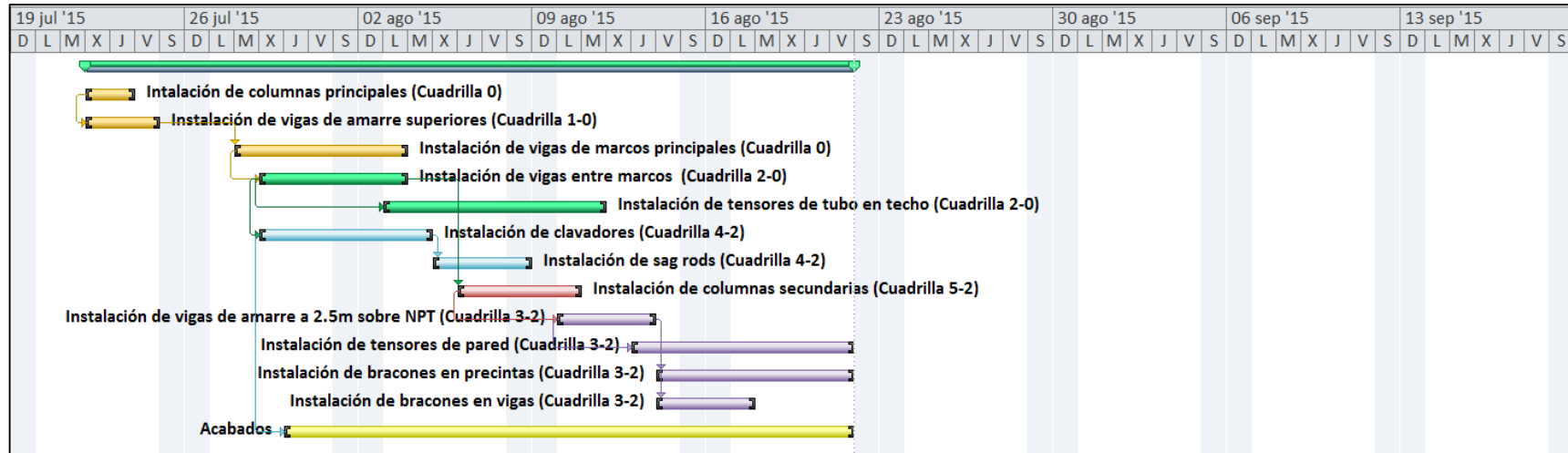


Figura 5.8 Cronograma etapa de campo prototipo pernado, duración total 23 días

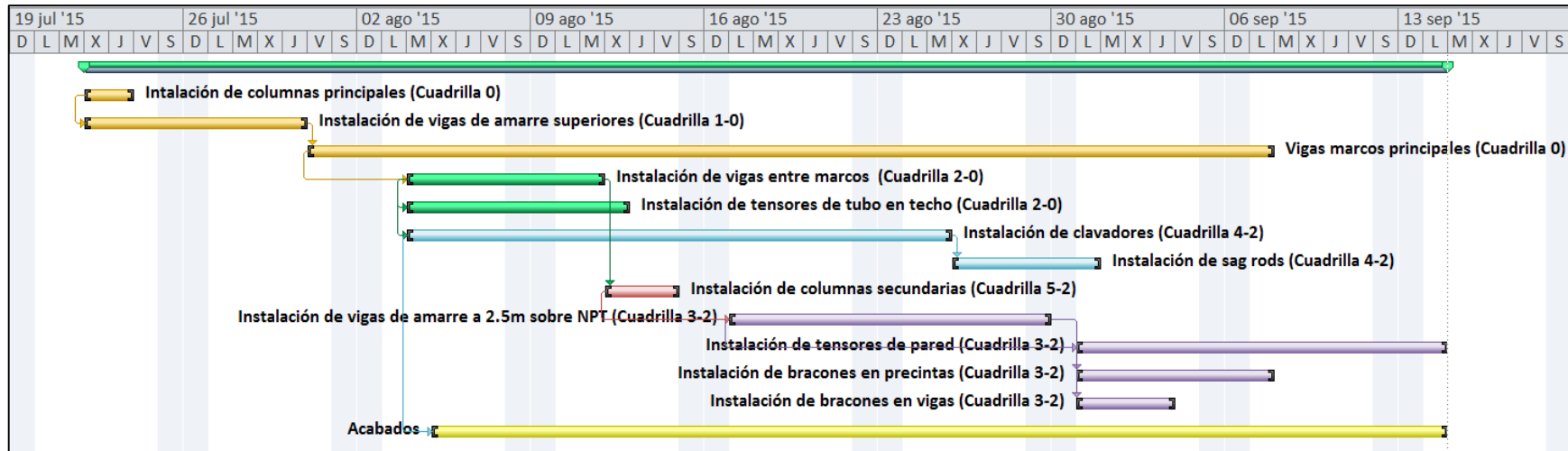


Figura 5.9 Figura: Cronograma etapa de campo prototipo soldado, duración total 39 días

Los cronogramas mostrados anteriormente muestran un diferencial entre ambos prototipos de 16 días, a favor del prototipo pernado. La discrepancia radica en que los procesos de conexiones para el montaje requieren tiempos distintos de ejecución por lo tanto los plazos se reducen en el caso del prototipo pernado.

5.3. Medición de equipos requeridos en campo

Los equipos requeridos en campo para la construcción de ambos prototipos son similares, sin embargo la cantidad de equipos presenta variaciones importantes según el prototipo, tales como las soldadoras, equipos de torqueo, entre otros.

El cuadro presentado a continuación tabula de forma general los equipos requeridos en ambos prototipos.

Cuadro 5.20. Lista de equipos requeridos en etapa de campo para ambos prototipos

Herramienta especializada	Herramienta manual
Grúa 30 toneladas	Prensa tipo sargento
Unidad de compresor 185 CNF	Llamador de pernos
Pistola de torque 1500-1800 lb	Llave manual de torque
Soldadora y máscara	Escaleras 3.5 m
Tanque acetileno	Plomo
Andamios 1.8 m	Niveles
Esmeriladora	Escuadras
Eslinga de nylon 12 m	Maso 5 kg
Cuerda de nylon 15 m	Cinta manual 8 m
Arnés	Cinta manual 50 m

5.3.1. Metodología de medición

La medición de equipos en campo se realizó mediante el uso de una plantilla general de equipos de la empresa constructora, donde se registraron la cantidad de equipos utilizados por cada actividad para el prototipo soldado, el apéndice F muestra la plantilla utilizada. En el caso de la estructura soldada se utiliza el registro de equipos empleados en proyectos análogos construidos en el pasado por la compañía constructora.

5.3.2. Cantidades de equipos según prototipo

Las cantidades de equipos requeridas según equipos se muestran en las siguientes tablas generadas a partir de la plantilla utilizada. En estas se indican la cantidad y tipo de

equipos según el prototipo soldado (S) o el prototipo pernado (P), para cada una de las catorce actividades que componen el montaje total de la estructura principal.

Cuadro 5.21. Cantidad de equipos requeridos en etapa de campo (cont.)

01-Equipo montaje de columnas principales				02-Equipo vigas de amarre lateral superior				
P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo
1	1	Grúa 8 toneladas	2	6	Prensa tipo sargento	0	0	Grúa 8 toneladas
1	0	Unidad de compresor 185 CNF	3	3	Eslinga de nylon 12 m	0	0	Unidad de compresor 185 CNF
0	2	Soldadora y máscara	1	1	Cuerda de nylon 15 m	1	2	Soldadora y máscara
2	0	Llamador de pernos	4	6	Arnés	0	0	Llamador de pernos
2	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras	2	0	Llave manual de torque
1	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	1	1	Niveles	0	0	Pistola de torque 1500-1800lb
1	1	Tanque acetileno	1	1	Plomo	1	1	Tanque acetileno
2	4	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg	1	2	Andamios 1.8 m
2	4	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m	1	1	Escaleras 3.5 m
1	1	Esmeriladora	1	1	Cinta manual 50 m	1	1	Esmeriladora
0	0		0	0		0	0	
03-Equipo montaje vigas principales				04-Equipo montaje vigas de amarre entre marcos				
P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo
1	1	Grúa 8 toneladas	2	6	Prensa tipo sargento	0	0	Grúa 8 toneladas
1	0	Unidad de compresor 185 CNF	3	3	Eslinga de nylon 12 m	0	0	Unidad de compresor 185 CNF
0	2	Soldadora y máscara	1	1	Cuerda de nylon 15 m	2	3	Soldadora y máscara
2	0	Llamador de pernos	4	6	Arnés	0	0	Llamador de pernos
2	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras	2	0	Llave manual de torque
1	0	Pistola de torque 1500-1800lb	1	1	Niveles	0	0	Pistola de torque 1500-1800lb
1	1	Tanque acetileno	1	1	Plomo	0	0	Tanque acetileno
2	4	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg	0	0	Andamios 1.8 m
2	4	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m	1	1	Escaleras 3.5 m
1	1	Esmeriladora	1	1	Cinta manual 50 m	1	1	Esmeriladora
0	0		0	0		0	0	
05-Equipo montaje de tensores de techo				06-Equipo montaje de clavadores				
P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo
0	0	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	0	0	Grúa 8 toneladas
0	0	Unidad de compresor 185 CNF	4	4	Canasta para soldador	0	0	Unidad de compresor 185 CNF
4	4	Soldadora y máscara	2	2	Cuerda de nylon 15 m	0	4	Soldadora y máscara
0	0	Llamador de pernos	4	4	Arnés	0	0	Llamador de pernos
0	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras	4	0	Llave manual de torque
0	0	Pistola de torque 1500-1800lb	0	0	Niveles	0	0	Pistola de torque 1500-1800lb
0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo	0	0	Tanque acetileno
0	0	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg	0	0	Andamios 1.8 m
1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m	1	1	Escaleras 3.5 m
1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m	1	1	Esmeriladora
0	0		0	0		0	0	
07-Equipo montaje de cinchas entre clavadores				08-Equipo montaje de vigas amarre 2.5msnpt longitudinales				
P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo
0	0	Grúa 8 toneladas	2	2	Accesorio de ubicación	0	0	Grúa 8 toneladas
0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m	0	0	Unidad de compresor 185 CNF
0	0	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m	1	2	Soldadora y máscara
0	0	Llamador de pernos	2	2	Arnés	0	0	Llamador de pernos
2	2	Llave manual de torque	0	0	Escuadras	1	0	Llave manual de torque
0	0	Pistola de torque 1500-1800lb	0	0	Niveles	0	0	Pistola de torque 1500-1800lb
0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo	0	0	Tanque acetileno
0	0	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg	1	1	Andamios 1.8 m
1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m	1	1	Escaleras 3.5 m
0	0	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m	1	1	Esmeriladora

Cuadro 5.22. Cantidad de equipos requeridos en etapa de campo

09-Equipo montaje de columnas secundarias				10-Equipo montaje de tensores pared marcos longitudinales							
P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo
1	1	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	0	0	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento
0	0	Unidad de compresor 185 CNF	2	2	Eslinga de nylon 12m	0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12m
2	2	Soldadora y máscara	1	1	Cuerda de nylon 15m	1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15m
0	0	Llamador de pernos	4	4	Arnés	0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés
0	0	Llave manual de torque	2	2	Escuadras	1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras
0	0	Pistola de torque 1500-1800lb	2	2	Niveles	0	0	Pistola de torque 1500-1800lb	0	0	Niveles
1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo	1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo
1	1	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg	1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg
1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m	2	2	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m
1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m	1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m
11-Equipo montaje de vigas amarre 2.5msnpt transversales				12-Equipo montaje de tensores pared marcos transversales							
P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo
0	0	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento	0	0	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento
0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12m	0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12m
1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15m	1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15m
0	0	Llamador de pernos	0	0	Arnés	0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés
1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras	1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras
0	0	Pistola de torque 1500-1800lb	1	1	Niveles	0	0	Pistola de torque 1500-1800lb	0	0	Niveles
1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo	1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo
1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg	1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg
2	2	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m	2	2	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m
1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m	1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m
13-Equipo montaje de bracones en paredes				14-Equipo montaje de bracones en vigas							
P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo	P	S	Equipo
0	0	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	0	0	Grúa 30 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento
0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m	0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m
1	1	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m	0	1	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15m
0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés	0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés
0	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras	1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras
0	0	Pistola de torque 1500-1800lb	1	1	Niveles	0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles
0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo	0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo
0	0	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg	1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg
1	1	Escaleras 3.5 m	1	1	Cinta manual 8 m	1	1	Escaleras 3.5 m	1	1	Cinta manual 8 m
1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m	0	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m

CAPÍTULO 6: COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se comparan los rendimientos de construcción para las etapas de prefabricación en taller así como montaje en sitio de construcción. Además se realiza un análisis de los resultados obtenidos en el estudio.

6.1. Comparación de rendimientos de material y equipos según prototipo

La comparación entre ambos sistemas se compone de tres rubros principales: rendimientos de materiales, equipos y tiempos de construcción requeridos. Estos tres rubros presentan un comportamiento distinto según la etapa donde sean comparados ya que en etapa de taller y campo se tienen variaciones en el proceso en función del prototipo que se evalué. Para los rendimientos y tiempos de la versión pernada se tiene el respaldo de los levantamientos realizados en etapa de taller y campo, en el caso de la estructura con conexiones soldadas no fue posible realizar mediciones de rendimientos, no obstante se obtuvo el registro histórico de los últimos 5 años de una empresa con amplia experiencia en la construcción de estructuras bajo ambas modalidades de conexiones, tanto soldadas como pernadas.

En la actualidad un importante porcentaje de las estructuras de acero son construidas con conexiones pernadas ya que se tiene la hipótesis de que este prototipo presenta mejores condiciones de calidad y tiempos de construcción, a la vez se supone un incremento en el costo por concepto de materiales requeridos, sin embargo esta hipótesis no ha sido sustentada técnicamente. A continuación se realiza una comparación entre ambos prototipos de conexiones manteniendo constante el tipo y dimensiones de estructura. La evaluación comparativa permitirá definir la diferencia entre ambos prototipos.

6.1.1. Comparación de rendimientos de materiales y equipos según prototipo en etapa de taller

Los siguientes cuadros presentan un resumen comparativo entre el prototipo pernado y el prototipo soldado. En estos se muestran los equipos requeridos para cada tipo de estructura, y la duración de cada actividad por cuadrillas. Además se presenta una comparación entre ambos para determinar numéricamente el efecto de las conexiones en los rendimientos de construcción según cada prototipo.

Cuadro 6.1. Comparación de equipos entre prototipos de estructura

Equipo	Días prototipo soldado	Días prototipo pernado	Diferencial
Cortadora CNC	3	4	33,3%
Guillotina 2.5 metros	3	4	33,3%
Taladro magnético	6	8	33,3%
Esmeriladora	6	8	33,3%
Soldadora de electrodo y máscara	48	60	25,0%
Cinta manual 8 m	108	127,5	18,1%
Maso 5 kg	108	127,5	18,1%
Escuadras	108	127,5	18,1%
Prensa tipo sargento	144	180	25,0%
Niveles	48	60	25,0%
Plomo	48	60	25,0%
Cinta manual 50 m	16	20	25,0%
Soldadora tipo Mig y máscara	60	67,5	12,5%
Tanque acetileno	3	4	33,3%
Cuerda de nylon	48	60	25,0%
Montacargas	18	32	77,8%
Montacargas telescópico	18	32	77,8%
Compresor y pistola	36	41	13,9%
Accesorios de limpieza de piezas	28	32	14,3%

Dado el proceso de línea de producción los equipos y cuadrillas son constantes en el taller y su utilización se destina por completo a la construcción de la estructura. De forma general se puede definir el taller completo como una herramienta la cual es utilizada de forma exclusiva a la construcción de la estructura independientemente del prototipo. Por lo tanto el rendimiento de equipo y mano de obra se define según la duración en el taller de cada tipo de estructura. El cuadro mostrado a continuación compara las duraciones y por lo tanto los rendimientos de equipos en etapa de taller para ambos prototipos

Cuadro 6.2. Comparación de tiempos de construcción para cada prototipo

Nombre de tarea	Versión pernada	Versión soldada
	Duración	Duración
Etapas de taller	32 días	28 días
Corte de piezas	5 días	5 días
Armado	20 días	16 días
Armado 9 columnas, 9 vigas secc. constante (A1, A2, A3)	3,5 días	2,5 días
Armado 9 columnas (A1)	7 días	5 días
Vigas longitudinales de techo (A1)	2 días	1 día
Cinchas	2 días	2 días
Canal para pared prefabricada (A1)	5 días	5 días
Armado 9 vigas secc. Constante (A2)	3 días	2,5 días
Armado pernos anclaje (A2)	3 días	3 días
Tensores de pared (A2)	1 día	1 día
Columnas secundarias (A2)	8 días	6 días
Bracones (A2)	1,5 días	0,5 días
Armado 9 vigas secc. Variable (A3)	3 días	2,5 días
Armado vigas de amarre (A3)	2 días	1 día
Clavadores (A3)	3 días	1 día
Armado 9 vigas secc. Variable (A3)	3 días	2,5 días
Columnas secundarias (A3)	5,5 días	6,5 días
Soldadura	22,5 días	20 días
Acabados	20,5 días	18 días
Diferencial entre ambos sistemas		
Días	Porcentual	
4 (de un total de 32)	14,29%	

Según el diferencial del cuadro anterior se determina que el prototipo soldado requiere 4 días menos para su construcción lo que representa un 14,29 % menos tiempos que el prototipo pernado. La etapa de corte es estratégicamente realizada la semana previa al inicio de las demás actividades por lo que no repercute en el diferencial total de la construcción en taller de la estructura.

6.1.2. Comparación de rendimientos de materiales y equipos según prototipo en etapa de campo

Los siguientes cuadros presentan un resumen comparativo entre el prototipo pernado y el prototipo soldado. En estos se muestran las duraciones promedio, composición de cuadrillas, y equipos requeridos por cada una de las catorce actividades de la estructura principal del proyecto.

Cuadro 6.3. Resumen de rendimientos de construcción en campo para cada prototipo (cont.)

Versión	Actividad	Duración promedio (hrs)		Cadrilla		Equipo						Peso (kg)			
Versión pernada	Versión soldada	01-Instalación de columnas principales de marcos	00:24	00:24	3	3	Operario / Soldador	1	1	Grúa 8 toneladas	2	6	Prensa tipo sargento	663,80	641,19
								1	0	Unidad de compresor 185 CNF	3	3	Eslinga de nylon 12 m		
								0	2	Soldadora y máscara	1	1	Cuerda de nylon 15 m		
					2	0	Llamador de pernos	4	6	Arnés					
					2	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras					
					1	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	1	1	Niveles					
					1	1	Tanque acetileno	1	1	Plomo					
					2	4	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg					
					2	4	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m					
					1	1	Esmeriladora	1	1	Cinta manual 50 m					
Versión pernada	Versión soldada	02-Instalación vigas de amarre superiores	00:17	00:58	1	2	Operario / Soldador	0	0	Grúa 8 toneladas	1	2	Prensa tipo sargento	120,25	90,98
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m		
								1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m		
					0	0	Llamador de pernos	1	2	Arnés					
					2	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras					
					0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	1	1	Niveles					
					1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo					
					1	2	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg					
					1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m					
					1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m					
Versión pernada	Versión soldada	03-Instalación vigas principales	02:22	07:18	3	5	Operario / Soldador	1	1	Grúa 8 toneladas	2	6	Prensa tipo sargento	1169,42	1094,95
								1	0	Unidad de compresor 185 CNF	3	3	Eslinga de nylon 12 m		
								0	2	Soldadora y máscara	1	1	Cuerda de nylon 15 m		
					2	0	Llamador de pernos	4	6	Arnés					
					2	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras					
					1	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	1	1	Niveles					
					1	1	Tanque acetileno	1	1	Plomo					
					2	4	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg					
					2	4	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m					
					1	1	Esmeriladora	1	1	Cinta manual 50 m					
Versión pernada	Versión soldada	04-Instalación vigas de amarre entre marcos	00:36	01:02	3	4	Operario / Soldador	0	0	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	597,21	597,21
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m		
								2	3	Soldadora y máscara	2	2	Cuerda de nylon 15 m		
					0	0	Llamador de pernos	3	4	Arnés					
					2	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras					
					0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles					
					0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo					
					0	0	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg					
					1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m					
					1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m					

El origen de los diferencias consiste en que para la estructura pernada se requiere más material pero menos equipos de soldado en sitio.

Cuadro 6.4. Resumen de rendimientos de construcción en campo para cada prototipo (cont.)

Versión		Actividad	Duración promedio (hrs)		Cadrilla		Equipo				Peso (kg)											
Versión pernada	Versión soldada	05-Instalación tensores de techo en tubo	02:15	02:15	4	4	Operario / Soldador	0	0	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	3396,58	3396,58							
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	4	4	Eslinga de nylon 12 m									
								4	4	Soldadora y máscara	2	2	Cuerda de nylon 15 m									
								0	0	Llamador de pernos	4	4	Arnés									
					2	2	Ayudante	0	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras									
								0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles									
								0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo									
								0	0	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg									
					0	0	Operador de grúa	1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m									
								1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m									
								0	0	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento									
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m									
Versión pernada	Versión soldada	06-Instalación clavadores	00:10	00:20	0	4	Operario / Soldador	0	4	Soldadora y máscara	2	2	Cuerda de nylon 15 m	5596,42	5651,40							
								0	0	Llamador de pernos	4	4	Arnés									
								4	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras									
								0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles									
					4	0	Ayudante	0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo									
								0	0	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg									
								1	1	Escaleras 3.5 m	4	4	Cinta manual 8 m									
								1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m									
					Versión pernada	Versión soldada	07-Instalación cinchas	02:05	02:05	0	0	Operario / Soldador	0			0	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	454,04	454,04
													0			0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m		
													0			0	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m		
													0			0	Llamador de pernos	2	2	Arnés		
2	2	Ayudante	2	2						Llave manual de torque	0	0	Escuadras									
			0	0						Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles									
			0	0						Tanque acetileno	0	0	Plomo									
			0	0						Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg									
0	0	Operador de grúa	1	1						Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m									
			0	0						Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m									
			0	0						Grúa 8 toneladas	1	2	Prensa tipo sargento									
			0	0						Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m									
Versión pernada	Versión soldada	08-Instalación vigas de amarre entre marcos longitudinales a 2.5 msnt	01:31	02:29	1	2	Operario / Soldador	1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m	120,25	90,98							
								0	0	Llamador de pernos	0	0	Arnés									
								1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras									
								0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles									
					2	1	Ayudante	0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo									
								1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg									
								1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m									
								1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m									

Los elementos donde se requiere la mayor cantidad de pernos en las columnas y vigas principales.

Cuadro 6.5. Resumen de rendimientos de construcción en campo para cada prototipo (cont.)

Versión		Actividad	Duración promedio (hrs)		Cadrilla		Equipo					Peso (kg)			
Versión pernada	Versión soldada	09-Instalación columnas secundarias	02:29	02:29	4	4	Operario / Soldador	1	1	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	2217,66	2217,66
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	2	2	Eslinga de nylon 12 m		
								2	2	Soldadora y máscara	1	1	Cuerda de nylon 15 m		
								0	0	Llamador de pernos	4	4	Arnés		
					0	0	Llave manual de torque	2	2	Escuadras					
					0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	2	2	Niveles					
					1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo					
					1	1	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg					
					1	1	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m					
					1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m					
					0	0	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento					
					0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m					
					1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m					
0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés										
1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras										
0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles										
1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo										
1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg										
2	2	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m										
1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m										
0	0	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento										
0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m										
1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m										
0	0	Llamador de pernos	0	0	Arnés										
1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras										
0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	1	1	Niveles										
1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo										
1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg										
2	2	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m										
1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m										
0	0	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento										
0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m										
1	2	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m										
0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés										
1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras										
0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles										
1	1	Tanque acetileno	0	0	Plomo										
1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg										
2	2	Escaleras 3.5 m	2	2	Cinta manual 8 m										
1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m										

Cuadro 6.6. Resumen de rendimientos de construcción para el montaje en sitio de cada prototipo

Versión		Actividad	Duración promedio (hrs)		Cuadrilla		Equipo			Peso (kg)					
Versión pernada	Versión soldada	13-Instalación bracones de pared	01:13	01:13	1	1	Operario / Soldador	0	0	Grúa 8 toneladas	2	2	Prensa tipo sargento	218,35	218,35
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m		
								1	1	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m		
								0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés		
					0	0	Ayudante	0	0	Llave manual de torque	1	1	Escuadras		
								0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	1	1	Niveles		
								0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo		
								0	0	Andamios 1.8 m	1	1	Maso 5 kg		
					0	0	Operador de grúa	1	1	Escaleras 3.5 m	1	1	Cinta manual 8 m		
								1	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m		
								0	0	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento		
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m		
Versión pernada	Versión soldada	14-Instalación bracones de vigas	00:29	01:06	0	1	Operario / Soldador	0	1	Soldadora y máscara	0	0	Cuerda de nylon 15 m	430,68	440,17
								0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés		
								1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras		
								0	0	Pistola de torque 1500-1800 lb	0	0	Niveles		
					1	0	Ayudante	0	0	Tanque acetileno	0	0	Plomo		
								1	1	Andamios 1.8 m	0	0	Maso 5 kg		
								1	1	Escaleras 3.5 m	1	1	Cinta manual 8 m		
								0	1	Esmeriladora	0	0	Cinta manual 50 m		
					0	0	Operador de grúa	1	1	Grúa 8 toneladas	0	0	Prensa tipo sargento		
								0	0	Unidad de compresor 185 CNF	0	0	Eslinga de nylon 12 m		
								0	0	Llamador de pernos	1	1	Arnés		
								1	0	Llave manual de torque	0	0	Escuadras		

6.2. Tiempos de construcción según prototipo

Los tiempos de construcción para la estructura utilizados en esta investigación no consideran tiempos de atraso por lluvia. Esto busca comparar las duraciones de los prototipos en un escenario ideal donde lo único que interfiera en la duración sean labores propias de la construcción de la estructura. Sin embargo al eliminar soldaduras de sitio de construcción se evita la posibilidad de atrasos por lluvia, ya que en este caso se debe suspender las labores de soldado, paralelamente se reducen los riesgos eléctricos asociados al proceso de soldado.

6.2.1. Comparación de cronogramas en etapa de taller para ambos prototipos

Los tiempos de construcción para la estructura con conexiones pernadas son mayores en taller ya que este prototipo cuenta con una serie de componentes adicionales los cuales aumentan los tiempos requeridos de armado, soldadura y acabados. El incremento aproximado de construcción es de 4 días, tal y como se muestra en la siguiente figura.

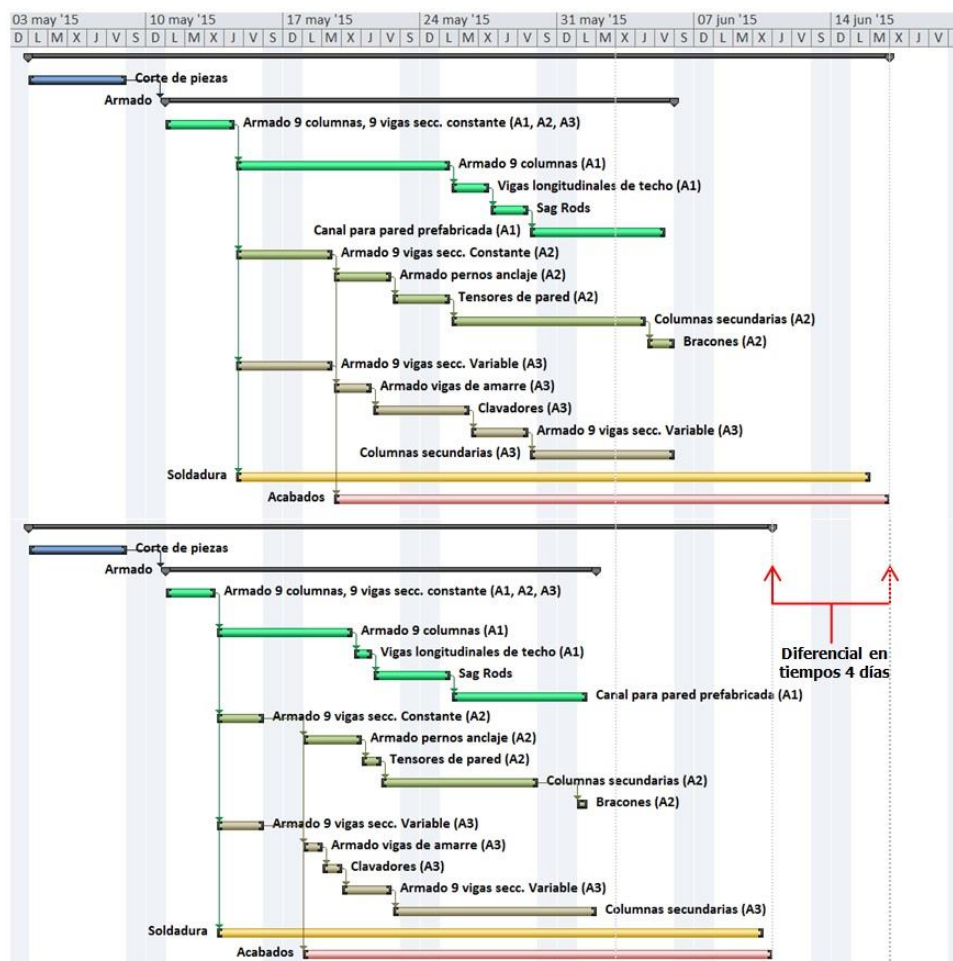


Figura 6.1. Comparación entre cronogramas etapa de taller estructura con conexiones pernadas y soldadas.

6.2.2. Comparación de cronogramas en etapa de campo para ambos prototipos

Las siguientes figuras presentan los cronogramas de construcción para la etapa de construcción en sitio, así como para todo el proceso.

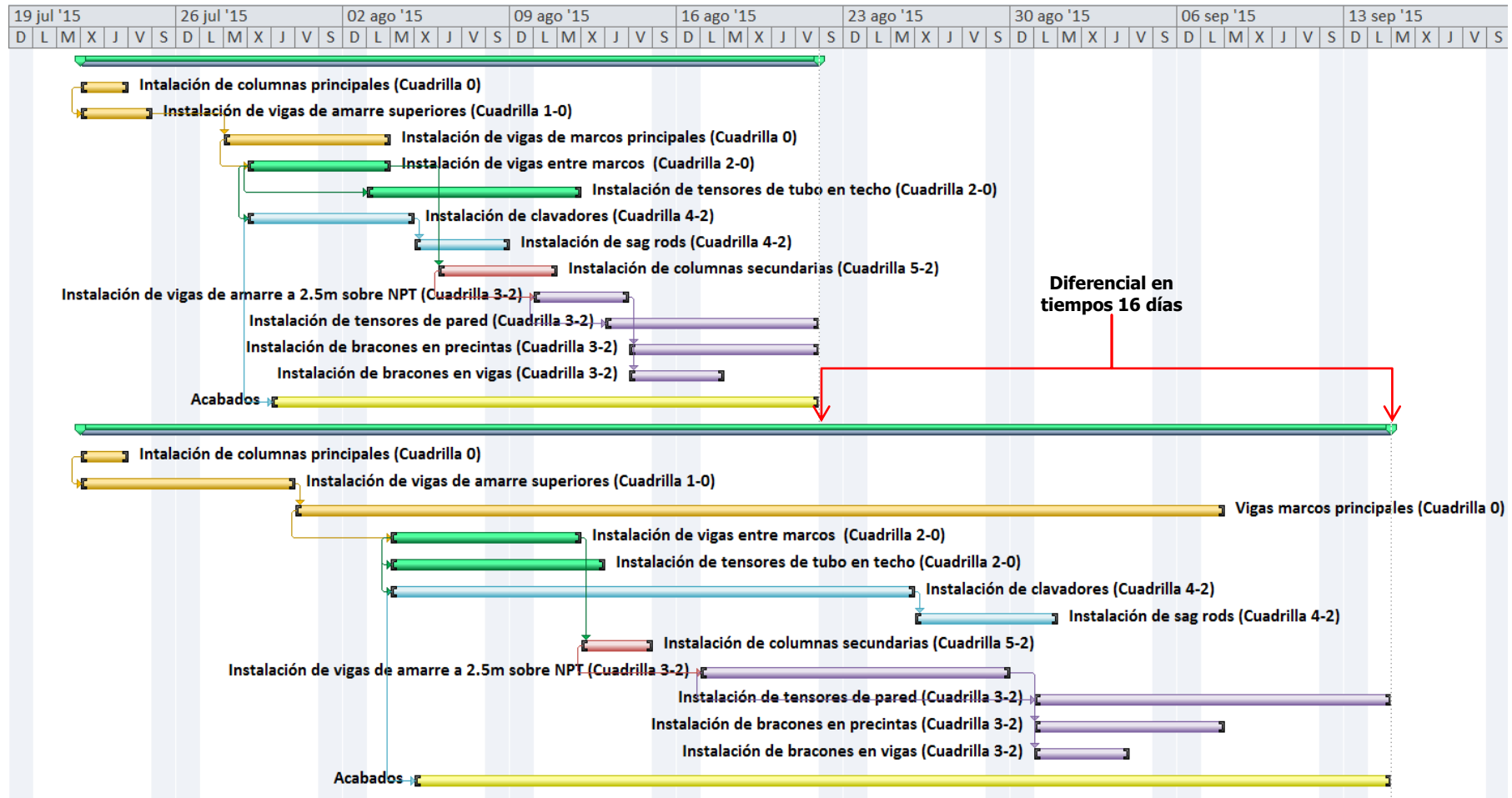


Figura 6.2. Comparación entre cronogramas etapa de construcción en sitio estructura con conexiones pernadas y soldadas.

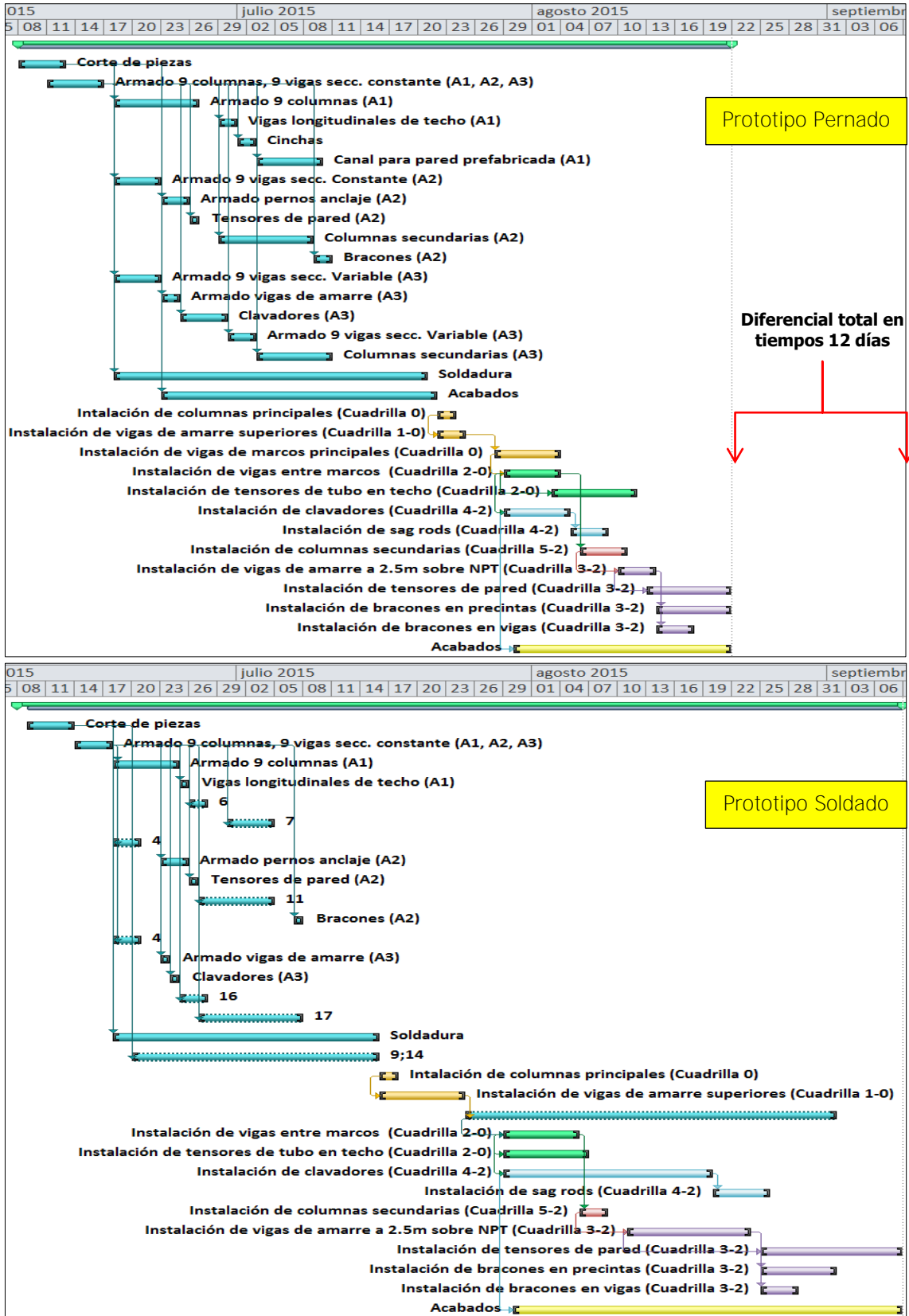


Figura 6.3. Comparación general entre cronogramas de estructura con conexiones pernadas y soldadas

6.3. Diferencias entre rendimientos de construcción para ambos prototipos

Cuadro 6.7. Comparación de rendimientos de construcción entre ambos prototipos

Prototipo	Tiempo de construcción en taller (días)	Rendimiento en taller días/m ² de estructura	Tiempo de construcción en campo (días)	Rendimiento días/m ² de estructura	Peso total en kg por prototipo	Rendimiento kg/m ² de estructura
Versión Pernada	32	0,0181	23	0.0130	46376.62	26.25
Versión Soldada	28	0,0158	39	0.0221	44118.19	24.97
Diferencial	4	0,0023	16	0.0091	2258.43	1.28
Diferencia porcentual	14,29%		41,03%		5,12%	
Área de estructura principal		1766,71	m ²			

Cuadro 6.8. Comparación de tiempos y materiales totales requeridos para ambos prototipos

Prototipo	Tiempo total de construcción		Peso total de acero	
	Tiempo de construcción total (días)	Rendimiento en taller días/m ² de estructura	Peso total en kg por prototipo	Rendimiento kg/m ² de estructura
Versión Pernada	55	0,0311	46376.62	26.25
Versión Soldada	67	0,0379	44118.19	24.97
Diferencial	12	0,0068	2258.43	1.28
Diferencia porcentual	17,91%		5,12%	

Según la comparación anterior se determina que en etapa de taller el prototipo con conexiones soldadas requiere un tiempo mayor para su construcción, sin embargo en etapa de campo se invierte el comportamiento y la estructura pernada requiere un tiempo 41,03% menor al tiempo requerido para un formato soldado. De forma general se requiere un tiempo 17,91% menor en la construcción de una estructura pernada que una estructura análoga con conexiones soldadas en sitio, sin considerar atrasos por lluvias en los cuales la alternativa soldada presenta una mayor vulnerabilidad retrasos de labores.

En cuanto a rendimientos en kilogramos de acero por tipología de conexiones, se determina que la alternativa pernada requiere un 5,12% más material. Esto implica que el costo por materiales sea mayor, sin embargo la opción soldada debe ser sometida a un control de calidad en sitio más costoso el cual debe ser considerado y que responde a una solicitud particular de cada inspector en particular.

El siguiente cuadro presenta la comparación general de rendimientos entre ambos prototipos. Además se muestra un balance económico entre el diferencial de materiales y mano de obra requeridos. Se excluye del análisis monetario el diferencial de equipos ya que esta variable está en función del taller de la empresa constructora que realice los trabajos.

Cuadro 6.9. Comparación general de rendimientos entre ambos prototipos

Prototipo	Etapa	Duraciones			Cantidad de material			Mano de obra			Equipos	
		Duración (días)	Duración total (días)	Diferencial	Peso (kg)	Peso total (d)	Diferencial	Tiempo (horas)	Tiempo total (horas)	Diferencial		
Soldado	Taller	28	67	17,9%	43719,4	44118,2	5,1%	3132	7632	15,7%	El prototipo soldado requiere más tiempo de equipos en 80% del total de los equipos utilizados	
	Sitio de construcción	39			398,8			4500				
Pernado	Taller	32	55		46164,4	46376,6		3690	6430			
	Sitio de construcción	23			212,2			2740				
Costos	Prototipo soldado				¢23,956,177,5			¢15,473,574,0				-
	Prototipo pernado				¢25,449,841.8			¢11,407,899.0				
	Diferencial				¢1,493,664.3			¢4,065,675.0				
					¢2,572,010.7			6,5%				

En el análisis anterior se consideró un precio por kilogramo de acero A-36 de 1 USD, mientras que para pernos se considera un precio de 3 USD por kilogramo. Se utiliza un valor de tipo de cambio de 543 Colones costarricenses por cada Dólar estadounidense, al tipo de cambio del 09 de mayo del 2016. En el caso de la mano de obra se considera un porcentaje de cargas sociales del 51 %, y no se considera utilidad del contratista.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Con base en los resultados de la comparación de rendimientos de materiales y mano de obra mediante mediciones de campo y taller realizadas para un prototipo de estructura pernado, y utilizando el registro histórico de rendimientos de materiales y mano de obra de la empresa constructora para estructuras con conexiones soldadas en estructuras tipo nave industrial, se derivan las siguientes conclusiones:
 - a) El sistema de conexiones de una estructura de acero tipo nave industrial influye en el tiempo y costos de construcción requeridos para su desarrollo, tanto en taller como en el montaje en sitio de construcción.
 - b) El prototipo de estructura de nave industrial con conexiones pernadas requiere aproximadamente 2258,5 más de kilogramos de acero que un prototipo con conexiones soldadas lo cual representa un diferencial de 5,12% del peso total, sin embargo realizar conexiones en campo de tipo soldadas requiere un control estricto de calidad el cual es costoso y reduciría el diferencial en el peso comparativo de ambos prototipos.
 - c) En etapa de preensamblado en taller se requiere un plazo de 4 días adicionales para confeccionar una estructura de tipo pernada que una estructura con conexiones soldadas, manteniendo constantes los recursos disponibles en el sitio de taller. 4 días equivalen al 14,29% del tiempo total en taller.
 - d) En etapa de construcción en campo una estructura con conexiones pernadas como la estudiada en este trabajo, requiere un plazo de construcción inferior de 16 días (equivalentes al 41,03% del tiempo total) que una estructura análoga con montaje de conexiones utilizando soldaduras.
 - e) De forma general en una estructura como la estudiada se requiere un plazo total de 12 días (equivalente a un 17,9% de la duración total) adicionales para construir una estructura con conexiones soldadas que un prototipo con conexiones pernadas.

- f) De forma general en una estructura como la estudiada se requiere un costo de mano de obra y materiales 6,5% menor para una estructura con conexiones pernadas que una estructura con conexiones soldadas.
- g) Una estructura con conexiones soldadas requiere mayor cantidad de mano de obra especializada en procesos de soldadura en campo, lo cual no es beneficioso ya que implica mayores costos indirectos asociados a la ubicación de personal en los sitios de obra.
- h) Se tiene una limitación estadística al realizar las mediciones para un único proyecto de una sola empresa, por lo tanto los resultados encontrados en esta investigación deben ser verificados y equiparados para otras empresas.
- i) El criterio de construir estructuras tipo nave industrial de acero con conexiones pernadas buscando reducir los tiempos de construcción es acertado, y su aplicación presenta ventajas en proyectos de tipo comercial donde los tiempos de entrega son limitados.
- j) La versión de estructura con el uso de conexiones pernadas requiere una mayor precisión constructiva, ya que el uso de pernos implica que los agujeros deben calzar con muy bajo margen de error. Sin embargo gracias al uso de máquinas computarizadas y plantillas esta precisión es más fácil de lograr en talleres especializados.
- k) Se tiene una limitación en las comparaciones, ya que se desconoce de manera precisa como fueron registrados los datos históricos de mano de obra en sitio para el prototipo soldado, y por lo tanto no es posible garantizar que la metodología de las mediciones haya sido ejecutada acorde a las mediciones realizadas en este estudio para el prototipo pernado. Sin embargo se facilita la comparación de los datos entre prototipos al tratarse de estructuras idénticas en dimensiones, ancho, largo, altura y de construcción reciente.

7.2. Recomendaciones

- Como futuros proyectos de investigación, se recomienda realizar un estudio similar en estructuras con dimensiones distintas a las evaluadas en este proyecto para determinar rendimientos comparables en unidades de kilogramos por metro cuadrado de construcción (kg/m^2) y días de construcción requeridos por metro cuadrado de construcción (d/m^2), para de esta forma determinar el comportamiento del diferencial ante la variante del tamaño de la estructura.
- En zonas con periodos de precipitación significativos se recomienda utilizar un sistema de conexiones pernadas ya que se reducen los retrasos por lluvia, al igual que se requiere un menor control de calidad en los procesos de conexiones.
- En proyectos que dispongan de un limitado tiempo de construcción para la estructura de acero se recomienda utilizar un sistema de conexiones pernado, ya que este prototipo presenta tiempos constructivos significativamente menores que una estructura con conexiones soldadas.
- En los prototipos de naves industriales con estructuras de acero se recomienda utilizar dispositivos de control de torque como arandelas indicadoras de presión, ya que esto implica un mejor control y mediciones de presión en pernos reduciendo los procesos de instalación de conexiones pernadas.
- Se recomienda utilizar plantillas especialmente diseñadas para la medición de rendimientos de actividades específicas que permitan identificar subactividades importantes así como filtrar demoras o tiempos ajenos a la actividad.
- Se recomienda realizar estudios similares para ampliar la muestra estadística a otros proyectos y otras empresas análogas.
- Se debe ampliar el estudio del impacto de uso de equipos entre ambos prototipos, ya que este rubro incrementa el diferencial encontrado a favor del sistema con conexiones pernadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros consultados

Serpell, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción* (2^{da} edición). México D.E: Alfaomega Grupo Editor, S.A.

Ostwald, P. (2001). *Construction Cost Analysis Estimating*. New Jersey, Estados Unidos de América: Editorial Prentice-Hall.

Códigos a nivel nacional

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA). (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010* (Cuarta ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA). (2011). *Comentarios al Código Sísmico de Costa Rica 2010* (Cuarta ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Trabajos Finales de Graduación

Alfaro Alpizar, A. (2008). *Evaluación y análisis comparativo de los métodos de estimación de costos de mano de obra*. Proyecto de Graduación - Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Departamento de Construcción, San José.

Hidalgo Torrejón, F. (2013). *Análisis de productividad de la mano de obra en la construcción del proyecto Mas por Menos Tres Ríos*. Proyecto de Graduación - Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Departamento de Construcción, San José.

Jiménez Arias, M. (1995). *Evaluación de la construcción de estructuras de acero en viviendas y naves industriales*. Proyecto de Graduación - Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Construcción, San José.

Ruiz Faiza, M. (1989). *Base de datos para el análisis de presupuestos*. Proyecto de Graduación - Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Construcción, San José.

Suárez, H. (1965). *Análisis económico comparativo de estructuras metálicas para techos de edificios industriales*. Proyecto de Graduación - Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador, Departamento Construcción, El Salvador.

Códigos y manuales de diseño internacionales

American Institute of Steel Construction (ANSI/AISC). (2010). *Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-10)*. Chicago: AISC.

American Institute of Steel Construction (ANSI/AISC). (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (AISC 341-10)*. Chicago: AISC.

Notas de cursos o similares

Anglin, R. (2012, I semestre). *Curso de Administración de empresas constructoras (IC-1041)*. Carrera de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Rodríguez, M. (2011, I semestre). *Curso de Construcción II (IC-0804)*. Carrera de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

APÉNDICE A

Apéndice A.1. Esquemas tridimensionales del prototipo de nave industrial a investigar

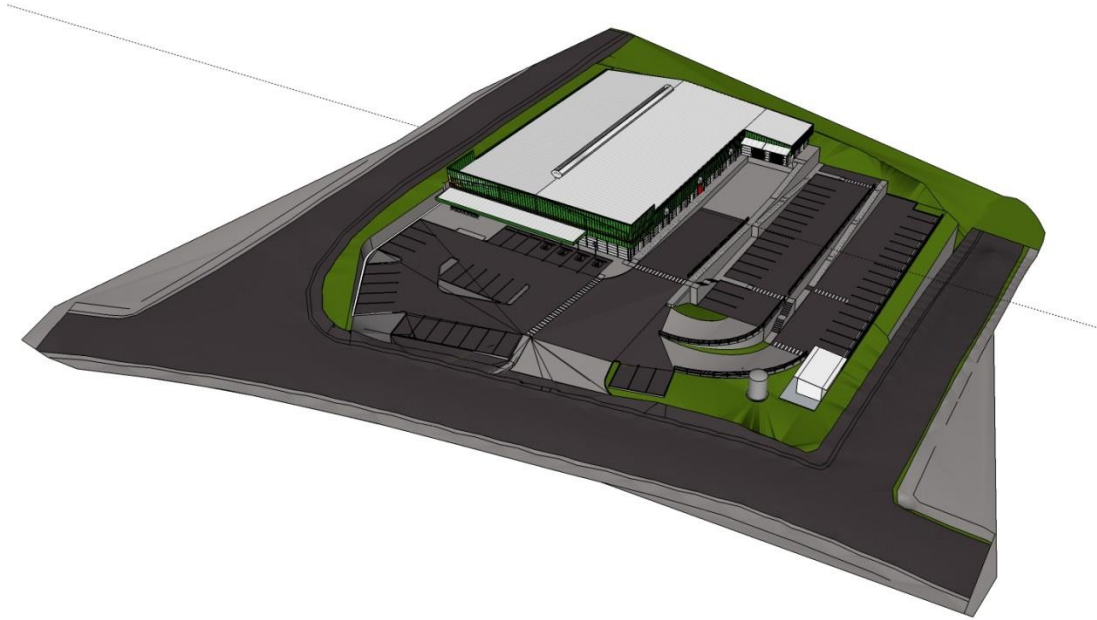


Figura A.1.1. Modelo tridimensional del proyecto en Puriscal, San José

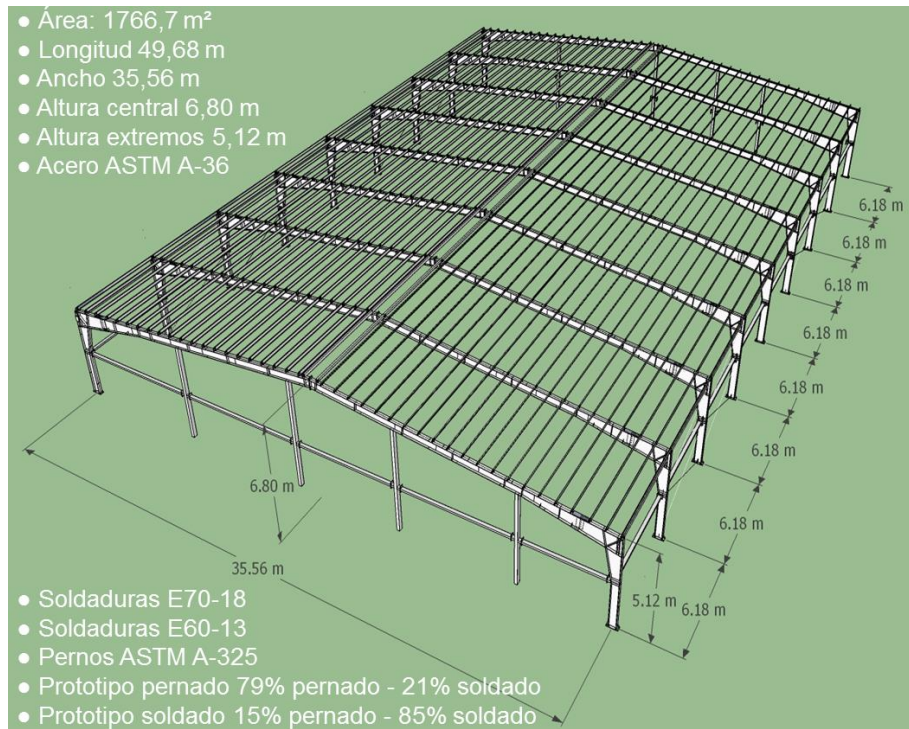


Figura A.1.2. Modelo tridimensional de la estructura metálica del proyecto en Puriscal

APÉNDICE B: DESGLOSE ESTIMACIÓN DE PESOS DE PIEZAS SEGÚN COMPONENTES

Cuadro B.1. Estimación de pesos de componentes de columnas para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Placa asiento	Placa de 1,59x25x66	2623,5	1	20,6	Placa asiento	Placa de 1,59x25x66	2623,5	1	20,6
Atiesadores placa asiento	1,27x11,4x11,4	165,05	4	5,2	Atiesadores placa asiento	1,27x11,4x11,4	165,5	4	5,2
Placa tensor	Placa de 0,95x14,5x20	275,5	0,89	1,	Placa tensor	Placa de 0,95x14,5x20	275,5	0,89	1,9
Placa 503,4	Placa de columna	3780,5	1	29,7	Placa 503,4	Placa de columna	3780,5	1	29,7
Placa 503,2	Placa de columna	7560,4	1	59,6	Placa 503,2	Placa de columna	7560,4	1	59,3
503,1	Placa de columna	1890,3	1	14,8	503,1	Placa de columna	1890,3	1	14,8
500	Placa de columna	6306,1	1	49,5	500	Placa de columna	6306,1	1	49,5
503,5	Placa de columna	7561,1	1	59,3	503,5	Placa de columna	7561,1	1	59,3
503,6	Placa de columna	4428,2	1	34,8	503,6	Placa de columna	4428,2	1	34,8
503,3	Placa de columna	6831,6	1	53,6	503,3	Placa de columna	6831,6	1	53,6
506	Placa de columna	1242,2	2	19,5	506	Placa de columna	1242,2	2	19,5
502	Placa de columna	10945,1	1	85,9	502	Placa de columna	10945,1	1	85,9
504,2	Placa de columna	325,1	2	5,1	504,2	Placa de columna	325,1	2	5,1
504,1	Placa de columna	307,2	2	4,8	504,1	Placa de columna	307,2	2	4,8
501	Placa de columna	829,7	1	6,5	501	Placa de columna	829,7	1	6,5
503,8	Placa de columna	6763,2	1	53,1	503,8	Placa de columna	6763,2	1	53,1
509	Placa de columna	6242,4	1	49,0	509	Placa de columna	6242,4	1	49,0
503,7	Placa de columna	4492,2	1	35,3	503,7	Placa de columna	4492,2	1	35,3
507	Placa de columna	1242,6	2	19,5	507	Placa de columna	1242,6	2	19,5
505,1	Placa de columna	414,4	2	6,5	505,1	Placa de columna	414,4	2	6,5
505,2	Placa de columna	347,9	2	5,5	505,2	Placa de columna	347,9	2	5,5
505,3	Placa de columna	83,5	2	1,3	505,3	Placa de columna	83,5	2	1,3
505,4	Placa de columna	144,1	2	2,3	505,4	Placa de columna	144,1	2	2,3
Accesorio para Clavador	Placa para clavador	182,2	3	4,3	Accesorio para Clavador	Placa para clavador	182,2	3	4,3
Placa conexión continuidad de ala	Placa de conexión pernada	2336,8	1	18,3	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	13,8
Pernos	Pernos 1,59 cm ϕ , 6,35 cm	35,16	14	3,9	Peso total de la pieza (kg)				641,1
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	14,2					
Peso total de la pieza (kg)				663,8					

Cuadro B.2. Estimación de pesos de componentes de vigas de amarre superiores para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Placas de conexión	Placa de 1,27x22x32cm	894,1	4	28,1	Tubo	Tubo 0,32x10x20	11340	1	89,0
Tubo	Tubo 0,32x10x20	11340	1	89,0	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	1,9
Pernos	Pernos 1,27 cm ϕ 2"	9,2	8	0,6	Peso total de la pieza (kg)				90,9
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	2,6					
Peso total de la pieza (kg)				120,3					

Cuadro B.3. Estimación de pesos de componentes de vigas de amarre entre marcos para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Z viga	Z150-50-15-16	2445,9	8	153,6	Z viga	Z150-50-15-16	2445,9	8	153,6
Tubo	Tubo 0,18x5x10	4267,91	4	134,0	Tubo	Tubo 0,18x5x10	4267,9	4	134,0
Tubo	Tubo 0,32x10x15	9450	4	296,7	Tubo	Tubo 0,32x10x15	945	4	296,7
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	12,9	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	12,9
Peso total de la pieza (kg)				597,2	Peso total de la pieza (kg)				597,2

Cuadro B.4. Estimación de pesos de componentes de tensores de techo para ambos prototipos

Versión pernada					Versión pernada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Tubo	Tubo 0,32x10x10	8820,0	48	3323,4	Tubo	Tubo 0,32x10x10	8820,0	48	3323,4
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	73,2	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	73,2
Peso total de la pieza (kg)				3396,6	Peso total de la pieza (kg)				3396,6

Cuadro B.5. Estimación de pesos de componentes de columnas para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm ³)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm ³)	Cantidad	Peso (kg)
504	Placa atiesador viga	309	12	29,1	504	Placa atiesador viga	309	12	29,1
504,3	Placa atiesador viga	445,8	2	7,0	504,3	Placa atiesador viga	445,8	2	7,0
514,2	Placa de viga	5589,0	1	43,9	514,2	Placa de viga	5589,0	1	43,9
514	Placa de viga	5670,8	3	133,5	514	Placa de viga	5670,8	3	133,5
503,11	Placa de viga	7561,1	4	237,4	503,11	Placa de viga	7561,1	4	237,4
503,16	Placa de viga	2479,0	1	19,5	503,16	Placa de viga	2479,0	1	19,5
503,14	Placa de viga	4493,3	1	35,3	503,14	Placa de viga	4493,3	1	35,3
503,10	Placa de viga	3780,5	1	29,7	503,10	Placa de viga	3780,5	1	29,7
514,3	Placa de viga	1687,1	1	13,2	514,3	Placa de viga	1687,1	1	13,2
503,17	Placa de viga	5082,0	1	39,9	503,17	Placa de viga	5082,0	1	39,9
503,15	Placa de viga	5122,3	1	40,2	503,15	Placa de viga	5122,3	1	40,2
503,13	Placa de viga	7542,2	1	59,2	503,13	Placa de viga	7542,2	1	59,2
503,12	Placa de viga	5672,0	1	44,5	503,12	Placa de viga	5672,0	1	44,5
513	Placa de viga	672,0	1	5,3	513	Placa de viga	672,0	1	5,3
512	Placa de viga	4729,5	2	74,3	512	Placa de viga	4729,5	2	74,2
500	Placa de viga	6306,1	3	148,5	500	Placa de viga	6306,1	3	148,5
511	Placa de viga	1741,9	1	13,7	511	Placa de viga	1741,9	1	13,7
510	Placa de viga	8920,3	1	70,0	510	Placa de viga	8920,3	1	70,0
Placa bracón	Placa para conexión de bracones	90,5	4	2,8	Accesorio para Clavador	Placa para clavador	182,2	19	27,2
Accesorio para Clavador	Placa para clavador	182,2	19	27,2	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	23,6
Placa conexión continuidad de ala columna	Placa de conexión pernada	2336,8	1	18,3	Peso total de la pieza (kg)				1094,9
Placa conexión continuidad de alma columna	Placa de conexión pernada	2606,0	1	20,5					
Placa conexión central	Placa de conexión pernada	3496,5	1	27,5					
Pernos	Pernos 1,59 cm ϕ , 6,35 cm	35,2	14	3,9					
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	25,1					
Peso total de la pieza (kg)				1169,4					

Cuadro B.6. Estimación de pesos de componentes de clavadores de techo para ambos prototipos

Versión pernada					Versión pernada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Z viga	Z150-50-15-16	2445,9	288	5529,6	Z viga	Z150-50-15-16	2445,9	288	5529,6
Pernos	Pernos 1,27 cm ϕ 1,5"	7,39	1152	66,8	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	121,8
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	0,0	Peso total de la pieza (kg)				5651,4
Peso total de la pieza (kg)				5596,4					

Cuadro B.7. Estimación de pesos de componentes de cinchas para ambos prototipos

Versión pernada					Versión soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Cincha	Varilla #3 lisa con rosca	70,9	816	454,0	Cincha	Varilla #3 lisa con rosca	70,9	816	454,0
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	0,0	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	0,0
Tuercas	Tuercas para 3/8"	0	1632	0,0	Peso total de la pieza (kg)				454,04
Peso total de la pieza (kg)				454,04					

Cuadro B.8. Estimación de pesos de componentes de vigas de amarre a 2.5 m.s.n.p.t. para ambos prototipos

Versión pernada					Versión pernada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Placas de conexión	Placa de 1,27x22x32cm	894,08	4	28,1	Tubo	Tubo 0,32x10x20	11340	1	89,0
Tubo	Tubo 0,32x10x20	11340	1	89,0	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	1,96
Pernos	Pernos 1,27 cm ϕ 2"	9,17	8	0,58	Peso total de la pieza (kg)				90,9
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	2,58					
Peso total de la pieza (kg)				120,3					

Cuadro B.9. Estimación de pesos de componentes de columnas secundarias para ambos prototipos

Versión pernada					Versión soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Columna 124	Columna secundaria	28194,3	2	442,6	Columna 124	Columna secundaria	28194,3	2	442,6
Columna 128	Columna secundaria	32127,5	1	252,2	Columna 128	Columna secundaria	32127,5	1	252,2
Columna 129	Columna secundaria	30345,9	1	238,2	Columna 129	Columna secundaria	30345,9	1	238,2
Columna 130	Columna secundaria	26779,1	1	210,2	Columna 130	Columna secundaria	26779,1	1	210,2
Columna 125	Columna secundaria	32854,3	1	257,9	Columna 125	Columna secundaria	32854,4	1	257,9
Columna 126	Columna secundaria	30096,5	1	236,3	Columna 126	Columna secundaria	30096,6	1	236,3
Columna 127	Columna secundaria	28096,4	1	220,6	Columna 127	Columna secundaria	28096,4	1	220,6
4 de 131, 133, 134	Columna secundaria	4611,6	6	217,2	4 de 131, 133, 134	Columna secundaria	4611,6	6	217,2
Columna 132	Columna secundaria	12058,2	1	94,7	Columna 132	Columna secundaria	12058,2	1	94,7
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	47,8	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	47,9
Peso total de la pieza (kg)				2217,7	Peso total de la pieza (kg)				2217,7

Cuadro B.10. Estimación de pesos de componentes de tensores de pared de marcos longitudinales para ambos prototipos

Versión pernada					Versión soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Tensor	Varilla #8 lisa con rosca	3288,5	32	826,1	Tensor	Varilla #8 lisa con rosca	3288,5	32	826,1
Accesorio de conexión		121,3	32	30,5	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	18,2
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	9,43	Peso total de la pieza (kg)				844,3
Peso total de la pieza (kg)				865,9					

Cuadro B.11. Estimación de pesos de componentes de bracones de vigas para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Angular	5x5x0,64	762,0	72	430,7	Angular	5x5x0,64	762,0	72	430,7
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	0,0	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	9,5
Peso total de la pieza (kg)				430,7	Peso total de la pieza (kg)				440,2

Cuadro B.12. Estimación de pesos de componentes de vigas de amarre a 2.5 m.s.n.p.t. transversales para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Placas de conexión	Placa de 1,27x22x32cm	894,1	64	449,2	Tubo	Tubo 0,32x10x20	1890	67,96	1008,3
Tubo	Tubo 0,32x10x20	1890	67,96	1008,3	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	22,2
Pernos	Pernos 1,27 cm ϕ 2"	9,17	128	9,22	Peso total de la pieza (kg)				1030,5
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	32,1					
Peso total de la pieza (kg)				1498,8					

Cuadro B.13. Estimación de pesos de componentes de tensores de pared de marcos transversales para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Tensor	Varilla #8 lisa con rosca	42031,9	1	329,9	Tensor	Varilla #8 lisa con rosca	42031,9	1	329,9
Accesorio de conexión	Angular más placa	121,3	10	9,5	Placa de conexión	Placa de 0,95x14,5x20	275,5	20	43,2
Placa de conexión	Placa de 0,95x14,5x20	275,5	20	43,3	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	8,2
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	4,2	Peso total de la pieza (kg)				381,4
Peso total de la pieza (kg)				386,9					

Cuadro B.14. Estimación de pesos de componentes de bracones de pared para ambos prototipos

Prototipo estructura pernada					Prototipo estructura soldada				
Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)	Componente	Descripción	Volumen de acero (cm3)	Cantidad	Peso (kg)
Tubo	Tubo 5x5x0,18	1512,0	18	213,6	Tubo	Tubo 5x5x0,18	1512,0	18	213,6
Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	4,7	Soldadura	Soldadura de secciones	-	gl	4,7
Peso total de la pieza (kg)				218,3	Peso total de la pieza (kg)				218,3

APÉNDICE C: PLANTILLA PARA REGISTRO DE RENDIMIENTOS EN TALLER PROTOTIPO PERNADO

Cuadro C.1. Plantilla medición de rendimientos en taller

Trabajo Final de Graduación Universidad de Costa Rica	Plantilla medición de rendimientos en taller	No.
--	--	-----

Datos generales	
Fecha:	
Lugar:	Taller Servés, La Lima Cartago
Registro realizado por:	

Hora Inicio	
Hora final	
Duración	

Componente	(X)	No	Componente	Código	
		1		Viga sección constante	
		2		Viga sección variable	
		3		Columna	
		4		Vigas laterales	
		5		Pernos de anclaje	
		6		Clavadores	
		7		Tensores de techo	
		8		Tensores de pared	
		9		Bracones	
		10		Columnas secundarias	
		11		Vigas longitudinales de techo	
		12		Zag rods	
		13		Tubo monitor	
		14		Canal de baldosa	

Cuadrilla	(X)	No	Componente	Código	
		1		Corte C-1	C-1
		2		Armado A-1	A-1
		3		Armado A-2	A-2
		4		Armado A-3	A-3
		5		Soldadura S-1	S-1
		6		Soldadura S-2	S-2
		7		Soldadura S-3	S-3
		8		Acabados A-1	A-1

Observaciones:

APÉNDICE D: EJEMPLOS DE PLANTILLAS PARA REGISTRO DE RENDIMIENTOS EN CAMPO PROTOTIPO PERNADO

Cuadro D.1. Plantilla medición de rendimientos en campo para actividades de marco principal

	Actividad	Descripción	Pieza		Pieza		Pieza	
			Hora Inicio	Hora Final	Hora Inicio	Hora Final	Hora Inicio	Hora Final
Actividades de montaje de marcos	Presentación de vigas	Consiste en ubicar las vigas en posición para colocar los pernos de la conexión central, se considera el tiempo desde que se empiezan a colocar las vigas en posición con la grúa hasta aplicar el torque necesario a los pernos						
	Lavado de las vigas	Consiste en lavar las vigas levantadas levemente por la grúa, se cuenta el tiempo desde que son levantadas hasta que se terminan de lavar						
	Instalación de las vigas	Colocar las vigas en las columnas, se contabiliza el tiempo desde que se levantan las vigas (de etapa de lavado) hasta que se termina de aplicar el torque a todas las tuercas de ambas conexiones						
	Soldadura de primer viga en tubo de 10x15 cm	Consiste en subir y soldar el tubo de 10x15 en el centro de las vigas, se cuenta el tiempo desde que se suben las vigas hasta que se terminan de soldar						
	Soldadura de segunda viga en tubo de 10x15 cm	Consiste en subir y soldar el tubo de 10x15 en el centro de las vigas, se cuenta el tiempo desde que se suben las vigas hasta que se terminan de soldar						
	Colocación de primer cercha plana formada por dos perfiles Z y tubos entre ambas	Consiste en subir y soldar la cercha en el centro de las vigas, se cuenta el tiempo desde que se sube la cercha hasta que se terminan de soldar y/o pernar. Se indica si se debe soldar.						
	Colocación de segunda cercha plana formada por dos perfiles Z y tubos entre ambas	Consiste en subir y soldar la cercha en el centro de las vigas, se cuenta el tiempo desde que se sube la cercha hasta que se terminan de soldar y/o pernar. Se indica si se debe soldar.						
	Colocación de cercha plana formada por dos perfiles Z y tubos entre ambas en extremos de las vigas	Consiste en subir y pernar y/o soldar la cercha en los extremos de las vigas, se cuenta el tiempo desde que se sube la cercha hasta que se terminan de soldar y/o pernar. Se indica si se debe soldar.						
	Montaje de clavador	Consiste en levantar y pernar y/o soldar el clavador. Se puede medir el tiempo en que se tardan en colocar 10 unidades.						

Cuadro D.2. Plantilla medición de rendimientos en campo para actividades de marco principal

	Actividad	Descripción	Pieza		Pieza		Pieza	
			Hora Inicio	Hora Final	Hora Inicio	Hora Final	Hora Inicio	Hora Final
Actividades de montaje de sensores	Lavado de tubo	En caso de que sea necesario consiste en lavar el tubo. Se cuenta el tiempo desde el momento en que se levanta del lugar de almacenado hasta que se termina de lavar.						
	Ubicación de tubo	Consiste en levantar el tubo a su posición. Es probable que se requiera subir y bajar varias veces el tubo para realizar los cortes en el tubo. Se cuenta el tiempo desde que se sube por primera vez el tubo hasta que se coloca en su posición y es unido con puntos de soldadura. No incluye el tiempo de soldadura total						
	Soldado final del tubo	Consiste en realizar la soldadura completa y final del tubo. Se cuenta el tiempo desde que se empieza a soldar (posterior al punteo de soldadura inicial) hasta que se termina la soldadura.						
	Otras actividades	En caso de que sea necesario algún otra actividad favor indicarlo en este espacio:						
	Otras actividades	En caso de que sea necesario algún otra actividad favor indicarlo en este espacio:						
	Otras actividades	En caso de que sea necesario algún otra actividad favor indicarlo en este espacio:						

APÉNDICE E: DESGLOSE TIEMPOS DE INSTALACIÓN DE PIEZAS PARA PROTOTIPO PERNADO

Cuadro E.1.1. Duraciones colocación de columnas principales

Columna principal A-1	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	11:00	11:05	00:05
Instalación de andamios	11:05	11:10	00:05
Colocación en pernos de anclaje	11:10	11:14	00:04
Colocación de tuercas (primer tuerca)	11:14	11:20	00:06
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	11:20	11:45	00:25
Torqueo final	11:42	11:50	00:08
Duración total	11:00	11:50	00:53
Columna principal A-2	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	11:50	11:55	00:05
Instalación de andamios	11:55	12:00	00:05
Colocación en pernos de anclaje	12:00	12:05	00:05
Colocación de tuercas (primer tuerca)	12:05	12:08	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	12:08	12:08	00:00
Torqueo final	12:08	12:15	00:07
Duración total	11:50	12:15	00:25
Columna principal A-4	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	12:45	12:50	00:05
Instalación de andamios	12:50	12:55	00:05
Colocación en pernos de anclaje	12:55	13:00	00:05
Colocación de tuercas (primer tuerca)	13:00	13:03	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	13:03	13:03	00:00
Torqueo final	13:03	13:10	00:07
Duración total	12:45	13:10	00:25
Columna principal A-5	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	13:30	13:30	00:00
Instalación de andamios	13:30	13:35	00:05
Colocación en pernos de anclaje	13:35	13:40	00:05
Colocación de tuercas (primer tuerca)	13:40	13:45	00:05
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	13:45	13:45	00:00
Torqueo final	13:45	13:50	00:05
Duración total	13:30	13:50	00:20
Columna principal A-6	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	14:00	14:00	00:00
Instalación de andamios	14:00	14:02	00:02
Colocación en pernos de anclaje	14:02	14:05	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	14:05	14:08	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	14:08	14:08	00:00
Torqueo final	14:08	14:15	00:07
Duración total	14:00	14:15	00:15
Columna principal A-7	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	14:45	14:45	00:00
Instalación de andamios	14:45	14:47	00:02
Colocación en pernos de anclaje	14:47	14:50	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	14:50	14:52	00:02
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	14:52	14:52	00:00
Torqueo final	14:52	15:00	00:08
Duración total	14:45	15:00	00:15

Cuadro E.1.2. Duraciones colocación de columnas principales

Columna principal A-8	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	15:05	15:05	00:00
Instalación de andamios	15:05	15:07	00:02
Colocación en pernos de anclaje	15:07	15:10	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	15:10	15:12	00:02
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	15:12	15:12	00:00
Torqueo final	15:12	15:20	00:08
Duración total	15:05	15:20	00:15
Columna principal A-9	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	15:05	15:05	00:00
Instalación de andamios	15:05	15:07	00:02
Colocación en pernos de anclaje	15:07	15:10	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	15:10	15:12	00:02
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	15:12	15:12	00:00
Torqueo final	15:12	15:20	00:08
Duración total	15:05	15:20	00:15
Columna principal A-10	(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	16:00	16:05	00:05
Instalación de andamios	16:05	16:07	00:02
Colocación en pernos de anclaje	16:07	16:10	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	16:10	16:12	00:02
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	16:12	16:12	00:00
Torqueo final	16:12	16:20	00:08
Duración total	16:00	16:20	00:20
Columna principal I-1	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	09:05	09:15	00:10
Instalación de andamios	09:15	09:23	00:08
Colocación en pernos de anclaje	09:23	09:28	00:05
Colocación de tuercas (primer tuerca)	09:28	09:31	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	09:31	10:02	00:31
Torqueo final	10:02	10:10	00:08
Duración total	09:05	10:10	01:05
Columna principal I-2	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	10:15	10:20	00:05
Instalación de andamios	10:20	10:23	00:03
Colocación en pernos de anclaje	10:23	10:26	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	10:26	10:30	00:04
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	10:30	10:30	00:00
Torqueo final	10:30	10:38	00:08
Duración total	10:15	10:38	00:23
Columna principal I-4	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	10:38	10:43	00:05
Instalación de andamios	10:43	10:45	00:02
Colocación en pernos de anclaje	10:45	10:50	00:05
Colocación de tuercas (primer tuerca)	10:50	10:55	00:05
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	10:55	10:55	00:00
Torqueo final	10:55	11:02	00:07
Duración total	10:38	11:02	00:24

Cuadro E.1.3. Duraciones colocación de columnas principales

Columna principal I-5	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	11:30	11:35	00:05
Instalación de andamios	11:35	11:37	00:02
Colocación en pernos de anclaje	11:37	11:40	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	11:40	11:43	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	11:43	11:43	00:00
Torqueo final	11:43	11:50	00:07
Duración total	11:30	11:50	00:20
Columna principal I-6	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	11:50	11:57	00:07
Instalación de andamios	11:57	12:00	00:03
Colocación en pernos de anclaje	12:00	12:03	00:03
Colocación de tuercas (primer tuerca)	12:03	12:05	00:02
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	12:05	12:05	00:00
Torqueo final	12:05	12:15	00:10
Duración total	11:50	12:15	00:25
Columna principal I-7	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	12:50	12:50	00:00
Instalación de andamios	12:50	12:53	00:03
Colocación en pernos de anclaje	12:53	12:57	00:04
Colocación de tuercas (primer tuerca)	12:57	13:00	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	13:00	13:00	00:00
Torqueo final	13:00	13:08	00:08
Duración total	12:50	13:08	00:18
Columna principal I-8	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	14:00	14:00	00:00
Instalación de andamios	14:00	14:03	00:03
Colocación en pernos de anclaje	14:03	14:08	00:05
Colocación de tuercas (primer tuerca)	14:08	14:12	00:04
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	14:12	14:12	00:00
Torqueo final	14:12	14:20	00:08
Duración total	14:00	14:20	00:20
Columna principal I-9	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	14:20	14:20	00:00
Instalación de andamios	14:20	14:23	00:03
Colocación en pernos de anclaje	14:23	14:29	00:06
Colocación de tuercas (primer tuerca)	14:29	14:32	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	14:32	14:32	00:00
Torqueo final	14:32	14:39	00:07
Duración total	14:20	14:39	00:19
Columna principal I-10	(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Ubicación, traslado desde punto de almacenaje hasta punto de colocación	14:45	14:47	00:02
Instalación de andamios	14:47	14:50	00:03
Colocación en pernos de anclaje	14:50	14:56	00:06
Colocación de tuercas (primer tuerca)	14:56	14:59	00:03
Nivelación, aplomado y apuntalamiento	14:59	14:59	00:00
Torqueo final	14:59	15:06	00:07
Duración total	14:45	15:06	00:21

Cuadro E.2.1. Duraciones colocación de vigas de amarre entre columnas

Viga de amarre superior A:1-2		(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	16:00	16:00	00:00	
Instalación escaleras	16:00	16:04	00:04	
Colocación de viga	16:04	16:09	00:05	
Corte de ajuste	16:09	16:14	00:05	
Soldado final	16:14	16:19	00:05	
Duración total	16:00	16:19	00:19	
Viga de amarre superior A:2-4		(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	16:20	16:20	00:00	
Instalación escaleras	16:20	16:22	00:02	
Colocación de viga	16:22	16:27	00:05	
Instalación de pernos	16:27	16:33	00:06	
Torqueo final	16:33	16:38	00:05	
Duración total	16:20	16:38	00:18	
Viga de amarre superior A:4-5		(M 22 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	16:40	16:40	00:00	
Instalación escaleras	16:40	16:42	00:02	
Colocación de viga	16:42	16:46	00:04	
Instalación de pernos	16:46	16:50	00:04	
Torqueo final	16:50	16:55	00:05	
Duración total	16:40	16:55	00:15	
Viga de amarre superior A:5-6		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	07:15	07:15	00:00	
Instalación escaleras	07:15	07:16	00:01	
Colocación de viga	07:16	07:18	00:02	
Instalación de pernos	07:18	07:21	00:03	
Torqueo final	07:21	07:25	00:04	
Duración total	07:15	07:25	00:10	
Viga de amarre superior A:6-7		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	07:30	07:32	00:02	
Instalación escaleras	07:32	07:34	00:02	
Colocación de viga	07:34	07:36	00:02	
Instalación de pernos	07:36	07:40	00:04	
Torqueo final	07:40	07:45	00:05	
Duración total	07:30	07:45	00:15	
Viga de amarre superior A:7-8		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	07:45	07:48	00:03	
Instalación escaleras	07:48	07:50	00:02	
Colocación de viga	07:50	07:55	00:05	
Instalación de pernos	07:55	07:59	00:04	
Torqueo final	07:59	08:05	00:06	
Duración total	07:45	08:05	00:20	
Viga de amarre superior A:8-9		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	08:25	08:28	00:03	
Instalación escaleras	08:28	08:30	00:02	
Colocación de viga	08:30	08:34	00:04	
Instalación de pernos	08:34	08:38	00:04	
Torqueo final	08:38	08:44	00:06	
Duración total	08:25	08:44	00:19	
Viga de amarre superior A:9-10		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	08:45	08:45	00:00	
Instalación escaleras	08:45	08:47	00:02	
Colocación de viga	08:47	08:52	00:05	
Instalación de pernos	08:52	08:55	00:03	
Torqueo final	08:55	09:00	00:05	
Duración total	08:45	09:00	00:15	

Cuadro E.2.1. Duraciones colocación de vigas de amarre entre columnas

Viga de amarre superior I:1-2		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	09:10	09:12	00:02	
Instalación escaleras	09:12	09:15	00:03	
Colocación de viga	09:15	09:20	00:05	
Instalación de pernos	09:20	09:25	00:05	
Torqueo final	09:25	09:30	00:05	
Duración total	09:10	09:30	00:20	
Viga de amarre superior I:2-4		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	09:30	09:32	00:02	
Instalación escaleras	09:32	09:35	00:03	
Colocación de viga	09:35	09:38	00:03	
Instalación de pernos	09:38	09:43	00:05	
Torqueo final	09:43	09:48	00:05	
Duración total	09:30	09:48	00:18	
Viga de amarre superior I:4-5		(J 23 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	09:50	09:52	00:02	
Instalación escaleras	09:52	09:55	00:03	
Colocación de viga	09:55	10:00	00:05	
Instalación de pernos	10:00	10:05	00:05	
Torqueo final	10:05	10:10	00:05	
Duración total	09:50	10:10	00:20	
Viga de amarre superior I:5-6		(V 24 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	14:40	14:42	00:02	
Instalación escaleras	14:42	14:45	00:03	
Colocación de viga	14:45	14:50	00:05	
Instalación de pernos	14:50	14:55	00:05	
Torqueo final	14:55	15:00	00:05	
Duración total	14:40	15:00	00:20	
Viga de amarre superior I:6-7		(V 24 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	15:02	15:02	00:00	
Instalación escaleras	15:02	15:05	00:03	
Colocación de viga	15:05	15:09	00:04	
Instalación de pernos	15:09	15:12	00:03	
Torqueo final	15:12	15:15	00:03	
Duración total	15:02	15:15	00:13	
Viga de amarre superior I:7-8		(V 24 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	15:15	15:15	00:00	
Instalación escaleras	15:15	15:17	00:02	
Colocación de viga	15:17	15:21	00:04	
Instalación de pernos	15:21	15:25	00:04	
Torqueo final	15:25	15:30	00:05	
Duración total	15:15	15:30	00:15	
Viga de amarre superior I:8-9		(V 24 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	15:30	15:30	00:00	
Instalación escaleras	15:30	15:33	00:03	
Colocación de viga	15:33	15:37	00:04	
Instalación de pernos	15:37	15:42	00:05	
Torqueo final	15:42	15:47	00:05	
Duración total	15:30	15:47	00:17	
Viga de amarre superior I:9-10		(V 24 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Ubicación, traslado de zona de almacenaje a zona de colocación	15:50	15:51	00:01	
Instalación escaleras	15:51	15:53	00:02	
Colocación de viga	15:53	15:58	00:05	
Instalación de pernos	15:58	16:02	00:04	
Torqueo final	16:02	16:09	00:07	
Duración total	15:50	16:09	00:19	

Cuadro E.3.1. Duraciones colocación vigas principales

Viga eje 1	(K 28 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración
Presentación de vigas	10:20	10:40	00:20
Ubicación de equipos	10:40	11:05	00:25
Revisión de medidas	11:10	11:20	00:10
Levantamiento de las vigas	11:35	11:40	00:05
Limpieza de las vigas	11:40	12:00	00:20
Ubicación de vigas	12:40	13:00	00:20
Torqueo y alineamiento	13:00	14:15	01:15
Aplomado y apuntalado horizontal	14:15	15:30	01:15
Duración total	10:20	15:30	04:10
Viga eje 2	(M 29 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración
Presentación de vigas	08:30	08:50	00:20
Ubicación de equipos	08:50	09:10	00:20
Revisión de medidas	09:10	09:20	00:10
Levantamiento de las vigas	09:20	09:25	00:05
Limpieza de las vigas	09:25	09:35	00:10
Ubicación de vigas	09:35	09:50	00:15
Torqueo y alineamiento	09:50	10:30	00:40
Aplomado y apuntalado horizontal	10:30	10:50	00:20
Duración total	08:30	10:50	02:20
Viga eje 4	(M 29 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración
Presentación de vigas	11:45	12:05	00:20
Ubicación de equipos	12:45	12:50	00:05
Revisión de medidas	12:50	12:55	00:05
Levantamiento de las vigas	13:15	13:20	00:05
Limpieza de las vigas	13:20	13:30	00:10
Ubicación de vigas	13:35	13:50	00:15
Torqueo y alineamiento	13:50	14:30	00:40
Aplomado y apuntalado horizontal	14:30	14:50	00:20
Duración total	11:45	14:50	02:00
Viga eje 5	(J 30 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración
Presentación de vigas	08:20	08:40	00:20
Ubicación de equipos	08:45	08:50	00:05
Revisión de medidas	08:50	08:55	00:05
Levantamiento de las vigas	09:00	09:10	00:10
Limpieza de las vigas	09:10	09:20	00:10
Ubicación de vigas	09:20	09:40	00:20
Torqueo y alineamiento	09:40	10:20	00:40
Aplomado y apuntalado horizontal	10:25	10:45	00:20
Duración total	08:20	10:45	02:10
Viga eje 6	(J 30 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración
Presentación de vigas	10:52	11:12	00:20
Ubicación de equipos	11:12	11:20	00:08
Revisión de medidas	11:20	11:27	00:07
Levantamiento de las vigas	11:37	11:48	00:11
Limpieza de las vigas	11:48	12:00	00:12
Ubicación de vigas	12:45	13:00	00:15
Torqueo y alineamiento	13:35	14:15	00:40
Aplomado y apuntalado horizontal	14:15	14:30	00:15
Duración total	10:52	14:30	02:08

Cuadro E.3.2. Duraciones colocación vigas principales

Viga eje 7		(V 31 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración	
Presentación de vigas	15:20	15:38	00:18	
Ubicación de equipos	15:40	15:50	00:10	
Revisión de medidas	15:50	16:00	00:10	
Levantamiento de las vigas	06:20	06:30	00:10	
Limpieza de las vigas	06:34	06:50	00:16	
Ubicación de vigas	06:50	07:10	00:20	
Torqueo y alineamiento	07:15	07:53	00:38	
Aplomado y apuntalado horizontal	07:53	08:10	00:17	
Duración total	15:20	08:10	02:19	
Viga eje 8		(V 31 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración	
Presentación de vigas	08:30	08:50	00:20	
Ubicación de equipos	08:50	08:55	00:05	
Revisión de medidas	08:55	09:03	00:08	
Levantamiento de las vigas	09:05	09:10	00:05	
Limpieza de las vigas	09:10	09:20	00:10	
Ubicación de vigas	09:25	09:40	00:15	
Torqueo y alineamiento	09:40	10:20	00:40	
Aplomado y apuntalado horizontal	10:25	10:40	00:15	
Duración total	08:30	10:40	01:58	
Viga eje 9		(V 31 7 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración	
Presentación de vigas	11:00	11:18	00:18	
Ubicación de equipos	11:18	11:30	00:12	
Revisión de medidas	11:30	11:40	00:10	
Levantamiento de las vigas	12:40	12:50	00:10	
Limpieza de las vigas	12:50	13:00	00:10	
Ubicación de vigas	13:05	13:21	00:16	
Torqueo y alineamiento	13:25	14:00	00:35	
Aplomado y apuntalado horizontal	14:05	14:20	00:15	
Duración total	11:00	14:20	02:06	
Viga eje 10		(S 1 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración	
Presentación de vigas	15:30	15:55	00:25	
Ubicación de equipos	16:00	16:10	00:10	
Revisión de medidas	16:10	16:18	00:08	
Levantamiento de las vigas	07:00	07:10	00:10	
Limpieza de las vigas	07:10	07:20	00:10	
Ubicación de vigas	07:25	07:40	00:15	
Torqueo y alineamiento	07:50	08:25	00:35	
Aplomado y apuntalado horizontal	08:30	08:50	00:20	
Duración total	15:30	08:50	02:13	

Cuadro E.4. Duraciones colocación vigas de amarre entre marcos

Elemento	Inicio	Fin	Duración P (hr)	Duración promedio (hr)
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 1-2	10:30	10:45	00:15	00:40
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 1-2	10:45	11:00	00:15	
Viga eje A armada con Z ejes 1-2	11:00	11:50	00:50	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 1-2	11:50	12:40	00:50	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 1-2	13:30	14:30	01:00	
Viga eje I armada con Z ejes 1-2	07:00	07:55	00:55	
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 2-4	14:45	15:00	00:15	00:30
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 2-4	15:00	15:15	00:15	
Viga eje A armada con Z ejes 2-4	15:15	16:00	00:45	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 2-4	16:00	16:35	00:35	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 2-4	16:35	17:10	00:35	
Viga eje I armada con Z ejes 2-4	08:05	08:45	00:40	
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 4-5	10:00	10:15	00:15	00:38
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 4-5	10:15	10:30	00:15	
Viga eje A armada con Z ejes 4-5	10:30	11:20	00:50	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 4-5	11:20	12:10	00:50	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 4-5	12:45	13:30	00:45	
Viga eje I armada con Z ejes 4-5	08:55	09:50	00:55	
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 5-6	14:00	14:15	00:15	00:35
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 5-6	14:15	14:35	00:20	
Viga eje A armada con Z ejes 5-6	14:35	15:20	00:45	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 5-6	15:30	16:15	00:45	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 5-6	16:15	16:55	00:40	
Viga eje I armada con Z ejes 5-6	10:00	10:45	00:45	
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 6-7	06:15	06:30	00:15	00:36
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 6-7	06:30	06:45	00:15	
Viga eje A armada con Z ejes 6-7	06:45	07:30	00:45	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 6-7	07:30	08:20	00:50	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 6-7	08:20	09:10	00:50	
Viga eje I armada con Z ejes 6-7	10:55	11:40	00:45	
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 7-8	09:30	09:40	00:10	00:37
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 7-8	09:40	09:55	00:15	
Viga eje A armada con Z ejes 7-8	09:55	10:40	00:45	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 7-8	10:40	11:25	00:45	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 7-8	11:25	12:20	00:55	
Viga eje I armada con Z ejes 7-8	13:00	13:55	00:55	
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 8-9	13:40	13:55	00:15	00:36
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 8-9	13:55	14:15	00:20	
Viga eje A armada con Z ejes 8-9	14:15	15:00	00:45	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 8-9	15:00	15:45	00:45	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 8-9	15:45	16:35	00:50	
Viga eje I armada con Z ejes 8-9	09:30	10:15	00:45	
Viga derecha tubo 10x15x0.32cm ejes 7-8	07:05	07:20	00:15	00:35
Viga Izquierda tubo 10x15x0.32cm ejes 7-8	07:20	07:35	00:15	
Viga eje A armada con Z ejes 7-8	07:35	08:25	00:50	
Viga eje cumbreira-eje A armada con Z ejes 7-8	08:25	09:10	00:45	
Viga eje cumbreira-eje I armada con Z ejes 7-8	09:10	09:55	00:45	
Viga eje I armada con Z ejes 7-8	11:30	12:15	00:45	

Cuadro E.8.1. Duraciones colocación de vigas amarre longitudinales a 2.5 m

Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 10 y 9	(L 10 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	10:30	10:45	00:15	00:15
Corte de ajuste de longitud final	10:45	11:14	00:29	00:29
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	11:14	11:25	00:11	00:22
Instalación y torqueo	11:25	11:40	00:15	00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	11:40	12:05	00:25	01:15
Duración total	10:30	12:05	01:35	02:28
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 9 y 8	(L 10 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	13:00	13:15	00:15	00:15
Corte de ajuste de longitud final	13:15	13:45	00:30	00:30
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	13:45	13:55	00:10	00:20
Instalación y torqueo	13:55	14:09	00:14	00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	14:09	14:35	00:26	01:18
Duración total	13:00	14:35	01:35	02:30
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 8 y 7	(L 10 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	14:40	14:54	00:14	00:14
Corte de ajuste de longitud final	14:54	15:25	00:31	00:31
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	15:25	15:35	00:10	00:20
Instalación y torqueo	15:35	15:50	00:15	00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	15:50	16:10	00:20	01:00
Duración total	14:40	16:10	01:30	02:12
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 7 y 6	(K 11 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	08:15	08:35	00:20	00:20
Corte de ajuste de longitud final	08:35	08:45	00:10	00:10
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	08:45	09:00	00:15	00:30
Instalación y torqueo	09:00	09:20	00:20	00:10
Resoldado final placa en extremo de ajuste	09:20	09:44	00:24	01:12
Duración total	08:15	09:44	01:29	02:22
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 5 y 6	(K 11 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	09:50	10:10	00:20	00:20
Corte de ajuste de longitud final	10:10	10:20	00:10	00:10
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	10:20	10:30	00:10	00:20
Instalación y torqueo	10:30	10:50	00:20	00:10
Resoldado final placa en extremo de ajuste	10:50	11:20	00:30	01:30
Duración total	09:50	11:20	01:30	02:30
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 5 y 4	(K 11 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	11:20	11:30	00:10	00:10
Corte de ajuste de longitud final	11:30	11:50	00:20	00:20
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	12:50	13:10	00:20	00:40
Instalación y torqueo	13:25	13:40	00:15	00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	13:40	14:05	00:25	01:15
Duración total	11:20	14:05	01:30	02:32
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 2 y 4	(K 11 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	11:20	11:30	00:10	00:10
Corte de ajuste de longitud final	11:30	11:50	00:20	00:20
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	12:50	13:10	00:20	00:40
Instalación y torqueo	13:25	13:40	00:15	00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	13:40	14:05	00:25	01:15
Duración total	11:20	14:05	01:30	02:32

Cuadro E.8.2. Duraciones colocación de vigas de amarre longitudinales a 2.5

Instalación viga a 2.5 msnpt Eje A, entre ejes 1 y 2		(K 11 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	13:25	13:35	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	13:35	14:05	00:30		00:30
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	14:05	14:15	00:10		00:20
Instalación y torqueo	14:15	14:30	00:15		00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	14:30	14:55	00:25		01:15
Duración total	13:25	14:55	01:30		02:22
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 9 y 8		(M 12 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	06:15	06:25	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	06:25	06:56	00:31		00:31
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	06:56	07:05	00:09		00:18
Instalación y torqueo	07:05	07:25	00:20		00:10
Resoldado final placa en extremo de ajuste	07:25	07:55	00:30		01:30
Duración total	06:15	07:55	01:40		02:39
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 8 y 7		(M 12 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	08:00	08:10	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	08:10	08:40	00:30		00:30
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	08:40	08:50	00:10		00:20
Instalación y torqueo	08:50	09:06	00:16		00:08
Resoldado final placa en extremo de ajuste	09:06	09:30	00:24		01:12
Duración total	08:00	09:30	01:30		02:20
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 7 y 6		(M 12 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	09:30	09:40	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	09:40	10:10	00:30		00:30
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	10:10	10:20	00:10		00:20
Instalación y torqueo	10:20	10:35	00:15		00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	10:35	11:05	00:30		01:30
Duración total	09:30	11:05	01:35		02:37
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 6 y 5		(M 12 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	11:05	11:15	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	11:15	11:40	00:25		00:25
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	11:40	11:50	00:10		00:20
Instalación y torqueo	11:50	12:00	00:10		00:05
Resoldado final placa en extremo de ajuste	12:00	12:30	00:30		01:30
Duración total	11:05	12:30	01:25		02:30
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 5 y 4		(M 12 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	13:00	13:10	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	13:10	13:40	00:30		00:30
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	13:40	13:52	00:12		00:24
Instalación y torqueo	13:52	14:02	00:10		00:05
Resoldado final placa en extremo de ajuste	14:02	14:32	00:30		01:30
Duración total	13:00	14:32	01:32		02:39
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 4 y 2		(M 12 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	14:32	14:40	00:08		00:08
Corte de ajuste de longitud final	14:40	15:11	00:31		00:31
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	15:11	15:26	00:15		00:30
Instalación y torqueo	15:26	15:35	00:09		00:04
Resoldado final placa en extremo de ajuste	15:35	16:00	00:25		01:15
Duración total	14:32	16:00	01:28		02:28
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 2 y 1		(M 12 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	16:00	16:10	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	16:10	16:35	00:25		00:25
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	16:35	16:49	00:14		00:28
Instalación y torqueo	16:49	16:59	00:10		00:05
Resoldado final placa en extremo de ajuste	16:59	17:24	00:25		01:15
Duración total	16:00	17:24	01:24		02:23
Instalación viga a 2.5 msnpt Eje I, entre ejes 10 y 9		(J 13 8 2015)			Soldada
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Duración (h)	Duración (h)
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	06:15	06:25	00:10		00:10
Corte de ajuste de longitud final	06:25	06:50	00:25		00:25
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	06:50	07:05	00:15		00:30
Instalación y torqueo	07:05	07:20	00:15		00:07
Resoldado final placa en extremo de ajuste	07:20	07:50	00:30		01:30
Duración total	06:15	07:50	01:35		02:42

Cuadro E.9.1. Duraciones colocación de columnas secundarias

Instalación con puntos de soldadura columna secundaria				81-128	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)		
Traslado desde Pto de almacenaje	12:20	12:45	00:25	02:45	
Corte de ajuste de longitud final	12:45	13:00	00:15		
Colocación con puntos de soldadura	13:00	13:15	00:15		
Resoldado final	00:00	00:00	00:00		
Duración total instalación	12:20	13:15	00:55		
Duración resoldado	13:15	15:05	01:50		
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria				81-132	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)		
Traslado desde Pto de almacenaje	13:15	13:20	00:05	02:55	
Corte de ajuste de longitud final	13:20	13:40	00:20		
Colocación con puntos de soldadura	13:40	14:10	00:30		
Resoldado final	00:00	00:00	00:00		
Duración total instalación	13:15	14:10	00:55		
Duración resoldado	14:10	16:10	02:00		
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria				81-124	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)		
Traslado desde Pto de almacenaje	14:15	14:20	00:05	02:25	
Corte de ajuste de longitud final	14:20	14:40	00:20		
Colocación con puntos de soldadura	14:40	15:00	00:20		
Resoldado final	00:00	00:00	00:00		
Duración total instalación	14:15	15:00	00:45		
Duración resoldado	15:00	16:40	01:40		
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria				81-129	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)		
Traslado desde Pto de almacenaje	15:15	15:20	00:05	02:38	
Corte de ajuste de longitud final	15:20	15:40	00:20		
Colocación con puntos de soldadura	15:40	16:00	00:20		
Resoldado final	00:00	00:00	00:00		
Duración total instalación	15:15	16:00	00:45		
Duración resoldado	07:00	08:53	01:53		
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria				81-130	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)		
Traslado desde Pto de almacenaje	16:05	16:10	00:05	02:45	
Corte de ajuste de longitud final	16:10	16:35	00:25		
Colocación con puntos de soldadura	16:35	16:50	00:15		
Resoldado final	00:00	00:00	00:00		
Duración total instalación	16:05	16:50	00:45		
Duración resoldado	07:00	09:00	02:00		
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria				81-133	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)		
Traslado desde Pto de almacenaje	06:00	06:05	00:05	02:37	
Corte de ajuste de longitud final	06:05	06:25	00:20		
Colocación con puntos de soldadura	06:25	06:45	00:20		
Resoldado final	00:00	00:00	00:00		
Duración total instalación	06:00	06:45	00:45		
Duración resoldado	08:53	10:45	01:52		

Cuadro E.9.2. Duraciones colocación de columnas secundarias

Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-134	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	06:45	06:50	00:05	02:50
Corte de ajuste de longitud final	06:50	07:10	00:20	
Colocación con puntos de soldadura	07:10	07:30	00:20	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	06:45	07:30	00:45	
Duración resoldado	09:00	11:05	02:05	
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-131-I1	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	09:00	09:03	00:03	01:40
Corte de ajuste de longitud final	09:03	09:10	00:07	
Colocación con puntos de soldadura	09:10	09:30	00:20	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	09:00	09:30	00:30	
Duración resoldado	10:45	11:55	01:10	
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-131-I2	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	09:30	09:33	00:03	01:36
Corte de ajuste de longitud final	09:33	09:41	00:08	
Colocación con puntos de soldadura	09:41	10:01	00:20	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	09:30	10:01	00:31	
Duración resoldado	11:05	12:10	01:05	
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-131-A1	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	10:30	10:33	00:03	01:40
Corte de ajuste de longitud final	10:33	10:40	00:07	
Colocación con puntos de soldadura	10:40	11:00	00:20	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	10:30	11:00	00:30	
Duración resoldado	07:00	08:10	01:10	
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-131-A2	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	11:00	11:02	00:02	01:32
Corte de ajuste de longitud final	11:02	11:09	00:07	
Colocación con puntos de soldadura	11:09	11:29	00:20	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	11:00	11:29	00:29	
Duración resoldado	07:00	08:03	01:03	
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-124	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	07:00	07:10	00:10	03:00
Corte de ajuste de longitud final	07:10	07:35	00:25	
Colocación con puntos de soldadura	07:35	07:55	00:20	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	07:00	07:55	00:55	
Duración resoldado	08:10	10:15	02:05	

Cuadro E.9.3. Duraciones colocación de columnas secundarias

Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-125	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	08:00	08:05	00:05	03:09
Corte de ajuste de longitud final	08:05	08:30	00:25	
Colocación con puntos de soldadura	08:30	08:50	00:20	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	08:00	08:50	00:50	
Duración resoldado	08:03	10:22	02:19	
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-126	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	09:00	09:10	00:10	02:43
Corte de ajuste de longitud final	09:10	09:35	00:25	
Colocación con puntos de soldadura	09:35	09:53	00:18	
Resoldado final	00:00	00:00	00:00	
Duración total instalación	09:00	09:53	00:53	
Duración resoldado	10:15	12:05	01:50	
Instalación con puntos de soldadura columna secundaria			81-127	Duración total (hr)
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje	12:30	12:40	00:10	03:02
Corte de ajuste de longitud final	12:40	13:10	00:30	
Colocación con puntos de soldadura	13:10	13:30	00:20	
Resoldado final	13:30	15:25	01:55	
Duración total instalación	12:30	13:30	01:00	
Duración resoldado	13:30	15:32	02:02	

Cuadro E.6. Duración promedio colocación de clavadores

Elemento	Inicio	Fin	Duración P (hr)
Montaje clavador	10:00	10:10	00:10
Montaje clavador	10:05	10:15	00:10
Montaje clavador	10:17	10:27	00:10
Montaje clavador	10:25	10:35	00:10
Montaje clavador	10:35	10:45	00:10
Montaje clavador	10:45	10:56	00:11
Montaje clavador	10:56	11:06	00:10
Montaje clavador	11:06	11:15	00:09
Montaje clavador	11:15	11:26	00:11
Montaje clavador	11:26	11:35	00:09

Cuadro E.10.1. Duraciones colocación de tensores de pared en marcos longitudinales

Instalación tensor de pared		Tensor de pared 1 (superior en eje I de 9-8)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	08:00	08:10	00:10
Soldadura de empalme	08:10	08:30	00:20
Colocación mediante puntos de soldadura	08:30	08:40	00:10
Resoldado final	08:40	09:15	00:35
Duración total instalación	08:00	09:15	01:15
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 2 (superior en eje I de 9-8)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	09:15	09:25	00:10
Soldadura de empalme	09:25	09:45	00:20
Colocación mediante puntos de soldadura	09:45	09:57	00:12
Resoldado final	09:57	10:30	00:33
Duración total instalación	09:15	10:30	01:15
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 3 (inferior en eje I de 8-7)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	10:30	10:40	00:10
Soldadura de empalme	10:40	10:59	00:19
Colocación mediante puntos de soldadura	10:59	11:10	00:11
Resoldado final	11:10	11:40	00:30
Duración total instalación	10:30	11:40	01:10
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 4 (inferior en eje I de 8-7)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	11:40	11:50	00:10
Soldadura de empalme	11:50	12:15	00:25
Colocación mediante puntos de soldadura	12:45	12:55	00:10
Resoldado final	12:55	13:20	00:25
Duración total instalación	11:40	13:20	01:10
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 5 (superior en eje I de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	13:30	13:40	00:10
Soldadura de empalme	13:40	14:10	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	14:10	14:25	00:15
Resoldado final	14:25	14:54	00:29
Duración total instalación	13:30	14:54	01:24
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 6 (superior en eje I de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	15:05	15:15	00:10
Soldadura de empalme	15:15	15:45	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	15:45	15:56	00:11
Resoldado final	15:56	16:25	00:29
Duración total instalación	15:05	16:25	01:20
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 7 (inferior en eje I de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	07:00	07:10	00:10
Soldadura de empalme	07:10	07:40	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	07:40	07:49	00:09
Resoldado final	07:49	08:15	00:26
Duración total instalación	07:00	08:15	01:15
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 8 (inferior en eje I de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	08:45	08:55	00:10
Soldadura de empalme	08:55	09:25	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	09:25	09:36	00:11
Resoldado final	09:36	10:01	00:25
Duración total instalación	08:45	10:01	01:16

Cuadro E.10.2. Duraciones colocación de tensores de pared en marcos longitudinales

Instalación tensor de pared		Tensor de pared 9 (superior en eje A de 9-8)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	12:30	12:40	00:10
Soldadura de empalme	12:40	13:15	00:35
Colocación mediante puntos de soldadura	13:15	13:25	00:10
Resoldado final	13:25	14:00	00:35
Duración total instalación	12:30	14:00	01:30
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 10 (superior en eje A de 9-8)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	14:00	14:10	00:10
Soldadura de empalme	14:10	14:43	00:33
Colocación mediante puntos de soldadura	14:43	14:55	00:12
Resoldado final	14:55	15:27	00:32
Duración total instalación	14:00	15:27	01:27
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 11 (inferior en eje A de 8-7)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	15:30	15:40	00:10
Soldadura de empalme	15:40	16:20	00:40
Colocación mediante puntos de soldadura	16:20	16:30	00:10
Resoldado final	16:30	16:58	00:28
Duración total instalación	15:30	16:58	01:28
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 12 (inferior en eje A de 8-7)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	11:40	11:50	00:10
Soldadura de empalme	11:50	12:15	00:25
Colocación mediante puntos de soldadura	12:45	12:55	00:10
Resoldado final	12:55	13:20	00:25
Duración total instalación	11:40	13:20	01:10
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 13 (superior en eje A de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	13:20	13:30	00:10
Soldadura de empalme	13:30	14:00	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	14:00	14:11	00:11
Resoldado final	14:11	14:45	00:34
Duración total instalación	13:20	14:45	01:25
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 14 (superior en eje A de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	15:00	15:12	00:12
Soldadura de empalme	15:12	15:42	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	15:42	15:53	00:11
Resoldado final	15:53	16:27	00:34
Duración total instalación	15:00	16:27	01:27
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 15 (inferior en eje A de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	06:00	06:10	00:10
Soldadura de empalme	06:10	06:40	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	06:40	06:51	00:11
Resoldado final	06:51	07:10	00:19
Duración total instalación	06:00	07:10	01:10
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 16 (inferior en eje A de 5-4)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	07:15	07:25	00:10
Soldadura de empalme	07:25	07:50	00:25
Colocación mediante puntos de soldadura	07:50	08:02	00:12
Resoldado final	08:02	08:30	00:28
Duración total instalación	07:15	08:30	01:15

Cuadro E.11.1. Duraciones colocación de vigas a 2.5 m.s.n.p.t en marcos transversales

Instalación viga 1 a 2.5 msnpt Eje 1		(K 18 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	08:30	08:45	00:15	
Corte de ajuste de longitud final	08:45	09:15	00:30	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	09:15	09:26	00:11	
Instalación y torqueo	09:26	09:40	00:14	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	09:40	10:05	00:25	
Duración total	08:30	11:05	01:35	
Instalación viga 2 a 2.5 msnpt Eje 1		(K 18 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	10:05	10:15	00:10	
Corte de ajuste de longitud final	10:15	10:46	00:31	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	10:46	10:55	00:09	
Instalación y torqueo	10:55	11:10	00:15	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	11:10	11:35	00:25	
Duración total	10:05	11:35	01:30	
Instalación viga 3 a 2.5 msnpt Eje 1		(K 18 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	11:35	11:50	00:15	
Corte de ajuste de longitud final	11:50	12:25	00:35	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	13:00	13:10	00:10	
Instalación y torqueo	13:10	13:24	00:14	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	13:24	13:45	00:21	
Duración total	11:35	13:45	01:35	
Instalación viga 4 a 2.5 msnpt Eje 1		(K 18 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	14:00	14:10	00:10	
Corte de ajuste de longitud final	14:10	14:40	00:30	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	14:40	14:50	00:10	
Instalación y torqueo	14:50	15:05	00:15	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	15:05	15:30	00:25	
Duración total	14:00	15:30	01:30	
Instalación viga 5 a 2.5 msnpt Eje 1		(K 18 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	15:30	15:40	00:10	
Corte de ajuste de longitud final	15:40	16:08	00:28	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	16:08	16:20	00:12	
Instalación y torqueo	16:20	16:35	00:15	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	16:35	17:04	00:29	
Duración total	15:30	17:04	01:34	
Instalación viga 6 a 2.5 msnpt Eje 1		(M 19 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	06:00	06:10	00:10	
Corte de ajuste de longitud final	06:10	06:30	00:20	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	06:30	06:42	00:12	
Instalación y torqueo	06:42	06:52	00:10	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	06:52	07:20	00:28	
Duración total	06:00	07:20	01:20	
Instalación viga 7 a 2.5 msnpt Eje 1		(M 19 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	07:20	07:26	00:06	
Corte de ajuste de longitud final	07:26	07:45	00:19	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	07:45	07:55	00:10	
Instalación y torqueo	07:55	08:05	00:10	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	08:05	08:30	00:25	
Duración total	07:20	08:30	01:10	
Instalación viga 8 a 2.5 msnpt Eje 1		(M 19 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	08:30	08:37	00:07	
Corte de ajuste de longitud final	08:37	08:55	00:18	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	08:55	09:07	00:12	
Instalación y torqueo	09:07	09:19	00:12	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	09:19	09:40	00:21	
Duración total	08:30	09:40	01:10	

Cuadro E.11.2. Duraciones colocación de vigas a 2.5 m.s.n.p.t en marcos transversales

Instalación viga 1 a 2.5 msnpt Eje 10		(M 19 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	10:10	10:22	00:12	
Corte de ajuste de longitud final	10:22	10:50	00:28	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	10:50	11:00	00:10	
Instalación y torqueo	11:00	11:15	00:15	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	11:15	11:50	00:35	
Duración total	10:10	11:50	01:40	
Instalación viga 2 a 2.5 msnpt Eje 10		(M 19 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	12:30	12:41	00:11	
Corte de ajuste de longitud final	12:41	13:05	00:24	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	13:05	13:16	00:11	
Instalación y torqueo	13:16	13:30	00:14	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	13:30	14:00	00:30	
Duración total	12:30	14:00	01:30	
Instalación viga 3 a 2.5 msnpt Eje 10		(M 19 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	14:00	14:10	00:10	
Corte de ajuste de longitud final	14:10	14:40	00:30	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	14:40	14:55	00:15	
Instalación y torqueo	14:55	15:05	00:10	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	15:05	15:30	00:25	
Duración total	14:00	15:30	01:30	
Instalación viga 4 a 2.5 msnpt Eje 10		(M 19 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	15:30	15:40	00:10	
Corte de ajuste de longitud final	15:40	16:10	00:30	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	16:10	16:19	00:09	
Instalación y torqueo	16:19	16:29	00:10	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	16:29	17:02	00:33	
Duración total	15:30	17:02	01:32	
Instalación viga 5 a 2.5 msnpt Eje 10		(S 22 8 2015)		
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	
Traslado desde Pto de almacenaje, Medición de distancia entre columnas para colocar viga	09:00	09:15	00:15	
Corte de ajuste de longitud final	09:15	09:39	00:24	
Colocación con puntos de soldadura placa en extremo de ajuste	09:39	09:50	00:11	
Instalación y torqueo	09:50	10:00	00:10	
Resoldado final placa en extremo de ajuste	10:00	10:31	00:31	
Duración total	09:00	10:31	01:31	

Cuadro E.12. Duraciones colocación de tensores de pared en marcos transversales

Instalación tensor de pared		Tensor de pared 17 (superior en eje 1)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	07:00	07:11	00:11
Soldadura de empalme	07:11	07:40	00:29
Colocación mediante puntos de soldadura	07:40	07:50	00:10
Resoldado final	07:50	08:20	00:30
Duración total instalación	07:00	08:20	01:20
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 18 (superior en eje 1)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	08:20	08:30	00:10
Soldadura de empalme	08:30	09:00	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	09:00	09:10	00:10
Resoldado final	09:10	09:45	00:35
Duración total instalación	08:20	09:45	01:25
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 19 (superior en eje 1)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	09:45	09:55	00:10
Soldadura de empalme	09:55	10:20	00:25
Colocación mediante puntos de soldadura	10:20	10:30	00:10
Resoldado final	10:30	11:00	00:30
Duración total instalación	09:45	11:00	01:15
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 20 (superior en eje 1)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	11:00	11:12	00:12
Soldadura de empalme	11:12	11:40	00:28
Colocación mediante puntos de soldadura	11:40	11:50	00:10
Resoldado final	11:50	12:18	00:28
Duración total instalación	11:00	12:18	01:18
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 21 (superior en eje 10)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	13:00	13:10	00:10
Soldadura de empalme	13:10	13:41	00:31
Colocación mediante puntos de soldadura	13:41	13:52	00:11
Resoldado final	13:52	14:19	00:27
Duración total instalación	13:00	14:19	01:19
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 22 (superior en eje 10)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	14:30	14:50	00:20
Soldadura de empalme	14:50	15:20	00:30
Colocación mediante puntos de soldadura	15:20	15:31	00:11
Resoldado final	15:31	15:47	00:16
Duración total instalación	14:30	15:47	01:17
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 23 (superior en eje 10)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	15:50	16:00	00:10
Soldadura de empalme	16:00	16:27	00:27
Colocación mediante puntos de soldadura	16:27	16:38	00:11
Resoldado final	16:38	17:03	00:25
Duración total instalación	15:50	17:03	01:13
Instalación tensor de pared		Tensor de pared 24 (superior en eje 10)	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Medición y corte de longitud requerida	07:30	07:40	00:10
Soldadura de empalme	07:40	08:12	00:32
Colocación mediante puntos de soldadura	08:12	08:22	00:10
Resoldado final	08:22	08:50	00:28
Duración total instalación	07:30	08:50	01:20

Cuadro E.13.1. Duraciones colocación de bracones en paredes

Bracones		Eje A en 10		Bracones		Eje I en 10	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	13:10	13:18	00:08	Instalación de escalera	09:30	09:40	00:10
Medición y corte de longitud requerida	13:18	13:34	00:16	Medición y corte de longitud requerida	09:40	09:55	00:15
Colocación puntos soldadura	13:34	13:50	00:16	Colocación puntos soldadura	09:55	10:10	00:15
Resoldado final	13:50	14:05	00:15	Resoldado final	10:10	10:27	00:17
Duración total instalación	13:10	14:05	00:55	Duración total instalación	09:30	10:27	00:57
Bracones		Eje A en 9		Bracones		Eje I en 9	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	14:05	14:15	00:10	Instalación de escalera	10:30	10:40	00:10
Medición y corte de longitud requerida	14:15	14:45	00:30	Medición y corte de longitud requerida	10:40	11:00	00:20
Colocación puntos soldadura	14:45	15:15	00:30	Colocación puntos soldadura	11:00	11:30	00:30
Resoldado final	15:15	15:35	00:20	Resoldado final	11:30	12:00	00:30
Duración total instalación	14:05	15:35	01:30	Duración total instalación	10:30	12:00	01:30
Bracones		Eje A en 8		Bracones		Eje I en 8	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	15:35	15:45	00:10	Instalación de escalera	12:45	12:54	00:09
Medición y corte de longitud requerida	15:45	16:15	00:30	Medición y corte de longitud requerida	12:54	13:15	00:21
Colocación puntos soldadura	16:15	16:40	00:25	Colocación puntos soldadura	13:15	13:38	00:23
Resoldado final	16:40	17:05	00:25	Resoldado final	13:38	14:05	00:27
Duración total instalación	15:35	17:05	01:30	Duración total instalación	12:45	14:05	01:20
Bracones		Eje A en 7		Bracones		Eje I en 7	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	10:35	10:45	00:10	Instalación de escalera	14:05	14:10	00:05
Medición y corte de longitud requerida	10:45	11:15	00:30	Medición y corte de longitud requerida	14:10	14:30	00:20
Colocación puntos soldadura	11:15	11:40	00:25	Colocación puntos soldadura	14:30	14:55	00:25
Resoldado final	11:40	12:00	00:20	Resoldado final	14:55	15:20	00:25
Duración total instalación	10:35	12:00	01:25	Duración total instalación	14:05	15:20	01:15
Bracones		Eje A en 6		Bracones		Eje I en 6	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	12:30	12:36	00:06	Instalación de escalera	15:30	15:37	00:07
Medición y corte de longitud requerida	12:36	12:58	00:22	Medición y corte de longitud requerida	15:37	15:58	00:21
Colocación puntos soldadura	12:58	13:20	00:22	Colocación puntos soldadura	15:58	16:20	00:22
Resoldado final	13:20	13:40	00:20	Resoldado final	16:20	16:52	00:32
Duración total instalación	12:30	13:40	01:10	Duración total instalación	15:30	16:52	01:22
Bracones		Eje A en 5		Bracones		Eje I en 5	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	13:40	13:47	00:07	Instalación de escalera	06:00	06:10	00:10
Medición y corte de longitud requerida	13:47	14:08	00:21	Medición y corte de longitud requerida	06:10	06:35	00:25
Colocación puntos soldadura	14:08	14:30	00:22	Colocación puntos soldadura	06:35	07:00	00:25
Resoldado final	14:30	14:48	00:18	Resoldado final	07:00	07:30	00:30
Duración total instalación	13:40	14:48	01:08	Duración total instalación	06:00	07:30	01:30

Cuadro E.13.2. Duraciones colocación de bracones en paredes

Bracones		Eje A en 4		Bracones		Eje I en 4	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	14:50	14:58	00:08	Instalación de escalera	07:30	07:38	00:08
Medición y corte de longitud requerida	14:58	15:20	00:22	Medición y corte de longitud requerida	07:38	08:00	00:22
Colocación puntos soldadura	15:20	15:40	00:20	Colocación puntos soldadura	08:00	08:28	00:28
Resoldado final	15:40	16:00	00:20	Resoldado final	08:28	09:00	00:32
Duración total instalación	14:50	16:00	01:10	Duración total instalación	07:30	09:00	01:30
Bracones		Eje A en 2		Bracones		Eje I en 2	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	07:00	07:05	00:05	Instalación de escalera	09:00	09:10	00:10
Medición y corte de longitud requerida	07:05	07:25	00:20	Medición y corte de longitud requerida	09:10	09:38	00:28
Colocación puntos soldadura	07:25	07:55	00:30	Colocación puntos soldadura	09:38	10:04	00:26
Resoldado final	07:55	08:20	00:25	Resoldado final	10:04	10:32	00:28
Duración total instalación	07:00	08:20	01:20	Duración total instalación	09:00	10:32	01:32
Bracones		Eje A en 1		Bracones		Eje I en 1	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de escalera	08:30	08:40	00:10	Instalación de escalera	10:35	10:45	00:10
Medición y corte de longitud requerida	08:40	08:55	00:15	Medición y corte de longitud requerida	10:45	11:00	00:15
Colocación puntos soldadura	08:55	09:10	00:15	Colocación puntos soldadura	11:00	11:16	00:16
Resoldado final	09:10	09:25	00:15	Resoldado final	11:16	11:35	00:19
Duración total instalación	08:30	09:25	00:55	Duración total instalación	10:35	11:35	01:00

Cuadro E.14. Duraciones colocación de bracones en paredes

Bracones de vigas		Eje A en 10		Bracones de vigas		Eje I en 10	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	07:00	07:10	00:10	Instalación de andamio	13:10	13:19	00:09
Instalación y pernado	07:10	07:16	00:06	Instalación y pernado	13:19	13:30	00:11
Torque final	07:16	07:21	00:05	Torque final	13:30	13:39	00:09
Duración total instalación	07:00	07:21	00:21	Duración total instalación	13:10	13:39	00:29
Bracones de vigas		Eje A en 9		Bracones de vigas		Eje I en 9	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	07:30	07:40	00:10	Instalación de andamio	13:50	14:00	00:10
Instalación y pernado	07:40	07:50	00:10	Instalación y pernado	14:00	14:10	00:10
Torque final	07:50	08:00	00:10	Torque final	14:10	14:20	00:10
Duración total instalación	07:30	08:00	00:30	Duración total instalación	13:50	14:20	00:30
Bracones de vigas		Eje A en 8		Bracones de vigas		Eje I en 8	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	08:10	08:20	00:10	Instalación de andamio	14:20	14:28	00:08
Instalación y pernado	08:20	08:31	00:11	Instalación y pernado	14:28	14:40	00:12
Torque final	08:31	08:41	00:10	Torque final	14:40	14:52	00:12
Duración total instalación	08:10	08:41	00:31	Duración total instalación	14:20	14:52	00:32
Bracones de vigas		Eje A en 7		Bracones de vigas		Eje I en 7	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	08:50	09:00	00:10	Instalación de andamio	15:00	15:12	00:12
Instalación y pernado	09:00	09:10	00:10	Instalación y pernado	15:12	15:22	00:10
Torque final	09:10	09:20	00:10	Torque final	15:22	15:31	00:09
Duración total instalación	08:50	09:20	00:30	Duración total instalación	15:00	15:31	00:31
Bracones de vigas		Eje A en 6		Bracones de vigas		Eje I en 6	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	09:30	09:39	00:09	Instalación de andamio	15:40	15:50	00:10
Instalación y pernado	09:39	09:49	00:10	Instalación y pernado	15:50	16:00	00:10
Torque final	09:49	09:58	00:09	Torque final	16:00	16:10	00:10
Duración total instalación	09:30	09:58	00:28	Duración total instalación	15:40	16:10	00:30
Bracones de vigas		Eje A en 5		Bracones de vigas		Eje I en 5	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	10:05	10:15	00:10	Instalación de andamio	16:20	16:30	00:10
Instalación y pernado	10:15	10:25	00:10	Instalación y pernado	16:30	16:41	00:11
Torque final	10:25	10:35	00:10	Torque final	16:41	16:51	00:10
Duración total instalación	10:05	10:35	00:30	Duración total instalación	16:20	16:51	00:31
Bracones de vigas		Eje A en 4		Bracones de vigas		Eje I en 4	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	10:40	10:50	00:10	Instalación de andamio	07:00	07:08	00:08
Instalación y pernado	10:50	11:00	00:10	Instalación y pernado	07:08	07:20	00:12
Torque final	11:00	11:10	00:10	Torque final	07:20	07:30	00:10
Duración total instalación	10:40	11:10	00:30	Duración total instalación	07:00	07:30	00:30
Bracones de vigas		Eje A en 2		Bracones de vigas		Eje I en 2	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	11:20	11:28	00:08	Instalación de andamio	07:40	07:50	00:10
Instalación y pernado	11:28	11:39	00:11	Instalación y pernado	07:50	07:59	00:09
Torque final	11:39	11:51	00:12	Torque final	07:59	08:08	00:09
Duración total instalación	11:20	11:51	00:31	Duración total instalación	07:40	08:08	00:28
Bracones de vigas		Eje A en 1		Bracones de vigas		Eje I en 1	
Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)	Actividad	Inicio	Fin	Duración (h)
Instalación de andamio	12:35	12:45	00:10	Instalación de andamio	08:20	08:30	00:10
Instalación y pernado	12:45	12:52	00:07	Instalación y pernado	08:30	08:37	00:07
Torque final	12:52	13:00	00:08	Torque final	08:37	08:45	00:08
Duración total instalación	12:35	13:00	00:25	Duración total instalación	08:20	08:45	00:25

APÉNDICE F: PLANTILLA PARA MEDICIÓN DE EQUIPOS EN CAMPO

Cuadro F.1. Plantilla para contabilizar equipos por actividad

Actividad	Equipo	Cantidad utilizada
	Grúa 30 toneladas	
	Unidad de compresor 185 CNF	
	Soldadora y máscara	
	Llamador de pernos	
	Llave manual de torque	
	Pistola de torque 1500-1800 lb	
	Tanque acetileno	
	Andamios 1,8 m	
	Escaleras 3,5 m	
	Esmeriladora	
	Prensa tipo sargento	
	Eslinga de nylon 12 m	
	Cuerda de nylon 15 m	
	Arnés	
	Escuadras	
	Niveles	
	Plomo	
	Maso 5 kg	
	Cinta manual 8 m	
	Cinta manual 50 m	