

Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Civil

Valor Ganado: aplicación en el control y seguimiento del revestimiento del túnel de  
conducción del Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís

Informe de Trabajo Final de Graduación para obtener  
El grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Elaborado por: Fabiola Salas Agüero

Agosto, 2009.

### **MIEMBROS DEL COMITÉ ASESOR**

Director: Ing. Walter Muñoz Caravaca, MAP.

Asesor: Ing. José Luis Salas Quesada.

Asesor: Ing. Oscar Luis Vega Antonini, MAP.

## **DEDICATORIA**

A mi Dios por iluminar mi camino y por impulsarme a seguir siempre adelante, mis padres por brindarme la oportunidad de estudiar y superarme como persona y por su apoyo y sabiduría incondicional, mis hermanos por su ejemplo y cariño brindado. A Diego por ser tan especial conmigo y por apoyarme en todo y por último a Silvia por su continua ayuda en gran parte de mi carrera y por su sincera amistad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Walter Muñoz, por despertar en mí el interés por la Administración de Proyectos y su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Oscar Luis Vega, al ser mi guía en la elaboración de este proyecto y darme la confianza y oportunidad de comenzar a desarrollarme como profesional.

Al Ing. José Luis Salas, por sus aportes durante este proceso.

Al Ing. Minor Novo por su tiempo y valiosa colaboración para el desarrollo de este proyecto.

Salas Agüero Fabiola

**Valor Ganado: aplicación en el control y seguimiento del revestimiento del túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís.**

Proyecto de Graduación-Ingeniería Civil-San José, Costa Rica, 2009.

F Salas A., 2009.

129h: ils – 22 refs.

### **Resumen**

En el presente documento se da a conocer una de las herramientas utilizadas en el control y seguimiento de proyectos: "Valor Ganado". Aunque esta herramienta no es muy utilizada por el desconocimiento que se tiene de la misma, es sumamente importante debido a que permite un análisis en la dimensión de costos y tiempos, en cualquier período de evaluación del proyecto.

Con el desarrollo de este se pretende dar uno de los primeros pasos en el establecimiento del método de Valor Ganado en los proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

El objetivo principal del presente proyecto de graduación es realizar un análisis utilizando ésta herramienta en un tramo del revestimiento del túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís, para tener la posibilidad que el *Gerente del Proyecto* logre identificar los problemas que se están presentando y tomar las medidas correctivas correspondientes en cada caso de forma rápida y efectiva.

Para esto fue necesario definir primero los conceptos que intervienen en la utilización de la herramienta del Valor Ganado, así como los principales pasos a seguir para la implantación de esta. Seguidamente se creó una plantilla con la cual, se realizaron los cálculos de las variaciones, índices de desempeño y proyecciones que componen la metodología.

Luego se realizó un análisis de los resultados obtenidos para poder medir el estado actual del proyecto, se analizaron las causas que provocaron las desviaciones en tiempo y en costos y se procedió a definir e implementar las acciones correctivas correspondientes para cada caso.

Finalmente se realizó la revisión y ajuste del plan del proyecto con las correcciones realizadas, con esto se espera que se llegue a cumplir con los objetivos propuestos del proyecto. S.A.F.

**VALOR GANADO; PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS; TÚNEL DE CONDUCCIÓN; ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS; PLANIFICACIÓN; CONTROL DE COSTOS; CONTROL DE AVANCE; REPORTES DE DESEMPEÑO.**

Ing. Walter Muñoz Caravaca MAP  
Escuela de Ingeniería Civil

## INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 EL PROBLEMA ESPECÍFICO.....	1
1.2 IMPORTANCIA.....	2
1.3 ANTECEDENTES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS.....	3
1.4 METODOLOGÍA.....	5
1.5 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
2.1 DIRECCIÓN DE PROYECTOS .....	9
2.2 GRUPOS DE PROCESOS DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS.....	10
2.2.1 GRUPO DE PROCESOS DE INICIO .....	11
2.2.2 GRUPO DE PROCESOS DE PLANIFICACIÓN .....	11
2.2.3 GRUPO DE PROCESOS DE EJECUCIÓN.....	12
2.2.4 GRUPO DE PROCESOS DE SEGUIMIENTO Y CONTROL .....	13
2.2.5 GRUPO DE PROCESOS DE CIERRE.....	14
2.3 GESTIÓN DE LA INTEGRACIÓN DEL PROYECTO .....	15
2.3.1 DESARROLLAR EL ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO.....	16
2.3.2 DESARROLLAR EL ENUNCIADO DE ALCANCE PRELIMINAR DEL PROYECTO .....	18
2.3.3 DESARROLLAR EL PLAN DE GESTIÓN DEL PROYECTO .....	20
2.3.4 DIRIGIR Y GESTIONAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	21
2.3.5 SUPERVISAR Y CONTROLAR EL PLAN DEL PROYECTO .....	23
2.3.6 CONTROL INTEGRAL DE CAMBIOS.....	25
2.3.7 CIERRE DEL PROYECTO .....	26
2.4 GESTIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO.....	27
2.4.1 PLANIFICACIÓN DEL ALCANCE .....	28
2.4.2 DEFINICIÓN DEL ALCANCE .....	29
2.4.3 CREAR LA ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DE TRABAJO.....	29
2.4.4 VERIFICACIÓN DEL ALCANCE .....	32
2.4.5 CONTROL DEL ALCANCE .....	33

2.5	GESTIÓN DEL TIEMPO DE UN PROYECTO.....	34
2.5.1	DEFINICIÓN DE LAS ACTIVIDADES .....	35
2.5.2	ESTABLECIMIENTO DE LA SECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES .....	36
2.5.3	ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE LAS ACTIVIDADES.....	37
2.5.4	ESTMACIÓN DE LA DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES .....	38
2.5.5	DESARROLLO DEL CRONOGRAMA.....	39
2.5.6	CONTROL DEL CRONOGRAMA.....	40
2.6	GESTIÓN DE COSTOS DE UN PROYECTO .....	42
2.6.1	ESTIMACIÓN DE COSTES.....	42
2.6.2	PREPARACIÓN DEL PRESUPUESTO DE COSTES .....	43
2.6.3	CONTROL DE COSTES .....	44
2.7	GESTIÓN DE CALIDAD DE UN PROYECTO.....	45
2.7.1	PLANIFICACIÓN DE CALIDAD DE UN PROYECTO.....	46
2.7.2	REALIZAR ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	47
2.7.3	REALIZAR CONTROL DE CALIDAD .....	48
2.8	VALOR GANADO.....	49
2.8.1	INDICADORES.....	50
2.8.2	ÍNDICES DE RENDIMIENTO .....	51
2.8.3	VARIACIONES .....	54
2.8.4	PROYECCIONES.....	55
2.8.5	RESUMEN DE LOS INDICADORES.....	57
2.9	PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALOR GANADO.....	58
2.9.1	ESTABLECER LA MEDIDA DE DESEMPEÑO DE LA LÍNEA BASE.....	50
2.9.2	ACTUALIZAR EL CRONOGRAMA REPORTANDO EL PROGRESO DE LAS ACTIVIDADES.....	60
2.9.3	HACER EL CÁLCULO DEL VALOR GANADO .....	60
2.9.4	ANALIZAR LOS DATOS Y GENERAR REPORTE DE DESEMPEÑO.....	60
2.9.5	CONTROL DE CAMBIOS.....	61
<b>CAPÍTULO 3: ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS EN EL P.H.PIRRÍS .....</b>		<b>62</b>
3.1	PRESENTACIÓN DEL P.H.PIRRÍS.....	62
3.1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	62
3.1.2	CARACTERISTICAS DE LOS ENTREGABLES .....	63
3.2	DISEÑO DE LA OGANIZACIÓN .....	70
3.2.1	ORGANIGRAMA .....	70

3.2.2 ROLES Y RESPONSABILIDADES.....	71
3.2.3 ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT).....	74
3.2.4 COMPOSICIÓN DEL RECURSO HUMANO .....	75
3.2.5 CRONOGRAMA DEL PROYECTO .....	77
3.2.6 PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	77
3.2.7 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO.....	78
<b>3.3 PROCEDIMIENTO DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS UTILIZADOS EN EL P.H.PIRRÍS.....</b>	<b>80</b>
3.3.1 METODOLOGÍAS ACTUALES DE CONTROL DE ALCANCE .....	80
3.3.2 METODOLOGÍAS ACTUALES DE CONTROL DE AVANCE.....	82
3.3.3 METODOLOGÍAS ACTUALES DE CONTROL DE COSTOS .....	82
3.3.4 METODOLOGIAS ACTUALES DE CONTROL DE CALIDAD.....	84
3.3.5 PROCEDIMIENTOS INSTITUCIONALES .....	86
<b>CAPÍTULO 4: REVISIÓN Y VALIDACIÓN DEL PLAN DEL PROYECTO .....</b>	<b>87</b>
4.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	88
4.2 ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE TRABAJO (WBS) .....	89
4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS INVOLUCRADOS .....	89
4.4 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO .....	90
4.4.1 ORGANIGRAMA .....	90
4.4.2 ROLES Y RESPONSABILIDADES.....	92
4.5 CRONOGRAMA .....	95
4.6 COSTO DEL PROYECTO.....	95
4.7 COMUNICACIÓN EN EL PROYECTO.....	96
4.8 ADMINISTRACION DE LA CALIDAD.....	97
4.9 HERRAMIENTAS DE CONTROL DEL PROYECTO.....	98
<b>CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALOR GANADO.....</b>	<b>99</b>
5.1 PASO 1: ESTABLECER LA LÍNEA DE DESEMPEÑO DE LÍNEA BASE....	99
5.2 PASO 2: ACTUALIZAR EL CRONOGRAMA REPORTANDO EL PROGRESO DE LAS ACTIVIDADES .....	101
5.3 PASO 3: REALIZAR EL CÁLCULO DEL VALOR GANADO .....	101
5.4 PASO 4: GENERAR EL REPORTE DE DESEMPEÑO Y ANALIZAR DATOS.....	101
5.4.1 REPROGRAMANDO EL PROGRAMA DE TRABAJO .....	107
5.4.2 INCLUSIÓN DE ÓRDENES DE CAMBIO .....	112

5.4.3 DIFERENCIAS ENCONTRADAS AL REALIZAR ANÁLISIS DISTINTOS	117
5.5 PASO 5: CONTROL DE CAMBIOS	101
5.5.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	119
5.5.2 CAMBIOS PROPUESTOS	121
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>123</b>
6.1 CONCLUSIONES	123
6.2 RECOMENDACIONES	101
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>127</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>A1</b>
ANEXO 1:WBS, para el proyecto de graduación	A2
ANEXO 2: Acta de constitución del proyecto de graduación	A3
ANEXO 3. Declaración del alcance del proyecto de graduación	A4
ANEXO 4. Declaración del alcance del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís	A5
ANEXO 5. Diagrama descriptivo de obras	A6
ANEXO 6. Cronograma del P.H.Pirrís	A7
ANEXO 7. Declaración del alcance del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís	A8
ANEXO 8. EDT original del revestimiento del túnel del P.H.Pirrís obras	A9
ANEXO 9. EDT actual del revestimiento del túnel del P.H.Pirrís obra	A10

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfica muestra la variación del costo actual, con el costo presupuestado y el valor ganado.....	6
Figura 2. Fundamentos de la Gerencia del Proyecto.....	10
Figura 3. Grupo de procesos de dirección de proyectos. ....	14
Figura 4. Interacción entre las cinco áreas del conocimiento. ....	15
Figura 5. Principales procesos de Gestión de la Integración.....	16
Figura 6. Entradas, herramientas y salidas de desarrollar el acta de constitución del proyecto.....	17
Figura 7. Entradas, herramientas y salidas de desarrollar el enunciado del alcance del proyecto.....	19
Figura 8. Entradas, herramientas y salidas de desarrollar el plan de gestión del proyecto.....	21
Figura 9. Entradas, herramientas y salidas de dirigir y gestionar la ejecución del proyecto.....	23
Figura 10. Entradas, herramientas y salidas de supervisar y controlar el plan del proyecto.....	24
Figura 11. Entradas, herramientas y salidas de control integrado de cambios.....	26
Figura 12. Entradas, herramientas y salidas de cerrar el proyecto.....	27
Figura 13. Principales procesos de gestión del alcance.....	28
Figura 14. Entradas, herramientas y salidas de la planificación del alcance.....	29
Figura 15. Entradas, herramientas y salidas de la definición del alcance.....	30
Figura 16. Entradas, herramientas y salidas de la creación de la EDT.....	32
Figura 17. Entradas, herramientas y salidas de la verificación del alcance.....	33
Figura 18. Entradas, herramientas y salidas del control del alcance.....	34
Figura 19. Principales procesos de gestión del tiempo.....	35

Figura 20. Entradas, herramientas y salidas de la definición de las actividades. ....	36
Figura 21. Entradas, herramientas y salidas del establecimiento de las secuencias de las actividades. ....	37
Figura 22. Entradas, herramientas y salidas de la estimación de los recursos de las actividades.....	38
Figura 23. Entradas, herramientas y salidas de la estimación de la duración de las actividades.....	39
Figura 24. Entradas, herramientas y salidas del desarrollo del cronograma. ....	40
Figura 25. Entradas, herramientas y salidas del control del cronograma. ....	41
Figura 26. Principales procesos de la gestión de costos. ....	42
Figura 27. Entradas, herramientas y salidas de estimación de costes. ....	43
Figura 28. Entradas, herramientas y salidas de estimación de costes. ....	44
Figura 29. Entradas, herramientas y salidas de estimación de costes. ....	45
Figura 30. Principales procesos de la gestión de la calidad. ....	46
Figura 31. Entradas, herramientas y salidas de la planificación de un proyecto. ....	46
Figura 32. Entradas, herramientas y salidas de realizar aseguramiento de la calidad.	47
Figura 33. Entradas, herramientas y salidas de realizar control de calidad.....	48
Figura 34. Gráfica muestra la tendencia del costo actual, con el costo presupuestado y el Valor Ganado.....	51
Figura 35. Gráfica muestra la variación del costo y del cronograma. ....	55
Figura 36. Gráfica que muestra las proyecciones ETC, EAC y VAC.....	57
Figura 37. Pasos para realizar Valor Ganado.....	61
Figura 38. Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.....	62
Figura 39. Fotografía de la ubicación de la represa y embalse sobre el río Pirrís ...	64
Figura 40. Fotografía de la trinchera donde se ubicará la tubería blindada de acero de 400m de longitud. ....	65

Figura 41. Fotografía de la trinchera donde se ubicará la tubería blindada de acero de 400m de longitud. ....	66
Figura 42. Fotografía del avance de la construcción de casa de maquinas, Parrita..	67
Figura 43. Cuenca en la zona de los santos.....	68
Figura 44. Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.....	71
Figura 45. EDT del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. ....	75
Figura 46. Flujo personal total del P.H.Pirrís. ....	76
Figura 47. Flujo personal por categoría, P.H.Pirrís.....	76
Figura 48. Curva de avance del P.H. Pirrís.....	79
Figura 49. Clasificación de involucrados en el proyecto de revestimiento.....	90
Figura 50. Matriz de roles y responsabilidades en la etapa de revestimiento.....	92
Figura 51. Fecha de inicio y fin del proyecto .....	95
Figura 52. Matriz de comunicación del revestimiento del túnel.....	97

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis del índice de rendimiento costo-cronograma.....	53
Tabla 2. Resumen de indicadores utilizados en el método del Valor Ganado.....	58
Tabla 3. Resumen de características básicas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís. ....	69
Tabla 4. Presupuesto del proyecto. ....	77
Tabla 5. Avance real y programado de las principales actividades que conforman el proyecto.....	78
Tabla 6. Cantidad de métodos de trabajo en el proyecto .....	86
Tabla 7. Cantidad de planes de calidad en el proyecto .....	87
Tabla 8. Detalles de los diferentes tramos del túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís. ....	88
Tabla 9. Costos totales del revestimiento y acero del primer tramo túnel.....	96
Tabla 10. Costo presupuestado al final del proyecto (BAC). ....	96
Tabla 11. Distribución del acero de refuerzo. ....	99
Tabla 12. Porcentaje de avance programado.....	100
Tabla 13. Costos totales programados de la colocación del acero.....	100
Tabla 14. Costos totales programados de la colocación del concreto. ....	100
Tabla 15. Costos programados bisemanales.....	101
Tabla 16. Costo presupuestado al final del proyecto.....	101
Tabla 17. Costos reales bisemanales.....	102
Tabla 18. Porcentajes de avance en obra. ....	102
Tabla 19. Reporte de desempeño antes de la reprogramación.....	104
Tabla 20. Porcentaje de avance programado de la obra .....	108
Tabla 21. Reporte de desempeño al incluir la reprogramación.....	109
Tabla 22. Cambio de diseño de concreto de resistencia 210 kg/cm <sup>2</sup> a 280kg/cm <sup>2</sup> . 113	

Tabla 23. Costo presupuestado final con inclusión de órdenes de cambio. ....	113
Tabla 24. Reporte de desempeño con inclusión de órdenes de cambio .....	114
Tabla 25. Cuadro comparativo implementando los dos análisis.....	118
Tabla 26. Comparación entre rendimientos programados y los realmente obtenidos. .....	121

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Valor planificado, costo actual y Valor Ganado.....	105
Gráfico 2. Índices de eficiencia.....	106
Gráfica 3. Proyecciones del presupuesto estimado.....	107
Gráfica 4. Valor planificado, costo actual y Valor Ganado utilizando reprogramación.....	110
Gráfico 5. Índices de eficiencia reprogramando el programa de trabajo.....	111
Gráfica 6. Proyecciones del presupuesto reprogramando el programa de trabajo.....	112
Gráfico 7. Valor planificado, costo actual y Valor Ganado con inclusión de extras.....	115
Gráfico 8. Índices de eficiencia con inclusión de órdenes de cambio.....	116
Gráfica 9. Proyecciones del presupuesto estimado con inclusión de extras.....	117

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

### 1.1 EL PROBLEMA ESPECÍFICO

Frecuentemente los Jefes de Proyecto son cuestionados acerca de qué tan avanzado está un proyecto, muchas veces hasta ellos mismos se estarán haciendo la misma pregunta, debido a que no se está llevando un adecuado control del avance de la obra o tan solo este es inexistente. Si no se tiene un plan de trabajo, o si éste no se mantiene actualizado, no se llegará a tener una respuesta favorable a la pregunta anterior. Esto se ve ejemplificado en un estudio realizado por The Standish Group International que publicó que el 70 % de los proyectos a nivel mundial presentan sobrecostos y atrasos, un 52 % de los proyectos terminan con un 1,89 veces por encima del presupuesto inicial y algunos otros luego de inmensas inversiones de tiempo y dinero nunca se terminan, según una presentación elaborada por Gómez (2004) en la II Jornada de proyectos de IT- ACIS.

Si se tiene un buen plan de trabajo y éste se mantiene al día, se tienen elementos para tener una idea de cuánto trabajo falta por hacer y cuál podría ser la fecha de término proyectada; pero no se sabe el porcentaje de avance del proyecto.

El método de control del Valor Ganado permite al *Director del proyecto* saber qué tan avanzado se está en el proyecto, cuánto trabajo falta por hacer, cuál es el coste estimado y la fecha probable de término y toda clase de información interesante.

Sin embargo, este método no es muy usado en los proyectos debido a que la organización no lo ha adoptado. Implantar Valor Ganado en un proyecto requiere un alto nivel de disciplina y procesos comunes. Además al ser este un método tan actual es probable que muchos no hayan visto nunca el Valor Ganado o tan solo hayan escuchado hablar de este.

Otra razón por la cual la organización no ha adoptado este método es por la falta de tiempo, porque consideran que no tienen tiempo para realizar el control y seguimiento del proyecto debido a que lo toman como un trabajo engorroso que no tiene un beneficio; sin embargo, creando un sistema de estandarización mediante plantillas generaría una simplificación en el control de los datos a ingresar en la herramienta de

Valor Ganado , esto podría influir en la convicción de los miembros del proyecto debido a que se utilizaría la herramienta y se podrían incluso ahorrar tiempos para generar control.

Si bien actualmente en los Proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) como lo es el caso de Pirrís, se utilizan herramientas que permiten dar seguimiento tanto a avance como a costos, éstas lo hacen de forma independiente, por lo que se llega a presentar muchas inconsistencias al realizar el control respectivo. Por esta razón se plantea la utilización del Análisis de Valor Ganado como una mejor herramienta de control y seguimiento en la aplicación del revestimiento del túnel de conducción del P.H de Pirrís, debido a que la utilización de este método permitirá unificar los procesos de control del proyecto y así lograr mejorar la eficiencia del proceso para tomar a tiempo las acciones correctivas necesarias.

El problema más que todo es de aspecto cultural, debido a que se considera que, como no se es especialista en la administración de proyectos, esta área no se puede implantar en los proyectos de construcción. Pero lo que tenemos que comprender es que en general cualquier especialización a la que nos dediquemos requiere una administración, control, seguimiento para que finalmente logremos el objetivo trazado.

## 1.2 IMPORTANCIA

La Gestión de Proyectos tiene como finalidad principal la planificación, el seguimiento y control de las actividades a ejecutar, de los recursos humanos y materiales que intervienen en el desarrollo de un proyecto, así como la importancia de hacer un cierre correcto del proyecto. Como consecuencia de este control es posible conocer en todo momento qué problemas se producen y resolverlos de manera inmediata.

El método del Valor Ganado en el control de la ejecución de proyectos, es una de las herramientas más útiles para que la Gerencia obtenga una visión objetiva del proyecto. Esta logra a través de la planificación y control del proyecto, y en conjunto con su experiencia, adquirir la visión necesaria para poder finalizarlo dentro de los parámetros de calidad, costo y tiempo establecidos.

Con la implantación de un adecuado control y seguimiento en la etapa de la aplicación del revestimiento en el túnel de conducción en el Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís, se pretende dar uno de los primeros pasos en el establecimiento del método de Valor Ganado en los proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el ICE, para así lograr que estos cumplan de la mejor manera tanto con el presupuesto establecido como con el tiempo de construcción esperado y también facilitar la toma de decisiones del director a cargo de la obra.

En estos casos, no es solamente conocer una metodología de control y seguimiento, es necesario entenderlo, es necesario vivirlo. Para ello, necesitamos darnos una oportunidad, que nos permita vivir un proyecto con el control y seguimiento adecuado, para entenderlo y con ello, compararlo con proyectos sin control ni seguimiento, para evaluar y comprender el impacto positivo que anteriormente no era posible medir.

### 1.3 ANTECEDENTES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

El método del Valor Ganado inicia a finales de 1800 y principios de 1900, con la necesidad de los administradores de las fábricas de hacer que los procesos de producción sean lo más eficientes, es aquí donde el método del Valor Ganado con su directriz de eficiencia se convierte en una forma de medir las cosas de manera precisa.

En los años 1960, en Estados Unidos el Departamento de Defensa empezó a exigir el uso del Valor Ganado en los proyectos relacionados con la defensa valorados en cientos de millones o billones de dólares, por esta situación no se podían dar la oportunidad de que se presentara algún atrasado en la realización de estos, porque esta situación podría generar una pérdida económica para el gobierno. Desafortunadamente, mucha gente cree que los estándares establecidos por el Departamento de Defensa son tan engorrosos y rígidos que muchos de las solicitudes de informe de Valor Ganado solo proporcionan un valor incremental (si es que existe) (Sarmiento, 2006).

En la actualidad son pocos los proyectos que han implantado el método del Valor Ganado como herramienta de control y seguimiento de proyectos en el sector

construcción, debido a las razones mencionadas anteriormente en el problema específico, pero se cuenta con la información suministrada por dos estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil que realizaron la investigación de este método en proyectos constructivos que servirán de base para la realización del presente trabajo de graduación.

El primero presentado en el año 2007, llamado “Aplicación del método de Valor Ganado en la administración de un proyecto de construcción”, elaborado por Jorge Alonso Vargas Arguedas. En este documento se desarrolla la aplicación del método de control Valor Ganado en una edificación ubicada en playa Grande, Guanacaste. En esta se llegó a la conclusión de que es posible la aplicación de la herramienta del Valor Ganado a proyectos constructivos siempre y cuando se cuente con una buena planificación y presupuestación previa, debido a que una deficiencia en estos factores implicaría sin lugar a duda llegar a resultados equivocados. Además que esta herramienta de control es necesaria en todo proyecto debido a que permite a los desarrolladores de proyectos constructivos actuar de manera oportuna para que la obra no se salga de control.

El segundo Proyecto de Graduación elaborado por Denis Gätjens Mora en el presente año, llamado “Desarrollo de herramientas para el control de avance y costos del Proyecto Hidroeléctrico Toro 3”. En este se realiza la implantación de la herramienta del Valor Ganado en el túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico Toro 3, entre las conclusiones principales se tiene que la implantación del método es un poco difícil debido al desconocimiento de la herramienta por parte de los involucrados, pero a la vez se destaca que la utilización de ésta permitió un seguimiento rápido y sencillo del estado de la obra, favoreciendo la identificación de situaciones especiales que ameriten estudios más específicos. Además el autor recomienda que la obtención de los datos para realizar el análisis sea en un período menor a un año, debido a que algunos de los problemas que se le presentaron se debieron al extenso período de captura de datos.

## 1.4 METODOLOGÍA

Para realizar el presente trabajo se utilizará una metodología teórica-especulativa, la cual constará de cinco etapas que se explican a continuación.

### PRIMERA ETAPA: INTRODUCCIÓN

Se realizará una investigación bibliográfica acerca de la información concerniente al método del Valor Ganado, sus definiciones e interpretaciones, también se realizará ejercicios de autoevaluación para conocer de una manera numérica la utilización de este.

### SEGUNDA ETAPA: REVISIÓN Y VALIDACIÓN DEL PLAN DEL PROYECTO

Esta etapa cuenta con cinco pasos previos para poder comenzar a realizar el análisis del Valor Ganado, los cuales son:

- ✓ Definición del WBS para dividir el proyecto en porciones manejables.
- ✓ Identificar las actividades a programar, su secuencia y duración.
- ✓ Programar las actividades en el tiempo.
- ✓ Estimar los recursos asociados a cada actividad.
- ✓ Creación de la línea base y confirmar que el plan es aceptable.

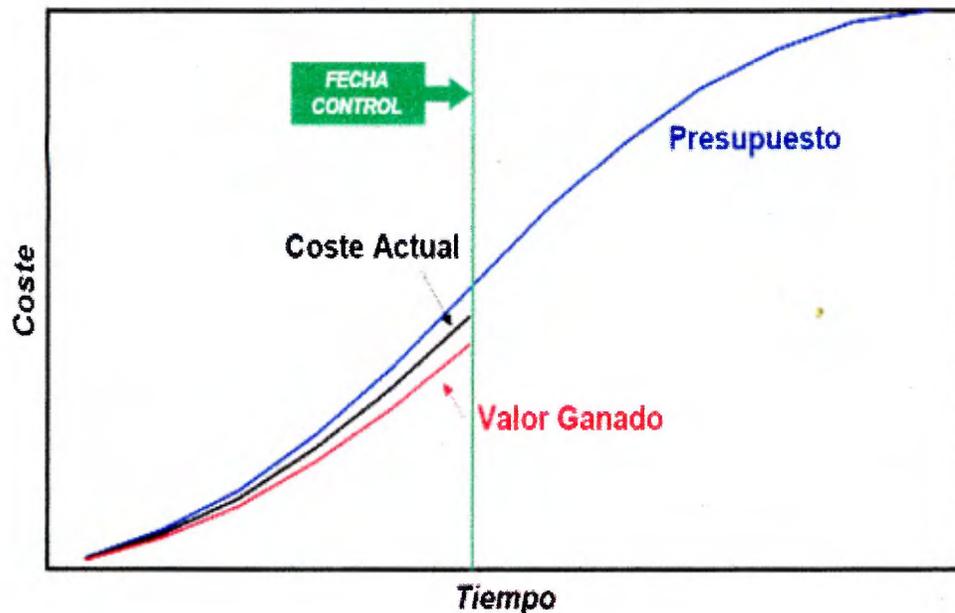
### TERCERA ETAPA: APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL VALOR GANADO.

Se desarrollarán en el programa Excel 2007 plantillas para el control de avance en forma gráfica. Éstas incluirán una base de datos para que los esquemas de las obras se actualicen automáticamente al digitar la información.

Seguidamente se procederá a realizar los cálculos del Valor Ganado, costo real, variación del programa, variación de costos y los índices de rendimiento tanto de costos como del programa.

Con esta información se desarrollarán los reportes de ejecución y del proyecto, además se procederá a graficar los resultados para saber si lo ejecutado está acorde con lo gastado, ejemplo de esto se puede observar en la **Fig. 1**. Luego se realizará la

estimación de las proyecciones tanto para variaciones típicas como atípicas, para poder observar como el proyecto va progresando y las tendencias que éste sigue.



**Figura 1.** Gráfica muestra la variación del costo actual, con el costo presupuestado y el valor ganado.

**Fuente:** <http://www.acis.org.co/memorias/JornadasGerencia/IIJNGP/Valor%20Ganado%20Conferencia%20ACIS%20Ver%203.pdf>. (Octubre 2008)

#### CUARTA ETAPA: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta etapa consta de cuatro pasos importantes para poder realizar un análisis de los resultados obtenidos en el paso anterior, los cuales son:

- ✓ Discusión de los resultados obtenidos.
- ✓ Determinación del estatus de tiempo.
- ✓ Determinación del estatus de costo.
- ✓ Análisis de la causa de desviación

Con este análisis se pretende saber que tan eficiente se debe utilizar el resto de los recursos para poder lograr los objetivos del proyecto.

## QUINTA ETAPA: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la ayuda de las lecciones aprendidas se procederá a definir e implantar las acciones correctivas necesarias para poder ajustar el plan del proyecto y concluir éste en el tiempo establecido y con el costo planeado. Seguidamente se realizará la revisión y ajuste del plan que se logra con la revisión de la línea base de costos, ajustando el cronograma del proyecto y distribuyendo el presupuesto disponible. En el **anexo 1** se muestra el WBS que se utilizará en esta investigación.

### 1.5 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de control y seguimiento en el proyecto Hidroeléctrico Pirrís, específicamente en la colocación del revestimiento de un tramo del túnel de conducción utilizando el método del Valor Ganado.

### 1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Investigar y profundizar el tema de Valor Ganado, incluso haciendo ejercicios de autoevaluación para determinar el grado de certeza en el manejo de la herramienta.
- ✓ Revisar y validar el control de las actividades programadas del proyecto en estudio utilizando información relevante (presupuestos, cronograma, entre otros), que se generó durante la planificación de la obra y que esta información pueda estar acorde con los datos necesarios para ingresarlos en la herramienta de Valor Ganado.
- ✓ Aplicar el método de control del valor ganado en el proyecto para evaluar el desempeño del proyecto tanto en tiempo como en costo.
- ✓ Determinar los factores que influyen en la variación de los costos y del tiempo en el proyecto a analizar.

- ✓ Realizar un análisis sobre el desempeño de las actividades de la obra para realizar los cambios necesarios contractuales y así asegurar el éxito del proyecto.
- ✓ Desarrollar plantilla de Valor Ganado ágil y sencilla de utilizar, para facilitar el ingreso de los datos.
- ✓ Elaborar un informe técnico para someterlo a consideración de la Comisión de Graduación de la Escuela de Ingeniería Civil, para su eventual publicación.

### 1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

Este trabajo se basa en el control y seguimiento del proyecto Hidroeléctrico Pirrís, específicamente en la colocación del revestimiento del túnel de conducción, utilizando la metodología del Valor Ganado. La aplicación de la metodología del Valor Ganado en la etapa de colocación de revestimiento en el túnel de conducción se va a realizar en el tramo que se extiende desde la estación 8+850 hasta la estación 8+000, la cual presenta las siguientes características de diseño:

- ✓ Extensión 850m.
- ✓ Diámetro de 3m.
- ✓ Revestimiento de concreto, se incluye el blindaje de acero el cual consiste en 7.495 m<sup>3</sup> de concreto con resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup> y 221.652 kg de acero distribuido en varilla #6 y #8.

Como limitación del trabajo tenemos el suministro de información tipificada, según los estándares del Project Management Institute, debido a que para poder lograr aplicar este método es necesario contar con información ordenada y completa de todas las fases del proyecto y todos los cambios que se han producido en cada una de estas. Además los datos a utilizar en el análisis de Valor Ganado son los obtenidos por los inspectores de planeamiento y control durante la ejecución de las actividades, es decir no se obtuvo información de campo adicional.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 DIRECCIÓN DE PROYECTOS

**Un proyecto** es un esfuerzo planificado, temporal y único, realizado para crear productos o servicios únicos que agreguen valor o provoquen un cambio beneficioso.

Dada la naturaleza única de un proyecto, en contraste con los procesos de una organización, administrar un proyecto requiere de una filosofía distinta, así como de habilidades y técnicas específicas. De allí la necesidad de la Dirección de proyectos.

**La dirección de proyectos** es la disciplina de organizar y administrar los recursos, de forma tal que un proyecto dado sea terminado completamente dentro de las restricciones de alcance, tiempo y coste planteados a su inicio. Implica ejecutar una serie de actividades, que consumen recursos como tiempo, dinero, gente, materiales, energía, comunicación, entre otros para lograr los objetivos propuestos.

Para que lo anterior se llegue a cumplir, se debe establecer una relación de confianza dentro del equipo de trabajo que se asigne para llevar a cabo la Dirección del Proyecto. Este equipo de trabajo, tendrá como función principal la de coordinar un equipo multidisciplinario, cuyo único objetivo será el de ejecutar el proyecto de tal forma, que satisfaga todas las expectativas de los patrocinadores. En la **Fig. 2** se ilustra las principales funciones de la *Dirección del Proyectos*.



**Figura 2.** Fundamentos de la Gerencia del Proyecto.

*Fuente: Ejecución propia.*

Según el PMI (2004) la dirección de proyectos se logra mediante la aplicación e integración de los procesos de dirección de proyectos de inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control y cierre.

## 2.2 GRUPOS DE PROCESOS DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

**Los grupos de procesos de dirección de proyectos** tienen las siguientes características según Oporto (2007):

- ✓ Tienen el propósito de iniciar, planificar, ejecutar, supervisar, controlar y cerrar un proyecto.
- ✓ Son comunes a la mayoría de proyectos.
- ✓ Interactúan en relación al alcance, costo y cronograma del proyecto.
- ✓ Se relacionan porque son integradores.

A continuación se detalla cada uno de los procesos de dirección de proyectos.

### 2.2.1 GRUPO DE PROCESOS DE INICIO

Durante el proceso de inicio se estudia la idea de realizar un proyecto. Si es beneficioso y factible, la idea se transforma en una propuesta de proyecto, y luego se toma la decisión de “realizarlo” o “no realizarlo”.

En la propuesta deben incluirse los beneficios esperados, los estimados de los recursos requeridos (personas, capital, equipo, etc.) y la duración del proyecto. Cuando se aprueba la propuesta, el proyecto pasa a la fase formativa.

Las entregables que se desarrollan en este proceso son los siguientes:

- ✓ Acta de constitución del proyecto
- ✓ Enunciado del alcance preliminar del proyecto
- ✓ Jefe del proyecto asignado
- ✓ Restricciones y supuestos.

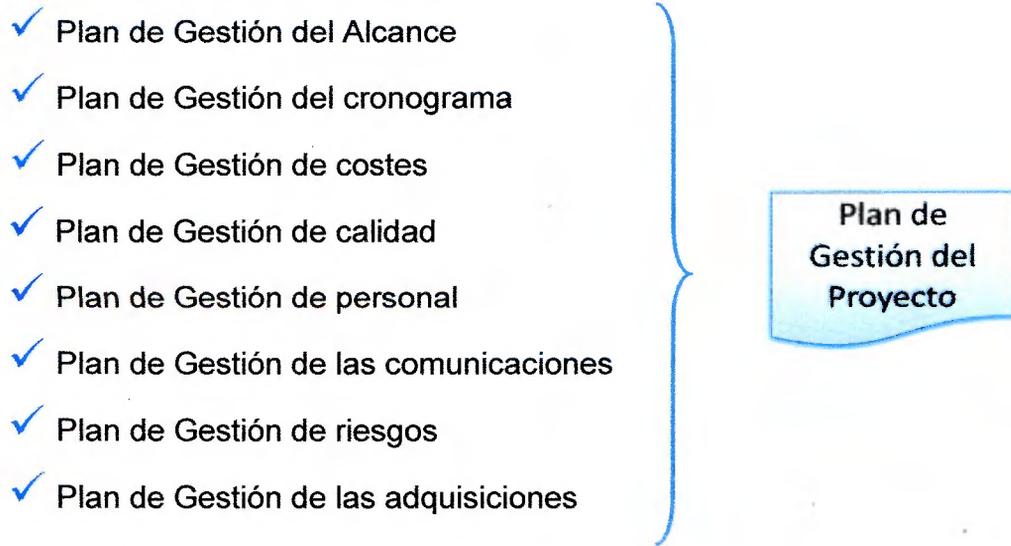
### 2.2.2 GRUPO DE PROCESOS DE PLANIFICACIÓN

Durante el proceso de planificación del proyecto se definen con claridad los objetivos, se selecciona el tipo de organización y se asigna al administrador del proyecto. Luego, se transforma la propuesta en un plan de proyecto maestro y se elaboran en detalle programas, requerimientos de recursos y presupuestos.

La planeación del proyecto se realiza con el fin de prever los problemas y asegurar que se cuente con los recursos apropiados en el momento adecuado. Esto significa que todos los interesados en el proyecto deben participar en la etapa de planeación, la cual puede exigir tiempo, ser difícil y costosa, en especial si no se explican con claridad los detalles de las tareas que deben ejecutarse.

El grupo de procesos de planificación se agrupa en las nueve Áreas del Conocimiento de la dirección de proyectos, las cuales son:

- ✓ Plan de Gestión del Alcance
- ✓ Plan de Gestión del cronograma
- ✓ Plan de Gestión de costes
- ✓ Plan de Gestión de calidad
- ✓ Plan de Gestión de personal
- ✓ Plan de Gestión de las comunicaciones
- ✓ Plan de Gestión de riesgos
- ✓ Plan de Gestión de las adquisiciones



Plan de  
Gestión del  
Proyecto

### 2.2.3 GRUPO DE PROCESOS DE EJECUCIÓN

En el proceso de ejecución ya debe estar conformado el equipo de proyecto. En este momento comienza el trabajo en el proyecto. Este grupo de procesos implica coordinar recursos y personas, así como la realización e integración de las actividades del proyecto, de acuerdo con el plan del proyecto. A continuación se mencionan los procesos generados en esta etapa:

- ✓ Productos entregables
- ✓ Cambios solicitados
- ✓ Solicitudes de cambio implementadas
- ✓ Acciones correctivas implementadas
- ✓ Acciones preventivas implementadas
- ✓ Reparación de defectos implementada
- ✓ Información sobre el rendimiento del trabajo

#### 2.2.4 GRUPO DE PROCESOS DE SEGUIMIENTO Y CONTROL

El proceso de seguimiento y control tiene como objetivo fundamental la vigilancia de todas las actividades de desarrollo del sistema. Es una de las labores más importantes en todo desarrollo de sistemas, ya que un adecuado control hace posible evitar desviaciones en costes y plazos, o al menos detectarlas cuanto antes.

Para poder ejercer un correcto seguimiento y control del proyecto es necesario que el *director del proyecto* dedique todo el tiempo que sea preciso a vigilar el estado de cada una de las tareas que se están desarrollando, prestando especial interés a aquellas que están sufriendo algún retraso. En el momento en que se detecta cualquier desviación hay que analizar las causas para poder efectuar las correcciones oportunas e intentar recuperar el tiempo perdido y si no es el caso escoger la decisión que perjudique menos el costo total y la duración del proyecto. Sin la certeza en el conocimiento de la situación real del proyecto en parámetros tan importantes como el tiempo, el coste o la utilización de los recursos, el director de un proyecto difícilmente podrá tomar decisiones acertadas para el éxito de objetivos futuros.

Los entregables que se desarrollan en este proceso son los siguientes:

- ✓ Solicitudes de cambio aprobadas – rechazadas.
- ✓ Acciones correctivas aprobadas – rechazadas.
- ✓ Reparación de defectos recomendada – aprobada – validada.
- ✓ Actualización al Plan de gestión del proyecto.
- ✓ Actualización de alcances.
- ✓ Acciones preventivas recomendadas.
- ✓ Acciones correctivas recomendadas.
- ✓ Informes de rendimiento.
- ✓ Proyecciones.
- ✓ Productos entregables aprobados.

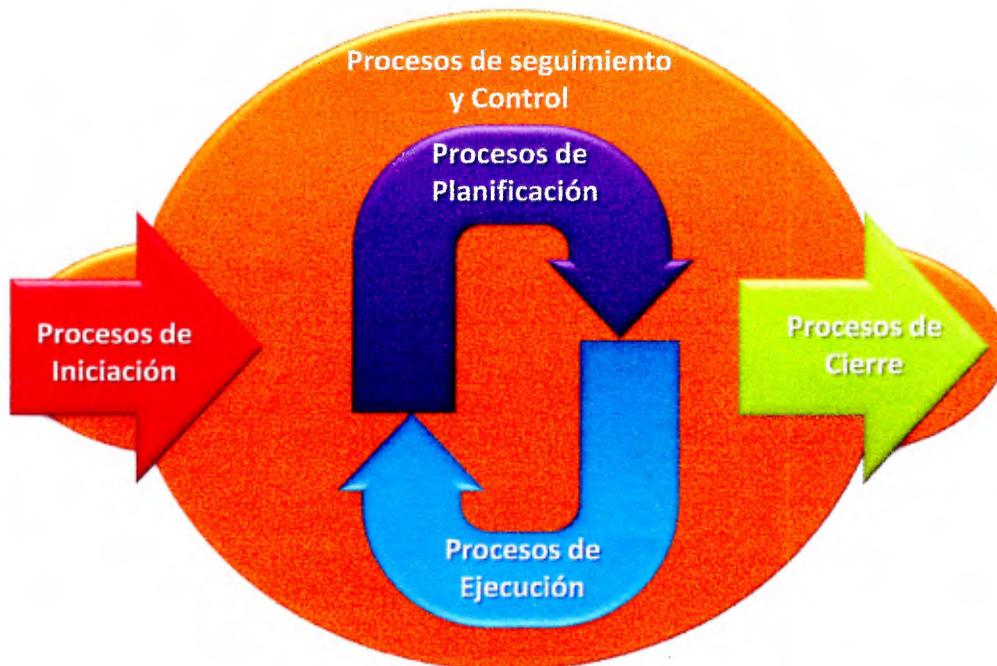
## 2.2.5 GRUPO DE PROCESOS DE CIERRE

En el proceso de cierre ya se debe haber completado el trabajo en el proyecto (o suspendido prematuramente). Durante esta fase se analizan los éxitos y fracasos del proyecto (incluida su estructura organizativa), se prepara un informe detallado para los equipos de proyectos futuros y se les asignan nuevas tareas a los miembros del equipo.

A continuación se mencionan los procesos generados en este último proceso:

- ✓ Producto, servicio o resultado final.
- ✓ Actualización de: Activo de los procesos de la organización.

La siguiente figura muestra como se relacionan e interactúan los grupos de procesos de dirección del proyecto y la secuencia que estos siguen.



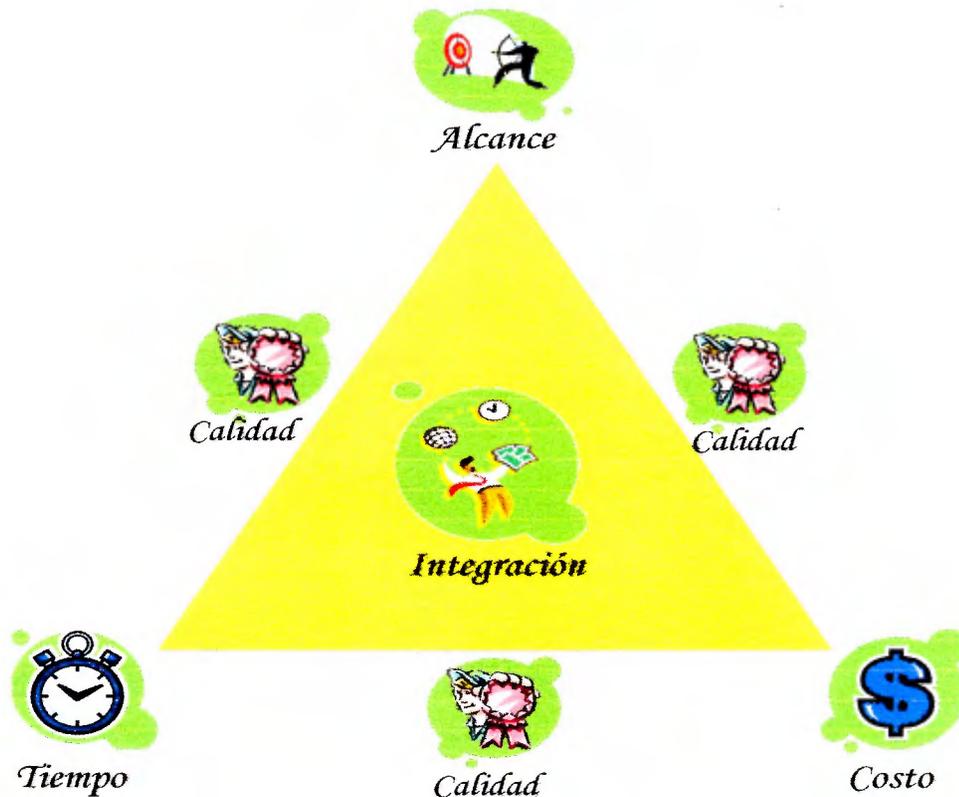
**Figura 3.** Grupo de procesos de dirección de proyectos.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

A continuación se definirán las áreas del conocimiento de integración, alcance, costo, tiempo y calidad, esta información fue obtenida de la guía del PMBOK (2004). Para

cuestión propiamente de la tesis solo se desarrollaran estas áreas debido a que son las que tienen una mayor importancia en el Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.

En la siguiente figura se muestra gráficamente la relación existente entre estas cinco áreas de conocimiento.



*Figura 4. Interacción entre las cinco áreas del conocimiento.*

*Fuente: Chamoun, Yamal (2002).*

### 2.3 GESTIÓN DE LA INTEGRACIÓN DEL PROYECTO

La gestión de la integración del proyecto son los procesos requeridos para garantizar que los distintos elementos del proyecto sean adecuadamente coordinados, incluye características de unificación, consolidación, articulación y acciones integradoras cruciales para la conclusión del proyecto. En la **Fig. 5** se muestran los procesos de integración.



**Figura 5.** Principales procesos de Gestión de la Integración.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

### 2.3.1 DESARROLLAR EL ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO

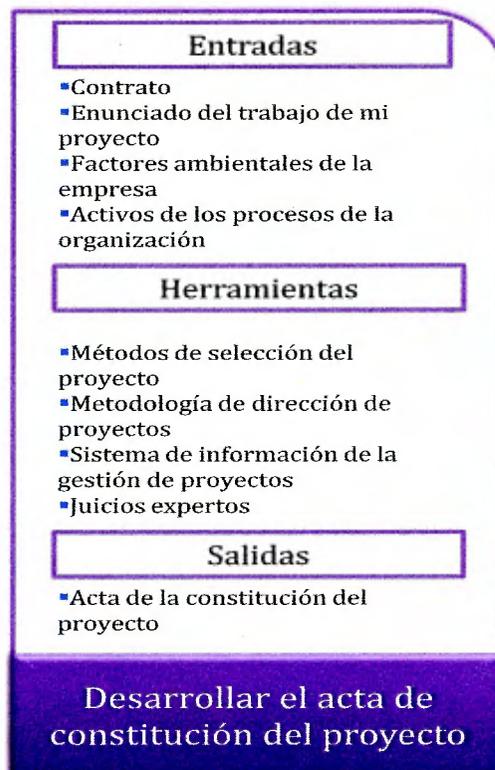
**El acta de constitución del proyecto** es el documento que autoriza formalmente el proyecto, confiere al director de proyecto la autoridad para aplicar recursos de la organización a las actividades del proyecto.

Desarrollar el acta de constitución del proyecto se relaciona principalmente con la documentación de las necesidades de negocio, la justificación del proyecto, la comprensión efectiva de los requisitos del cliente, y del nuevo producto, servicio o resultado destinado a satisfacer dichos requisitos. El acta de constitución del proyecto, ya sea de forma directa o mediante referencia a otros documentos:

- ✓ Requisitos que satisfacen las necesidades, deseos y expectativas del cliente, el patrocinador y demás interesados
- ✓ Necesidades de negocio, descripción a alto nivel del proyecto o requisitos del producto que el proyecto debe abordar
- ✓ Finalidad o justificación del proyecto

- ✓ Director del Proyecto nombrado y nivel de autoridad
- ✓ Resumen del cronograma de hitos
- ✓ Influencias de los interesados
- ✓ Organizaciones funcionales y su participación
- ✓ Asunciones de la organización, ambientales y externas
- ✓ Restricciones de la organización, ambientales y externas
- ✓ Oportunidades de negocio que justifiquen el proyecto, incluido el retorno sobre la inversión
- ✓ Presupuesto resumido.

En la siguiente figura se muestra las entradas, herramientas y técnicas que se utilizan en este proceso.



**Figura 6.** Entradas, herramientas y salidas de desarrollar el acta de constitución del proyecto.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

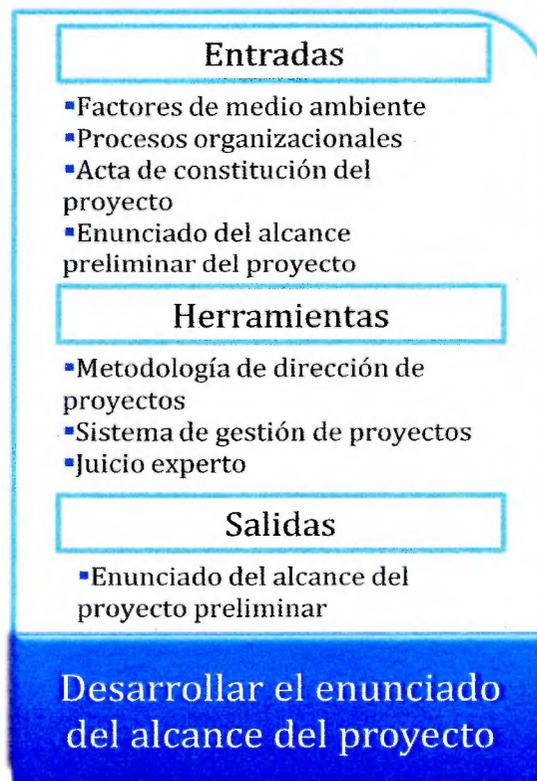
En el **anexo 2** se muestra el acta de constitución o charter de este proyecto de graduación.

### 2.3.2 DESARROLLAR EL ENUNCIADO DE ALCANCE PRELIMINAR DEL PROYECTO

**El enunciado del alcance preliminar** es la definición del proyecto, los objetivos que deben cumplirse. Asegura que tanto el Cliente como el Patrocinador y el equipo del proyecto confirmen como serán los entregables finales del proyecto. Este incluye:

- ✓ Objetivos del proyecto y del producto.
- ✓ Requisitos y características del producto y servicio.
- ✓ Criterios de aceptación del producto.
- ✓ Límites del proyecto.
- ✓ Requisitos y productos entregables del proyecto.
- ✓ Restricciones del proyecto.
- ✓ Estimación de costes de orden de magnitud.
- ✓ Requisitos de gestión de la configuración del proyecto.
- ✓ Requisitos de aprobación.

El patrocinador es el encargado de suministrar la información para desarrollar el enunciado del alcance preliminar y el equipo de dirección del proyecto será el encargado de mejorar el enunciado del alcance del proyecto preliminar en la etapa de definición del alcance para obtener el enunciado del alcance del proyecto. A continuación se muestra las entradas, herramientas y técnicas que se utilizan en este proceso.



*Figura 7. Entradas, herramientas y salidas de desarrollar el enunciado del alcance del proyecto.*

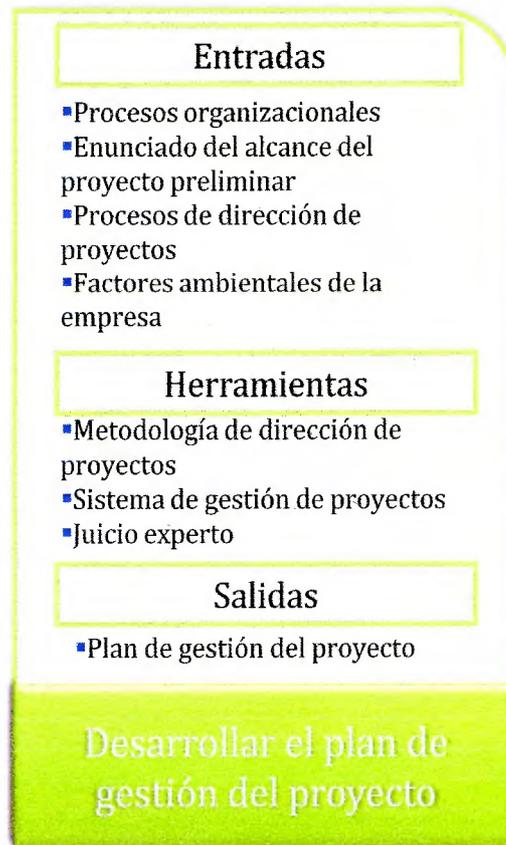
*Fuente: PMBOOK 2008.*

### 2.3.3 DESARROLLAR EL PLAN DE GESTIÓN DEL PROYECTO

El proceso de desarrollar el Plan de Gestión del proyecto incluye las acciones necesarias para definir, integrar y coordinar todos los planes subsidiarios en un plan de gestión del proyecto. El contenido del plan de gestión del proyecto variará de acuerdo con el área de aplicación y complejidad del proyecto. Además de incluir los entregables del grupo de procesos de planificación incluye:

- ✓ Los procesos de dirección de proyectos seleccionados por el equipo de dirección del proyecto.
- ✓ El nivel de implementación de cada proceso seleccionado.
- ✓ Las descripciones de las herramientas y técnicas que se utilizarán para llevar a cabo esos procesos.

- ✓ Cómo se utilizarán los procesos seleccionados para dirigir el proyecto específico, incluidas las dependencias y las interacciones entre esos procesos, y las entradas y salidas esenciales.
- ✓ Cómo se ejecutará el trabajo para alcanzar los objetivos del proyecto.
- ✓ Cómo se supervisarán y controlarán los cambios
- ✓ Cómo se realizará la gestión de la configuración
- ✓ Cómo se actualizará y usará la integridad de las líneas base para la medición del rendimiento.
- ✓ La necesidad y las técnicas para la comunicación entre los interesados
- ✓ El ciclo de vida del proyecto seleccionado y, para los proyectos de múltiples fases, las fases del proyecto relacionadas.
- ✓ Las revisiones clave de dirección acerca del contenido, la extensión y la oportunidad para facilitar la gestión de polémicas sin resolver y decisiones pendientes.
- ✓ En la siguiente figura se muestra las entradas, herramientas y técnicas que se utilizan en este proceso.



**Figura 8.** Entradas, herramientas y salidas de desarrollar el plan de gestión del proyecto.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

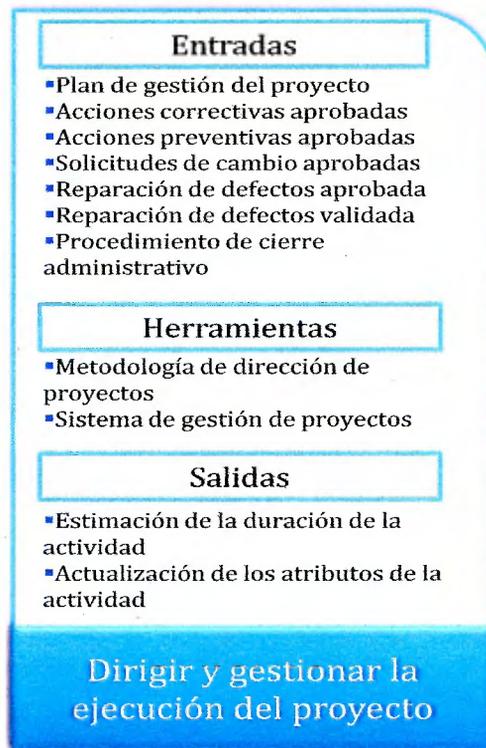
#### 2.3.4 DIRIGIR Y GESTIONAR LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

En este proceso se requiere que tanto el equipo del proyecto como el director del proyecto realicen varias acciones para ejecutar el plan de gestión del proyecto para lograr cumplir con el trabajo definido en el enunciado del alcance del proyecto. Algunas de estas acciones son:

- ✓ Realizar actividades para cumplir con los objetivos del proyecto.
- ✓ Realizar esfuerzos e invertir fondos para cumplir con los objetivos del proyecto.
- ✓ Dotar de personal, formar y dirigir a los miembros del equipo del proyecto asignados al proyecto.

- ✓ Obtener presupuestos, licitaciones, ofertas o propuestas, según corresponda.
- ✓ Seleccionar vendedores eligiéndolos entre los posibles vendedores.
- ✓ Obtener, gestionar y utilizar recursos, incluidos los materiales, herramientas, equipos e instalaciones.
- ✓ Implementar los métodos y normas planificados.
- ✓ Crear, controlar, verificar y validar los productos entregables del proyecto.
- ✓ Gestionar los riesgos e implementar actividades de respuesta al riesgo.
- ✓ Dirigir a los vendedores.
- ✓ Adaptar los cambios aprobados al alcance, planes y entorno del proyecto.
- ✓ Establecer y gestionar los canales de comunicación del proyecto, tanto externos como internos al equipo del proyecto.
- ✓ Recoger datos sobre el proyecto e informar sobre el coste, el cronograma, el avance técnico y de calidad, y la información de la situación para facilitar las proyecciones.
- ✓ Recoger y documentar las lecciones aprendidas, e implementar las actividades de mejora de los procesos aprobados.

En la **Fig. 9** se muestra las entradas, herramientas y técnicas que se utilizan en este proceso.



**Figura 9.** Entradas, herramientas y salidas de dirigir y gestionar la ejecución del proyecto.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

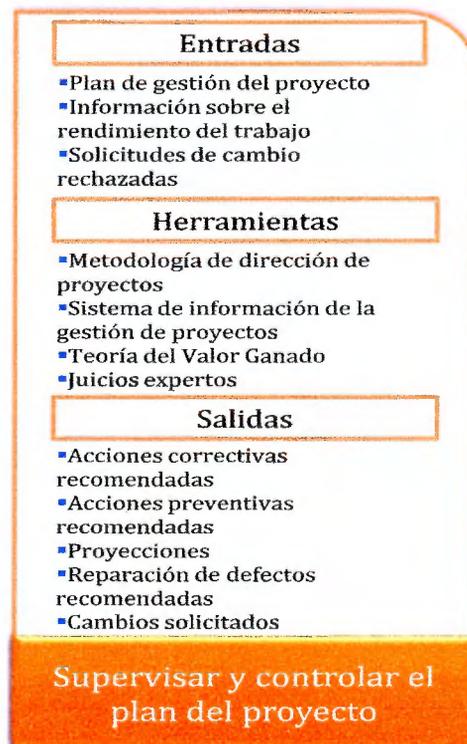
### 2.3.5 SUPERVISAR Y CONTROLAR EL PLAN DEL PROYECTO

En este procesos se supervisa los procesos relacionados con el inicio, planificación, ejecución y cierre, dependiendo del caso se adoptan acciones preventivas o correctivas para controlar el rendimiento del proyecto, este proceso está relacionado con:

- ✓ Comparar el rendimiento real del proyecto con el plan de gestión del proyecto.
- ✓ Evaluar el rendimiento para determinar si está indicado algún tipo de acción correctiva o preventiva, y luego recomendar dichas acciones cuando sea necesario.
- ✓ Analizar, efectuar el seguimiento y supervisar los riesgos del proyecto para asegurarse de que los riesgos se identifican, se informa sobre su estado y se están ejecutando los planes de respuesta al riesgo adecuados.

- ✓ Mantener una base de información precisa y actualizada en lo que respecta al producto o productos del proyecto y a su documentación relacionada, hasta la conclusión del proyecto.
- ✓ Proporcionar información para respaldar el informe del estado de situación, la medición del avance y las proyecciones.
- ✓ Suministrar proyecciones para actualizar la información del coste actual y del cronograma actual y supervisar la implementación de los cambios aprobados cuando y a medida que éstos se produzcan.

A continuación se muestra las entradas, herramientas y técnicas que se utilizan en este proceso.



**Figura 10.** Entradas, herramientas y salidas de supervisar y controlar el plan del proyecto.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

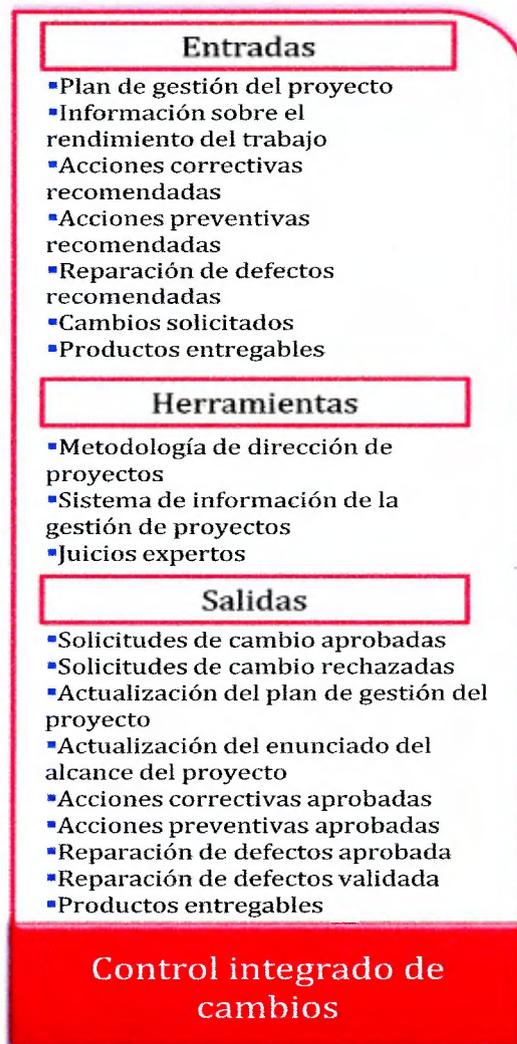
### 2.3.6 CONTROL INTEGRAL DE CAMBIOS

El control integral de cambios se realiza debido a que es muy difícil que los proyectos se desarrollen de acuerdo al plan de gestión del proyecto, este se realiza desde el inicio hasta el cierre del proyecto. En este proceso es importante incorporar todos los cambios que se presente en el proyecto e incorporarlos a una nueva línea base revisada.

Es importante destacar que el nivel aplicado de control de cambios depende del área de aplicación, de la complejidad del proyecto específico, de los requisitos y del contexto y el entorno en los que se realiza el proyecto.

- ✓ Identificar que debe producirse un cambio o que ya se ha producido.
- ✓ Influir sobre los factores que podrían sortear el control integrado de cambios, de forma que solamente se implementen los cambios aprobados.
- ✓ Revisar y aprobar los cambios solicitados.
- ✓ Gestionar los cambios aprobados cuando y a medida que se produzcan, mediante la regulación del flujo de cambios solicitados.
- ✓ Mantener la integridad de las líneas base habilitando sólo los cambios aprobados para su incorporación dentro de los productos o servicios del proyecto, y manteniendo actualizada la documentación de configuración y planificación relacionada.
- ✓ Revisar y aprobar todas las acciones correctivas y preventivas recomendadas.

En la **Fig. 11** se muestra las entradas, herramientas y técnicas que se utilizan en este proceso.



**Figura 11.** Entradas, herramientas y salidas de control integrado de cambios.

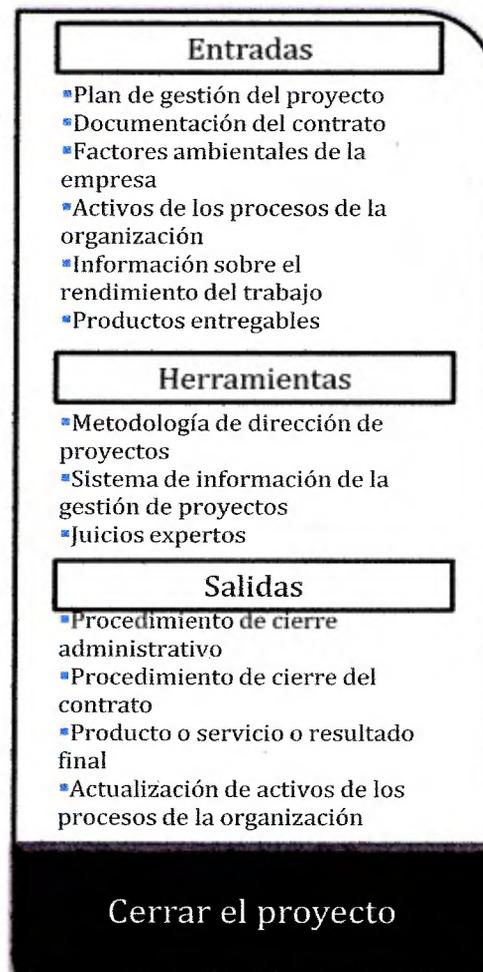
**Fuente:** PMBOOK 2008.

### 2.3.7 CIERRE DEL PROYECTO

La finalidad de este proceso es realizar el cierre formal del proyecto o una fase de este, el cual se logra finalizando todas las actividades completadas a lo largo de todos los grupos de procesos de Dirección de proyectos. Además en este proceso se verifica y se documenta los productos entregables del proyecto mediante el establecimiento de los procedimientos para coordinar las actividades requeridas, se coordina para poder formalizar la aceptación de estos productos entregables por parte del cliente o del

patrocinador, y se investiga y se documenta las razones por las cuales se realizaron ciertas acciones si un proyecto se da por finalizado antes de completarlo.

A continuación se muestra las entradas, herramientas y técnicas que se utilizan en este proceso.



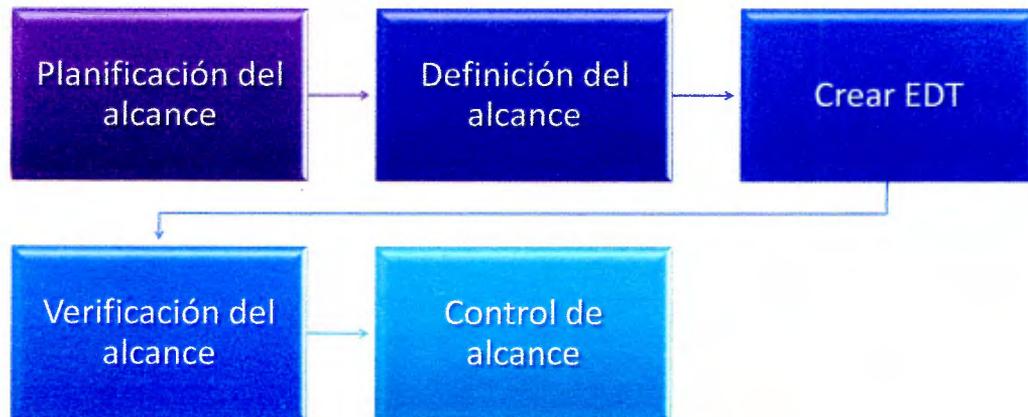
*Figura 12. Entradas, herramientas y salidas de cerrar el proyecto.*

*Fuente: PMBOOK 2008.*

## 2.4 GESTIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO

Procesos que aseguran que la planificación incluye todo el trabajo requerido (y solo el trabajo requerido) para lograr completarlo exitosamente. Los principales procesos de la

gestión del alcance son: iniciación, planeación, definición, verificación y control de cambios, como se muestran en la **Fig. 13**.



**Figura 13.** Principales procesos de gestión del alcance.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

#### 2.4.1 PLANIFICACIÓN DEL ALCANCE

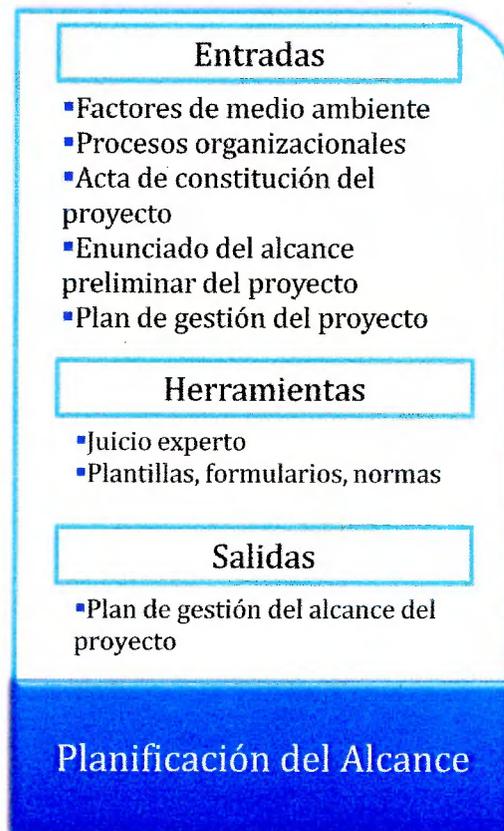
Cada proyecto exige un delicado equilibrio entre las herramientas, los procesos, las fuentes de datos, las metodologías, los procedimientos y otros factores, con el fin de asegurar que el esfuerzo dedicado a actividades para determinar el alcance sea acorde con la complejidad, el tamaño y la importancia del proyecto. El equipo de dirección del proyecto documenta estas decisiones de gestión del alcance en el plan de gestión del alcance del proyecto.

**El plan de gestión del alcance del proyecto** es una herramienta de planificación que describe cómo el equipo definirá el alcance del proyecto, desarrollará el enunciado del alcance del proyecto detallado, definirá y desarrollará la estructura de desglose del trabajo, verificará y controlará el alcance del proyecto. Los componentes de un plan de gestión del alcance del proyecto incluyen:

- ✓ Preparación enunciado del alcance del proyecto detallado basado en el enunciado del alcance del proyecto preliminar
- ✓ Creación de la EDT a partir del enunciado del alcance del proyecto detallado.

- ✓ Verificación y aceptación formal de los productos entregables completados del proyecto.
- ✓ Control de cómo se procesarán las solicitudes de cambio al enunciado del alcance del proyecto detallado.

La siguiente figura muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de planificación del alcance.



**Figura 14.** Entradas, herramientas y salidas de la planificación del alcance.

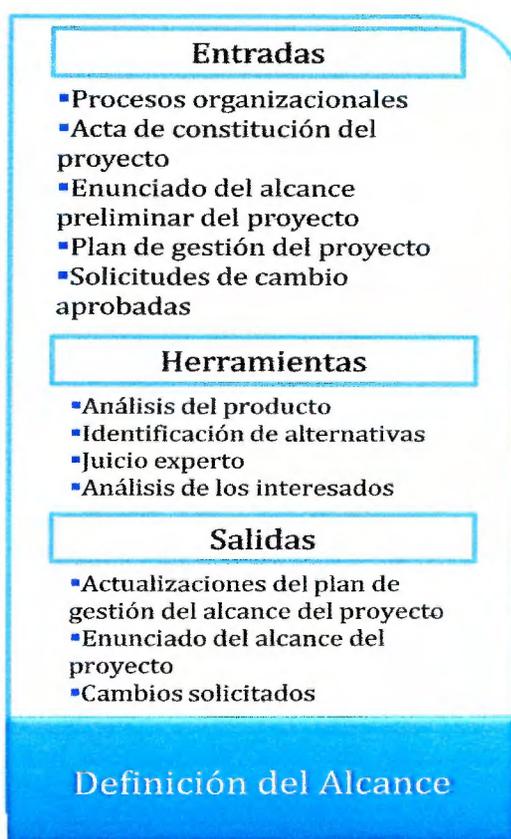
**Fuente:** PMBOOK 2008.

## 2.4.2 DEFINICIÓN DEL ALCANCE

Durante la planificación, el alcance del proyecto se define y describe con mayor especificidad porque se conoce más información acerca del proyecto. Las necesidades, deseos y expectativas de los interesados se analizan y convierten en requisitos. Los

supuestos y restricciones se analizan para verificar si están completas y si no lo están se agregan adicionales. La preparación de un enunciado del alcance del proyecto detallado es crítica para el éxito del proyecto y se construye sobre la base de los principales productos entregables, supuestos y restricciones que se documentan durante la iniciación del proyecto en el enunciado del alcance del proyecto preliminar.

En la **Fig. 15** muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de definición del alcance:



**Figura 15.** Entradas, herramientas y salidas de la definición del alcance.  
**Fuente:** PMBOOK 2008.

Uno de los entregables generados en este proceso es **el enunciado del alcance del proyecto**, el cual permite al equipo de trabajo realizar una planificación más detallada, sirve de guía durante la ejecución y proporciona la línea base para poder evaluar si las solicitudes de cambio están comprendidas dentro o fuera de la limitación del proyecto,

este describe los productos entregables del proyecto y el trabajo necesario para crear tales productos. El enunciado del alcance del proyecto detallado incluye:

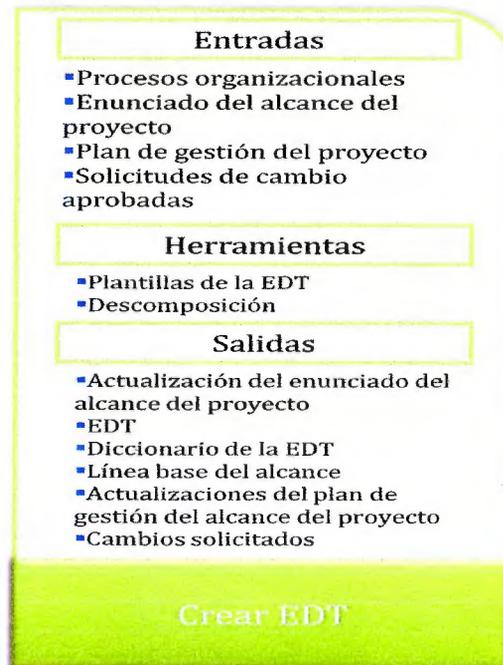
- ✓ Objetivos del proyecto.
- ✓ Descripción del alcance del producto.
- ✓ Requisitos del proyecto.
- ✓ Límites del proyecto
- ✓ Productos entregables del proyecto.
- ✓ Criterios de aceptación del producto
- ✓ Restricciones del proyecto.
- ✓ Supuestos del proyecto.
- ✓ Organización inicial del proyecto
- ✓ Riesgos iniciales definidos.
- ✓ Hitos del cronograma.
- ✓ Limitación de fondos.
- ✓ Estimación del coste.
- ✓ Requisitos de gestión de la configuración del proyecto.
- ✓ Especificaciones del proyecto.
- ✓ Requisitos de aprobación.

En el **anexo 3** se muestra la declaración de alcance de este proyecto de graduación.

### 2.4.3 CREAR LA ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DE TRABAJO (EDT)

Una **EDT** es una presentación simple y organizada del trabajo requerido para completar el proyecto, subdivide el trabajo del proyecto en porciones de trabajo más manejables, donde cada nivel descendente de la EDT representa una definición cada vez más detallada del trabajo del proyecto.

En la **Fig. 16** muestra las entradas, herramientas y salidas de este proceso:



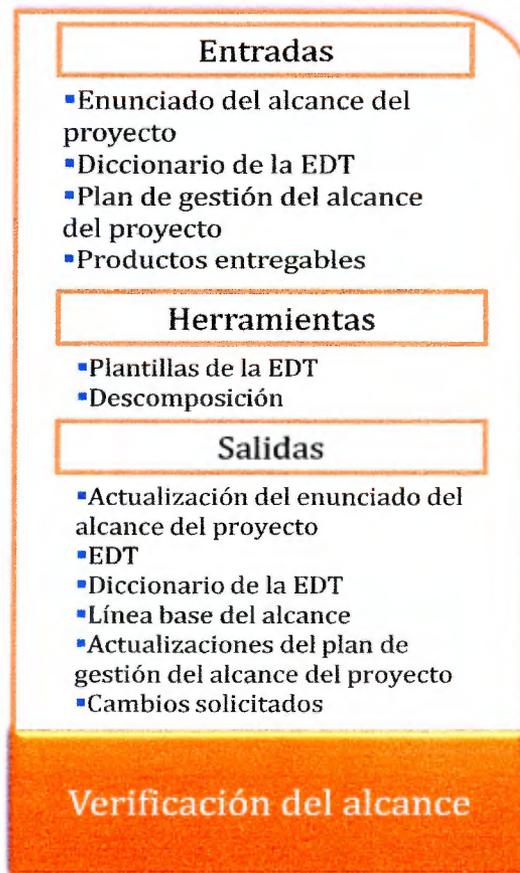
**Figura 16.** Entradas, herramientas y salidas de la creación de la EDT.

*Fuente:* PMBOOK 2008.

Uno de los entregables de este proceso es **el diccionario de la EDT**, el cual es un documento que acompaña a la EDT. El contenido detallado de los componentes que se incluyen en una EDT, incluidos los paquetes de trabajo y las cuentas de control, pueden describirse en el diccionario de la EDT.

#### 2.4.4 VERIFICACIÓN DEL ALCANCE

La verificación del alcance es el proceso de obtener la aceptación formal por parte de los interesados del alcance del proyecto completado y los productos entregables relacionados. Verificar el alcance del proyecto incluye revisar los productos entregables para asegurarse de que cada uno se complete satisfactoriamente. En la **Fig. 17** muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de verificación del alcance:



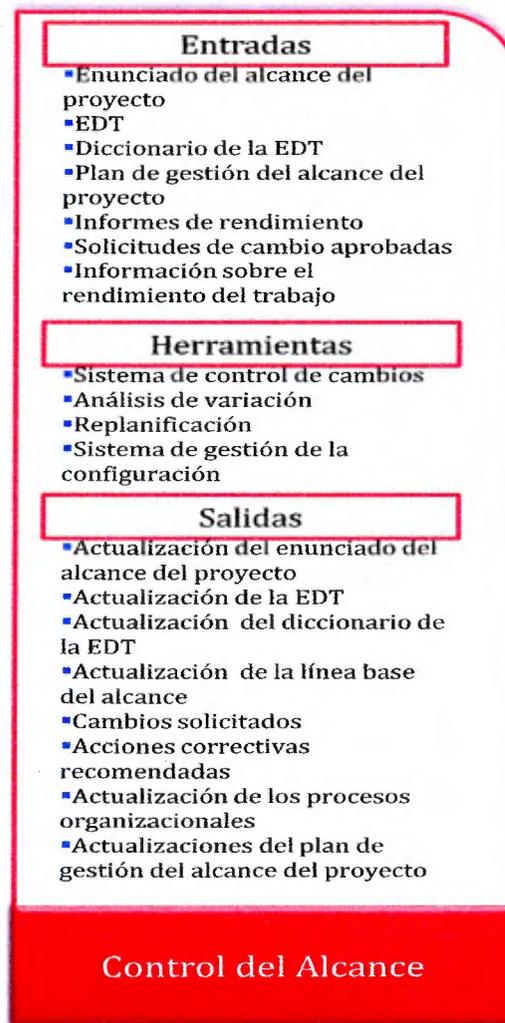
**Figura 17.** Entradas, herramientas y salidas de la verificación del alcance.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

#### 2.4.5 CONTROL DEL ALCANCE

El control del alcance asegura que todos los cambios solicitados y las acciones correctivas recomendadas se procesen a través del proceso Control Integrado de Cambios del proyecto.

En la **Fig. 18** muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de control del alcance:

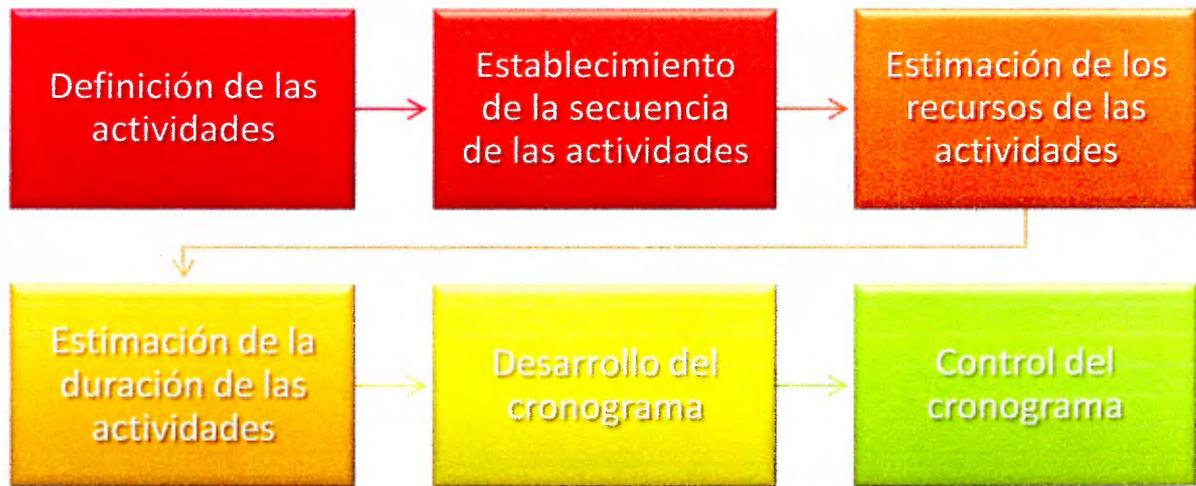


**Figura 18.** Entradas, herramientas y salidas del control del alcance.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

## 2.5 GESTIÓN DEL TIEMPO DE UN PROYECTO

La Gestión del Tiempo del Proyecto incluye los procesos necesarios para lograr la conclusión del proyecto a tiempo. Los procesos de Gestión del Tiempo del Proyecto incluyen lo siguiente:



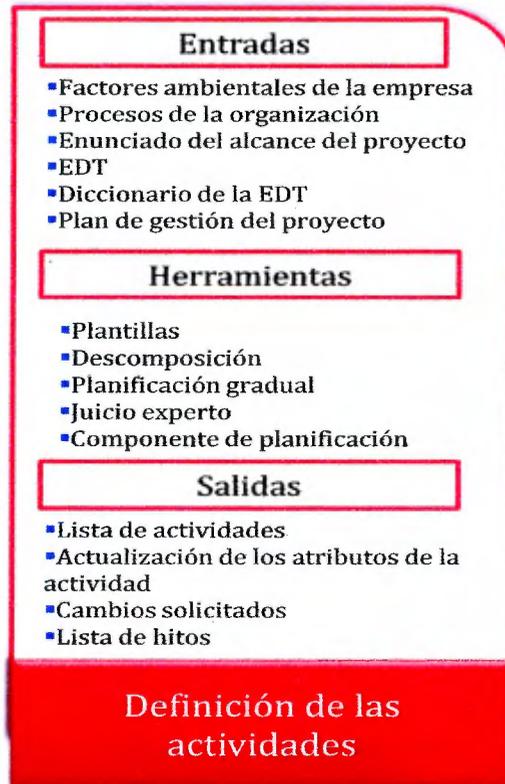
**Figura 19.** Principales procesos de gestión del tiempo.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

### 2.5.1 DEFINICIÓN DE LAS ACTIVIDADES

El proceso Definición de las Actividades identificará los productos entregables al nivel más bajo de la estructura de desglose del trabajo (EDT) que se denomina paquete de trabajo. Los paquetes de trabajo del proyecto están descompuestos en componentes más pequeños denominados actividades del cronograma, para proporcionar una base con el fin de estimar, establecer el cronograma, ejecutar, y supervisar y controlar el trabajo del proyecto.

La siguiente figura muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de definición del alcance.



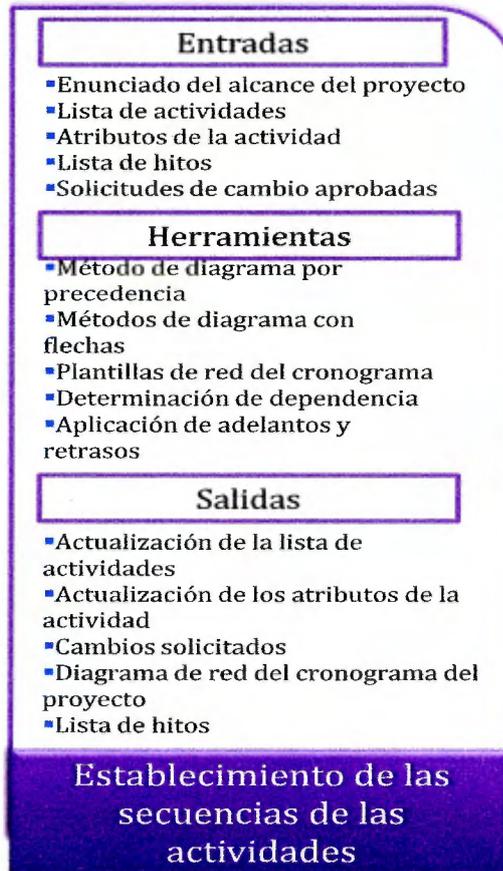
**Figura 20.** Entradas, herramientas y salidas de la definición de las actividades.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

## 2.5.2 ESTABLECIMIENTO DE LA SECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES

El establecimiento de la secuencia de las actividades implica identificar y documentar las relaciones lógicas entre las actividades del cronograma. Las actividades del cronograma pueden estar ordenadas de forma lógica con relaciones de precedencia adecuadas, así como también adelantos y retrasos, para respaldar el desarrollo posterior de un cronograma del proyecto realista y factible.

En la **Fig. 21** muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de establecimiento de la secuencia de las actividades:



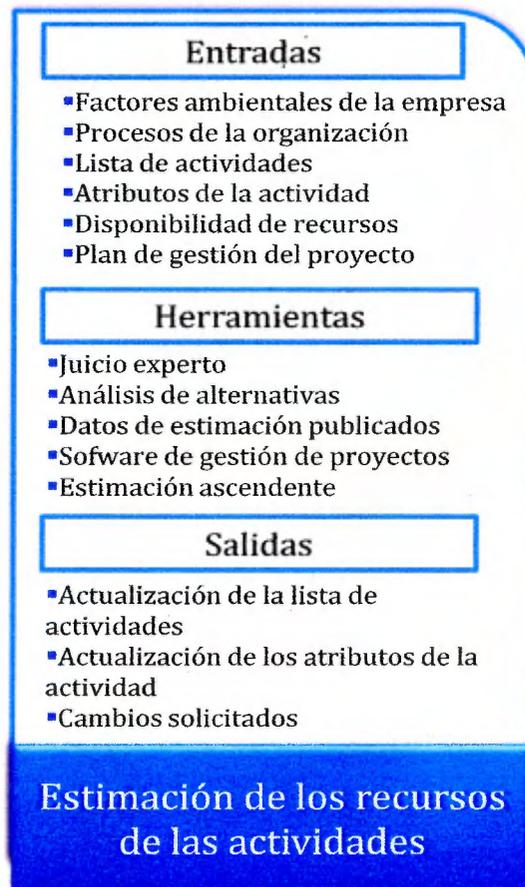
**Figura 21.** Entradas, herramientas y salidas del establecimiento de las secuencias de las actividades.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

### 2.5.3 ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE LAS ACTIVIDADES

Estima el tipo, las cantidades y cuando estarán disponibles los recursos necesarios para realizar cada actividad del cronograma.

A continuación se muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de estimación de los recursos de las actividades.



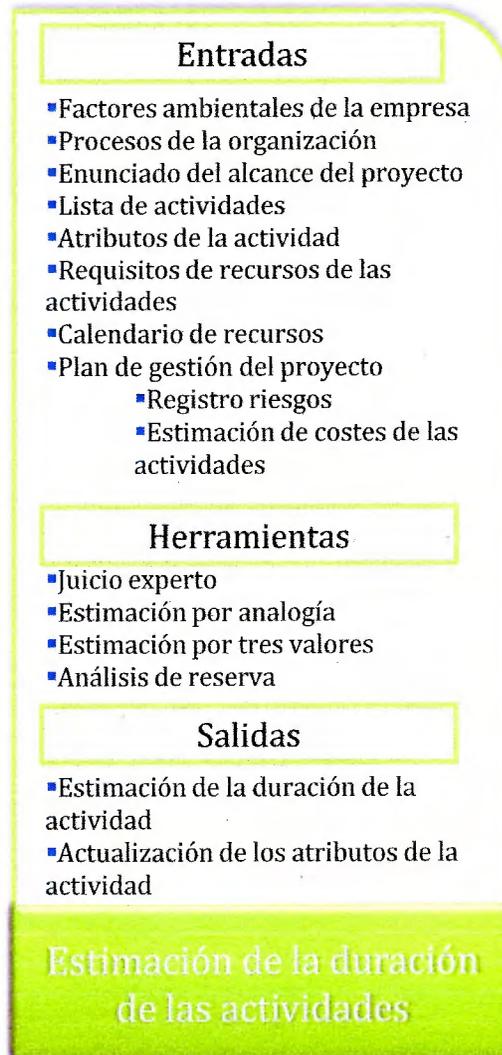
**Figura 22.** Entradas, herramientas y salidas de la estimación de los recursos de las actividades.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

#### 2.5.4 ESTIMACIÓN DE LA DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Este proceso requiere que se estime la cantidad de esfuerzo de trabajo, la cantidad de recursos a ser aplicados y la cantidad de períodos laborables necesarios para completar la actividad del cronograma.

En la **Fig. 23** muestra las entradas, herramientas y salidas del estimación de la duración de las actividades:



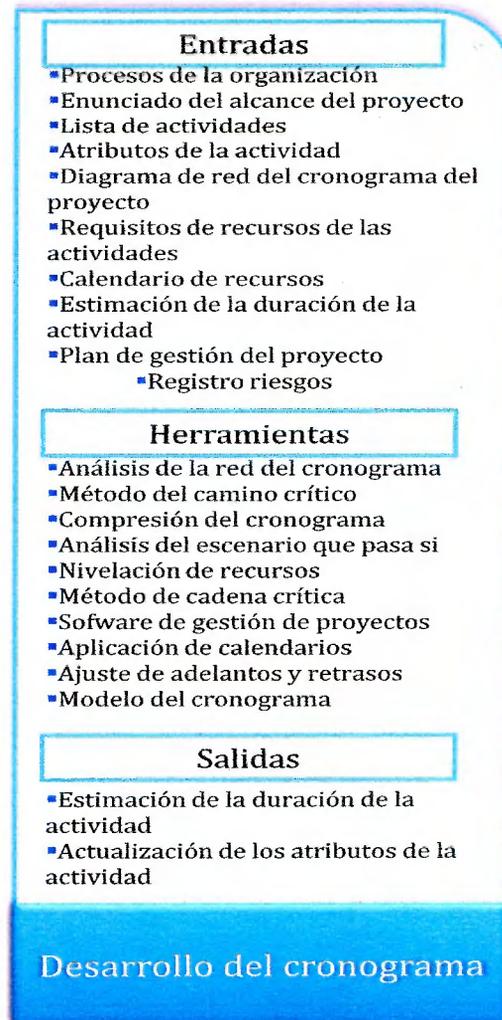
**Figura 23.** Entradas, herramientas y salidas de la estimación de la duración de las actividades.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

### 2.5.5 DESARROLLO DEL CRONOGRAMA

El desarrollo del cronograma exige que se revisen y se corrijan las estimaciones de duración y de los recursos para crear un cronograma del proyecto aprobado que pueda servir como línea base con respecto a la cual poder medir el avance. Este continúa a lo largo del proyecto, a medida que el trabajo avanza, el plan de gestión del proyecto cambia y los riesgos anticipados ocurren o desaparecen al tiempo que se identifican nuevos riesgos.

A continuación se muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de estimación de la duración de las actividades.



**Figura 24.** Entradas, herramientas y salidas del desarrollo del cronograma.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

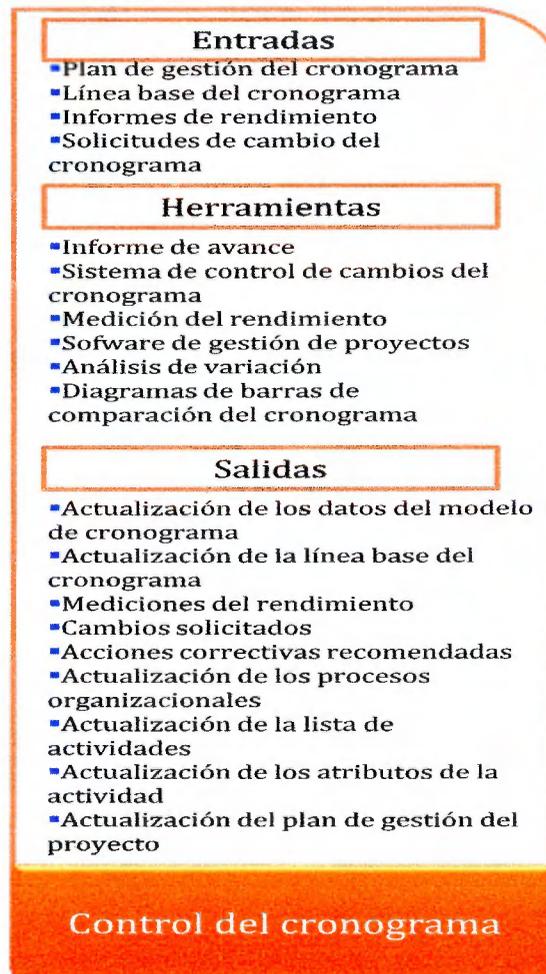
## 2.5.6 CONTROL DEL CRONOGRAMA

Controla los cambios del cronograma del proyecto, este implica:

- ✓ Determinar el estado actual del cronograma del proyecto
- ✓ Influir sobre los factores que crean cambios en el cronograma

- ✓ Determinar que el cronograma del proyecto ha cambiado
- ✓ Gestionar los cambios reales a medida que suceden.

En la Fig. 25 muestra las entradas, herramientas y salidas del control del cronograma:



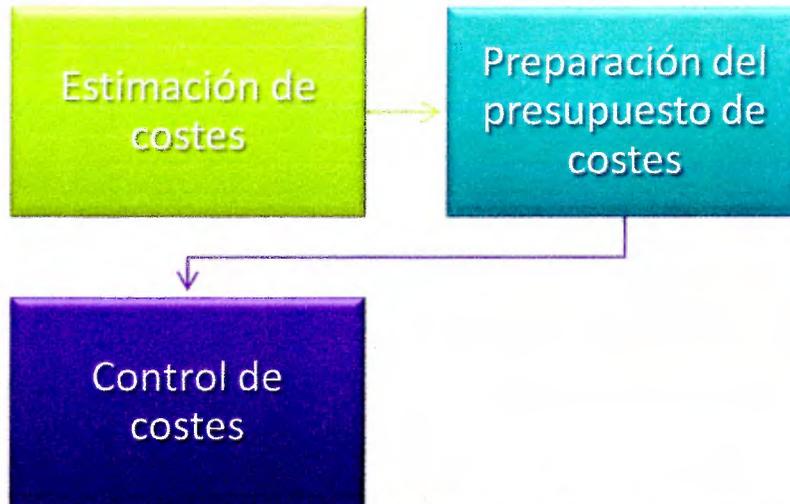
*Figura 25. Entradas, herramientas y salidas del control del cronograma.*

*Fuente: PMBOOK 2008.*

Una de las salidas más importantes en este proceso son las acciones correctivas recomendadas, las cuales son medidas que toma el gerente del proyecto y/o su equipo para regresar la ejecución del proyecto a su cauce normal, publicado por Esterkin (2008).

## 2.6 GESTIÓN DE COSTOS DE UN PROYECTO

La gestión de los costes del proyecto incluye los procesos involucrados en la planificación, estimación, preparación del presupuesto y control de costes de forma que el proyecto se pueda completar dentro del presupuesto aprobado. En la siguiente figura se muestra las fases de este proceso:



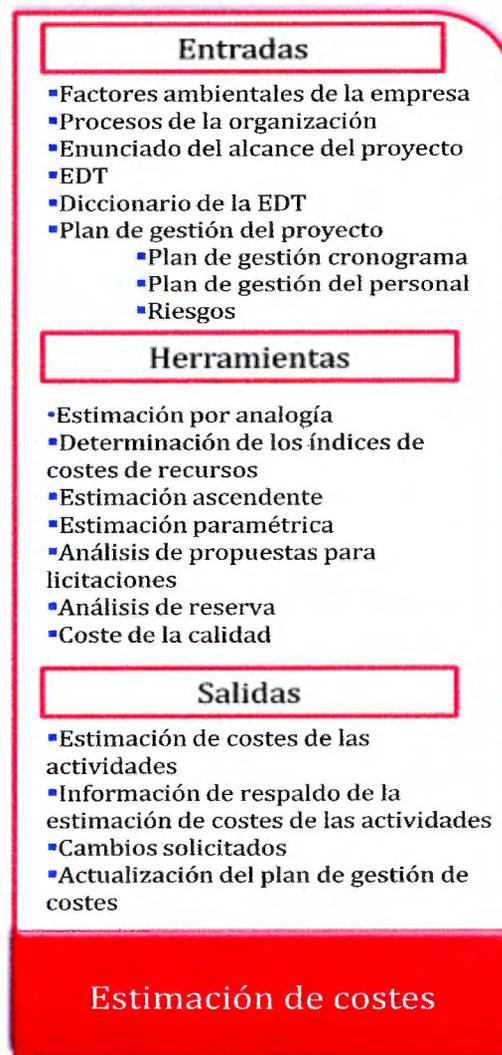
*Figura 26. Principales procesos de la gestión de costos.*

*Fuente: PMBOOK 2008.*

### 2.6.1 ESTIMACIÓN DE COSTES

Este proceso consiste en desarrollar una aproximación de los costes de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto. Se debe de tomar en cuenta las posibles causas de desviación de las estimaciones de costos y también esto debe de incluir los riesgos.

A continuación se muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de estimación de la duración de las actividades.



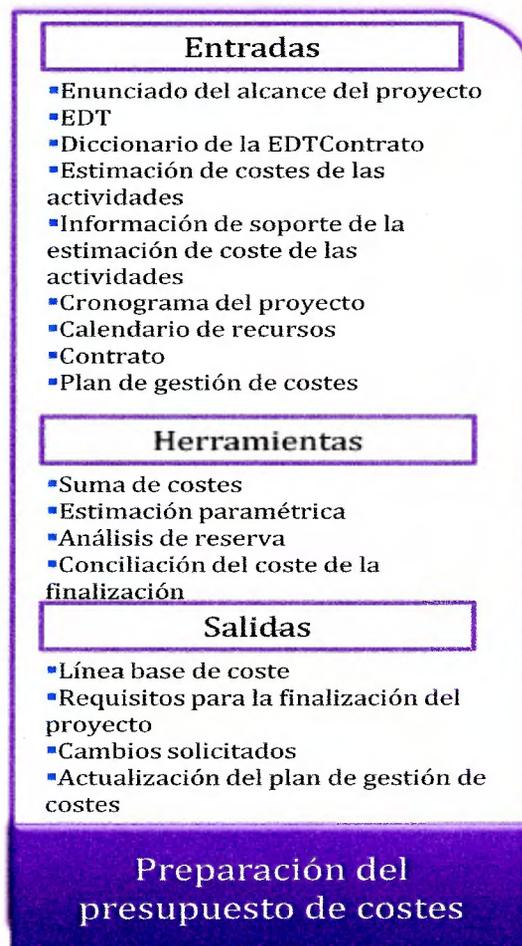
**Figura 27.** Entradas, herramientas y salidas de estimación de costes.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

## 2.6.2 PREPARACIÓN DEL PRESUPUESTO DE COSTES

Consiste en sumar los costes estimados de actividades individuales o paquetes de trabajo a fin de establecer una línea base de coste, con el fin de medir el rendimiento del proyecto.

En la **Fig. 28** muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de preparación del presupuesto de costes:



**Figura 28.** Entradas, herramientas y salidas de estimación de costes.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

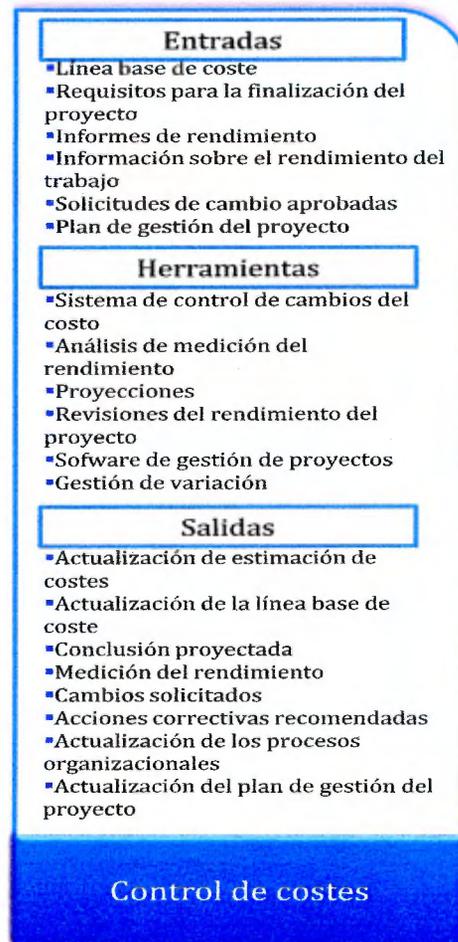
### 2.6.3 CONTROL DE COSTES

El control de coste es el proceso encargado de influir sobre los factores que crean variaciones del coste y controla los cambios en el presupuesto del proyecto.

El control de costes del proyecto incluye:

- ✓ Realizar el seguimiento del rendimiento del coste para detectar y entender las variaciones con respecto a la línea base de coste
- ✓ Registrar todos los cambios pertinentes con precisión en la línea base de coste
- ✓ Informar los cambios aprobados a los interesados pertinentes
- ✓ Actuar para mantener los sobrecostes esperados dentro de límites aceptables.

En la siguiente figura se muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de control de costes:

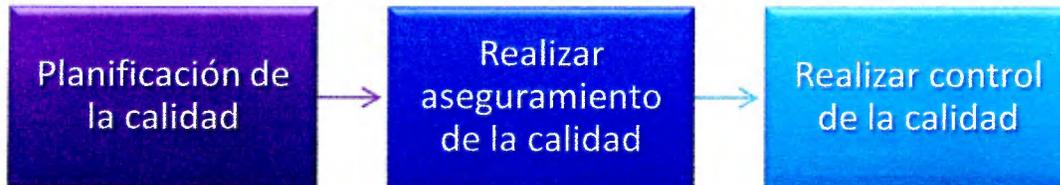


**Figura 29.** Entradas, herramientas y salidas de estimación de costes.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

## 2.7 GESTIÓN DE CALIDAD DE UN PROYECTO

Los procesos de gestión de la calidad del proyecto incluyen todas las actividades de la organización ejecutante que determinan los objetivos, las políticas, y las responsabilidades referentes a la calidad de modo que el proyecto satisfaga las necesidades por las cuales se arrancó. En la siguiente figura se muestra las fases de este proceso:

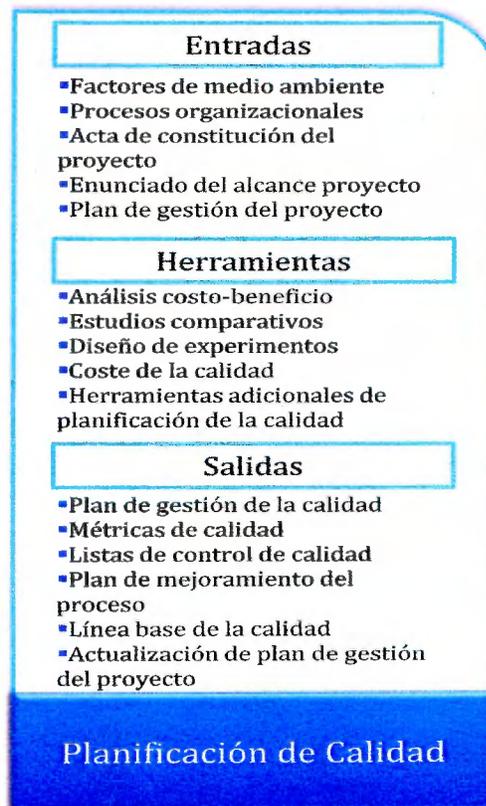


**Figura 30.** Principales procesos de la gestión de la calidad.

*Fuente:* PMBOOK 2008.

### 2.7.1 PLANIFICACIÓN DE CALIDAD DE UN PROYECTO

Este proceso implica la identificación de las normas que son notables para el proyecto y determinar cómo satisfacerlas. En la siguiente figura se muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de planificación de la calidad de un proyecto.



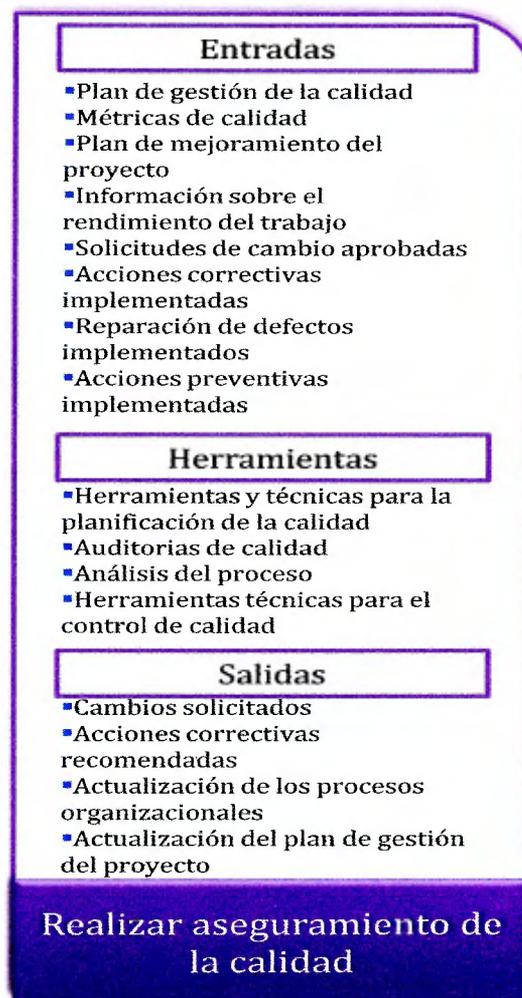
**Figura 31.** Entradas, herramientas y salidas de la planificación de un proyecto.

*Fuente:* PMBOOK 2008.

## 2.7.2 REALIZAR ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Aseguramiento de calidad es la aplicación de actividades sistemáticas y planificadas referentes a la calidad, para asegurar que el proyecto emplee todos los procesos necesarios para cumplir con los requisitos. Muchas veces este proceso es supervisado por un departamento de aseguramiento de la calidad.

En la **Fig. 32** se muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de realizar el aseguramiento de la calidad.

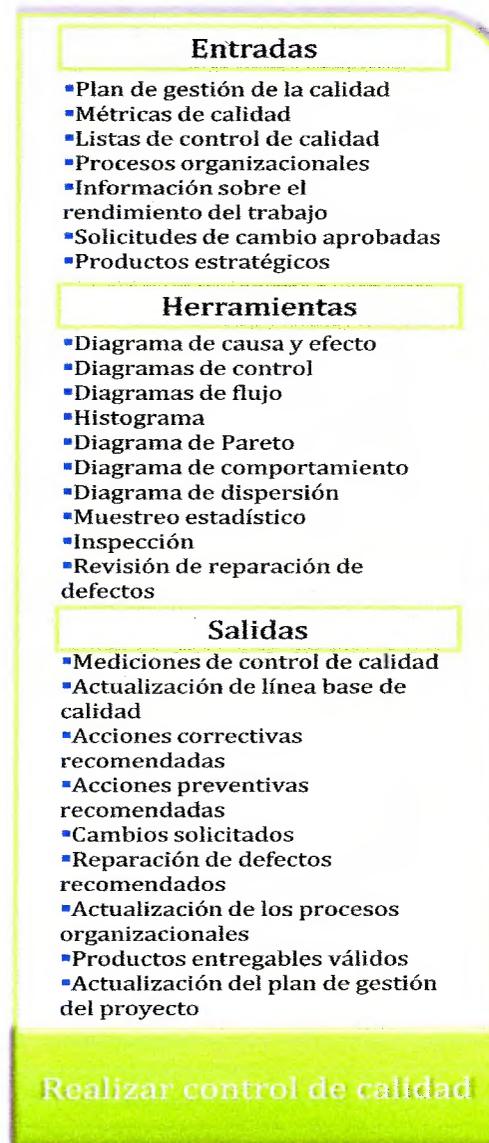


**Figura 32.** Entradas, herramientas y salidas de realizar aseguramiento de la calidad.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

### 2.7.3 REALIZAR CONTROL DE CALIDAD

Este proceso implica supervisar los resultados específicos del proyecto, para determinar si cumplen con las normas de calidad relevantes e identificar los modos de eliminar las causas de resultados insatisfactorios, este proceso se debería de realizar durante todo el proyecto. A continuación se muestra las entradas, herramientas y salidas del proceso de realizar el control de la calidad.



**Figura 33.** Entradas, herramientas y salidas de realizar control de calidad.

**Fuente:** PMBOOK 2008.

## 2.8 VALOR GANADO

Según Chamoun (2002), el **Valor Ganado (EVM, Earned Value Management)**, también conocido como “El costo presupuestado del trabajo realizado”, es un conjunto de herramientas y sistemas para el control de proyectos que está basado en un enfoque estructurado a su planificación, control de la facturación y medida del progreso. Facilita la combinación del alcance del proyecto y sus objetivos de coste y tiempo, estableciendo un plan base que podrá utilizarse para compararlo con la realización del proyecto durante su ejecución. Con ello, permite al *Director del Proyecto* identificar tendencias de desempeño y la detención temprana de variaciones en los plazos y los costos, lo cual permite implementar medidas correctivas.

Sin la herramienta del Valor Ganado, se podría comparar sólo lo que se ha gastado versus lo que se ha planificado gastar, sin dar un indicador del trabajo que ha sido realmente ejecutado.

A continuación se muestra los beneficios obtenidos por el *Director del Proyecto* al utilizar esta herramienta.

- ✓ Vincula directamente el presupuesto con el plazo del proyecto.
- ✓ Ayuda a mejorar la estimación de un costo y de un plazo realizable.
- ✓ Asigna responsabilidad al *Director del Proyecto* y a cada uno de los miembros del equipo, así como mejora el proceso de comunicación.
- ✓ Ayuda a pronosticar los resultados finales del proyecto.
- ✓ Facilita una administración efectiva y eficiente de múltiples proyectos.
- ✓ Exige al gerente de proyecto a cuantificar las lecciones aprendidas.

Seguidamente se definirán los conceptos claves para poder entender el método del Valor Ganado, basados en el trabajo de López (2006). Es importante recalcar que hay diferentes nombres para las variables utilizadas en este análisis, sin embargo, se escogieron las de mayor facilidad de entendimiento, las cuales son las más conocidas en el medio.

### 2.8.1 INDICADORES

La definición Valor Ganado como sistema de control, básicamente requiere de la instrumentación de tres indicadores los cuales los definiremos a continuación.

#### Costo Real (AC: Actual Cost)

Representa el costo del trabajo ejecutado hasta la fecha de corte, incluyendo:

- ✓ Costos incurridos por el personal asignado a la ejecución del proyecto (Gerencia, Ingeniería, Compras y Construcción).
- ✓ Costos de los equipos y materiales adquiridos, así como los costos de los equipos alquilados.
- ✓ Costos de los subcontratos de servicios y obras.
- ✓ Costos corporativos y departamentales imputables al proyecto.

#### Valor Ganado (EV: Earned Value)

Es la cantidad presupuestada para el trabajo realmente completado de la actividad del cronograma durante un periodo de tiempo determinado. Es un porcentaje del presupuesto total igual al porcentaje de trabajo realmente terminado.

$$EV = BAC * PPR\% \quad (2.8.1)$$

**PPR%** (*Physical progress report*)= Porcentaje de avance real

**BAC** (*Budget at completion*)= Costo presupuestado al final del proyecto.

#### Valor Planificado (PV: Planned Value)

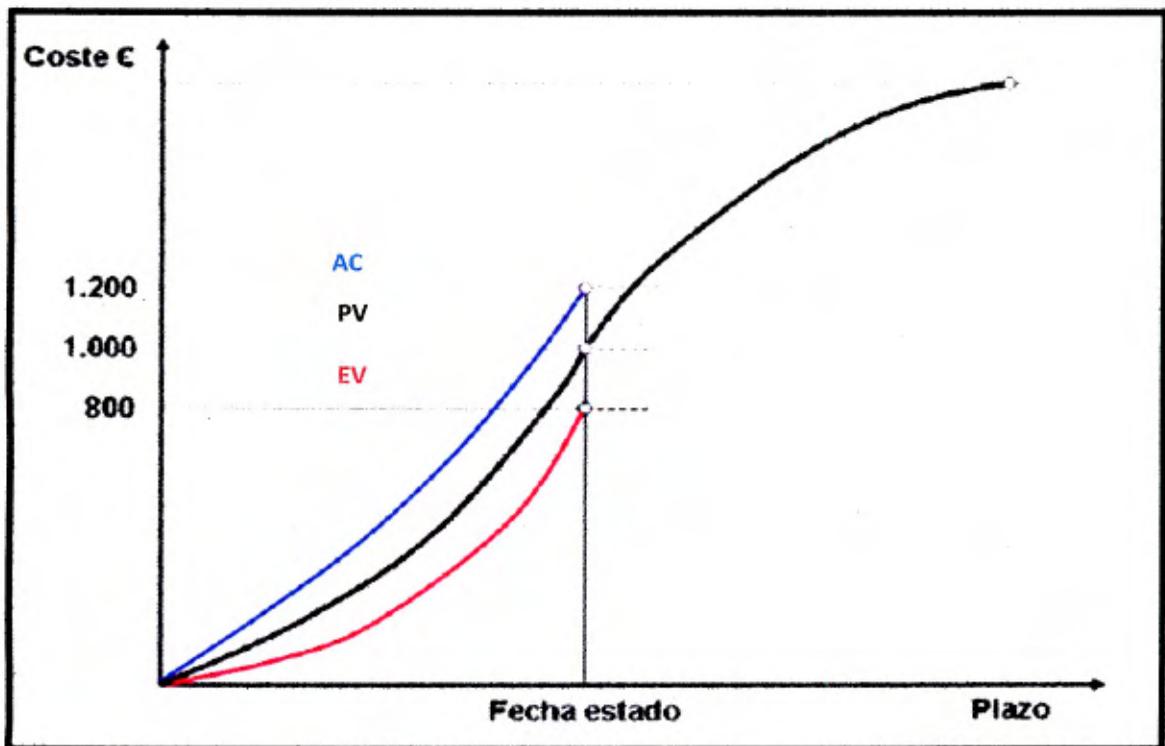
Es el costo del trabajo programado para ser completado de una actividad o tarea hasta un momento determinado.

La **Fig. 34** muestra la tendencia que sigue los tres indicadores que se describieron en el ítem anterior, es de suma importancia lograr interpretar esta gráfica de forma correcta para así lograr un mejor entendimiento del método de Valor Ganado.

Si el indicador costo actual (AC) se localiza por encima del Valor Ganado (EV), se evidencia que en el proyecto se están presentando sobrecostos, por el contrario, si éste

se localiza por debajo del Valor Ganado, el proyecto está gastando menos de lo que se presupuestó.

Al igual que el indicador anterior, al estar el valor planeado (PV) por encima del Valor Ganado se evidencia un atraso en el proyecto y si se localiza por debajo de éste el proyecto está presentando adelantos en el cronograma.



**Figura 34.** Gráfica muestra la tendencia del costo actual, con el costo presupuestado y el Valor Ganado.

**Fuente:** <http://direccion-proyectos.blogspot.com/dnavarro@armell.com> (Enero 2009)

## 2.8.2 ÍNDICES DE RENDIMIENTO

Los índices de rendimiento nos muestran que tan eficientemente está operando el proyecto.

### Índice de rendimiento del coste (CPI: Cost Performance Index)

Representa el logro obtenido del costo actual en función del Valor Ganado, de acuerdo al progreso alcanzado. Se define como:

$$\text{CPI} = \frac{\text{EV}}{\text{AC}} \quad (2.8.2)$$

Se interpreta de la siguiente manera:

- = 1 Proyecto dentro presupuesto.
- > 1 Proyecto por debajo de presupuesto.
- < 1 Proyecto por encima de presupuesto.

Este índice nos muestra cuantas unidades de dinero de trabajo se obtuvieron por la cantidad de dinero que se gastaron en el trabajo.

### Índice de rendimiento del cronograma (SPI: Schedule Performance Index)

Mide la efectividad de la planificación realizada para la ejecución del Proyecto, se define como:

$$\text{SPI} = \frac{\text{EV}}{\text{PV}} \quad (2.8.3)$$

Se interpreta de la siguiente forma:

- = 1 Proyecto está a tiempo.
- > 1 Proyecto adelantado con respecto al cronograma.
- < 1 Proyecto retrasado con respecto al cronograma.

El cálculo de este índice (porcentaje) nos muestra el valor del trabajo realizado comparado con lo que se había planeado.

### Índice Costo-Cronograma (CSI: Cost-Schedule Index)

Mide el grado de compensación entre el CPI y el SPI. Esta medida es útil cuando uno de los índices (CPI o SPI) es mayor que 1 y el otro es menor que 1, para dar una idea de la posibilidad de recuperación del proyecto, compensando costos con tiempo o al

contrario. Entre más se aleje CSI de 1.0, menor es la posibilidad de que el proyecto se recupere. Se define como:

$$CSI = CPI * SPI \quad (2.8.4)$$

En la siguiente tabla se muestran los rangos de análisis de este índice de variación.

**Tabla 1.** Análisis del índice de rendimiento costo-cronograma

RANGO	ANÁLISIS
$0,9 < CSI < 1,2$	Condición actual se asemeja a lo planificado
$0,8 < CSI < 0,9$ o $1,2 < CSI < 1,3$	Condición actual presente diferencias significativas con lo planificado
$CSI < 0,8$ o $CSI > 1,3$	Condición actual muy diferente a lo planificado

*Fuente:* <http://www.acis.org.co/memorias/JornadasGerencia/IIJNGP/Valor%20Ganado%20Conferencia%20ACIS%20Ver%203.pdf> (Febrero 2009)

Índice de rendimiento de costos a la conclusión (TCPI: To Complete Performance Index)

Es el rendimiento de costos que debe obtenerse en el trabajo por ejecutar para terminar “en presupuesto”.

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} \quad (2.8.5)$$

Productividad del costo al final del proyecto (ACPI: At Completion Cost Performance Index)

Mide la tendencia del costo proyectado al fin del proyecto.

$$ACPI = \frac{BAC}{EAC} \quad (2.8.6)$$

Se interpreta de la siguiente manera:

- = 1 Costo final igual al presupuestado.
- > 1 Costo final menor al Presupuestado.
- < 1 Costo final mayor al presupuestado.

### 2.8.3 VARIACIONES

Muestra como el proyecto va progresando y las tendencias debido a que toman en cuenta el tiempo y el costo consumidos comparados con los planeados.

#### Variación del Costo (CV: Cost Variance)

Es una comparación entre la cantidad de trabajo realizado durante un periodo de tiempo dado y lo que se gastó para ejecutarlo. Indica si el costo ha sido mayor o menor a lo presupuestado. Se define como:

$$CV = EV - AC \quad (2.8.7)$$

Se interpreta de la siguiente manera:

**CV > 0:** Costo menor a lo presupuestado.

**CV = 0:** Costo igual a lo presupuestado.

**CV < 0:** Costo mayor a lo presupuestado.

#### Variación del Cronograma (SV: Schedule Variance)

Es una comparación entre el avance obtenido en el trabajo del proyecto (expresado en costos) durante un periodo de tiempo dado y el avance en el trabajo que se había planeado para ser ejecutado (expresado en costos). Indica si el cronograma está adelantado o atrasado, según lo planeado para el periodo de tiempo. Se define como:

$$SV = EV - PV \quad (2.8.8)$$

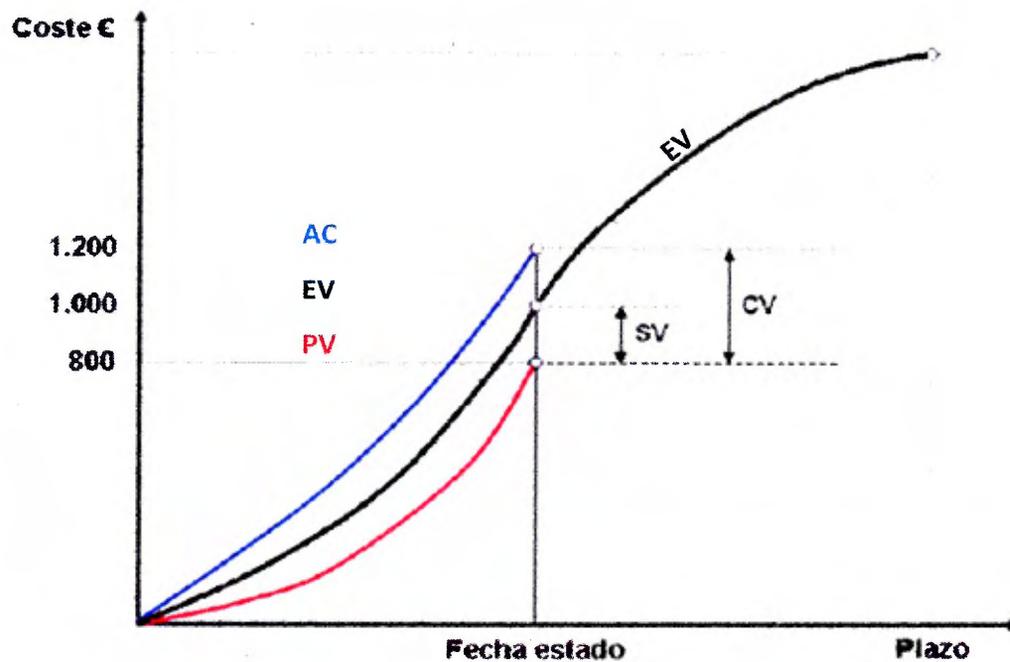
Se interpreta de la siguiente manera:

**SV > 0:** Cronograma adelantado según lo planeado

**SV = 0:** Cronograma igual a lo planeado

**SV < 0:** Cronograma atrasado según lo planeado

En la siguiente figura se muestra gráficamente la variación de costos y la variación del cronograma.



**Figura 35.** Gráfica muestra la variación del costo y del cronograma.

**Fuente:** <http://direccion-proyectos.blogspot.com/dnavarro@armell.com> (Enero 2009)

#### 2.8.4 PROYECCIONES

Una vez finalizado las variaciones del tiempo (cronograma) y el costo directo, se procede a proyectar los saldos en obra en cuanto a tiempo y costo directo.

Trabajo restante programado (EAC: Estimate at Completion):

Representa la estimación del costo al finalizar el proyecto, nos permite saber con anticipación, si el proyecto terminara fuera del presupuesto, para actuar oportunamente.

$$EAC = \frac{AC}{EV} * BAC \quad (2.8.9)$$

Pronóstico de la fecha de terminación (FFD: Forecast Final Date)

Representa la estimación del tiempo de duración del proyecto, nos permite saber con anticipación, si el proyecto terminará después de la fecha programada, para poder actuar oportunamente.

$$FFD = \frac{PV}{EV} * \text{duración del proyecto} \quad (2.8.10)$$

Estimación de la desviación del coste al final del proyecto (VAC: Variance at Completion)

Es la desviación que tendríamos al final del proyecto, la cual sería la diferencia entre el presupuesto inicial del proyecto y la nueva estimación del mismo.

$$VAC = BAC - EAC \quad (2.8.11)$$

Trabajo restante hasta la terminación (ETC: Estimate to Completion)

El costo estimado para terminar el proyecto se utiliza para pronosticar el trabajo restante que se necesita para lograr terminar el proyecto.

$$ETC = EAC - AC \quad (2.8.12)$$

En la siguiente figura se muestra la representación grafica de las proyecciones para lograr un mejor entendimiento de estas variables.

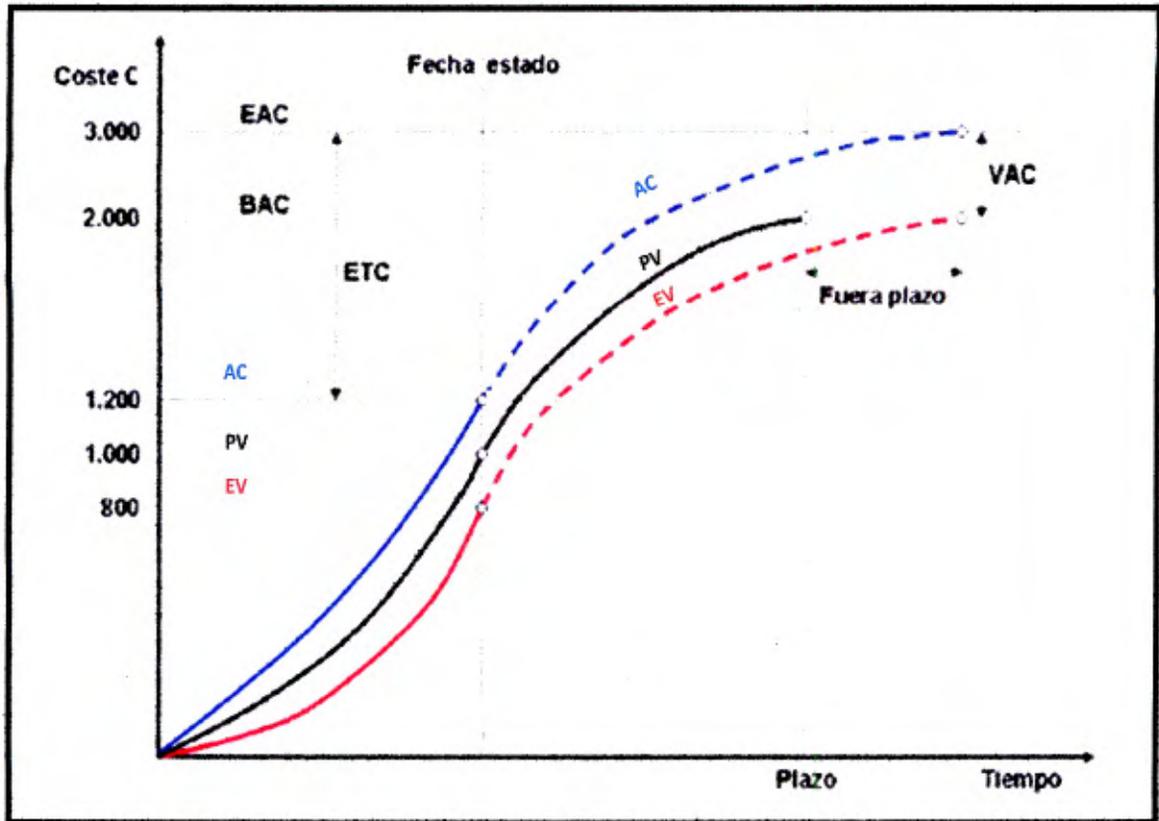


Figura 36. Gráfica que muestra las proyecciones ETC, EAC y VAC.

Fuente: <http://direccion-proyectos.blogspot.com/dnavarro@armell.com> (Enero 2009)

### 2.8.5 RESUMEN DE LOS INDICADORES

La siguiente tabla se muestra un resumen de los indicadores que fueron citados en el apartado anterior, esto con el fin de lograr un mejor entendimiento del método de Valor Ganado.

**Tabla 2.** Resumen de indicadores utilizados en el método del Valor Ganado

<b>Indicador</b>	<b>Sigla</b>	<b>Traducción</b>
Costo Real	<b>AC</b>	Actual Cost
Valor Ganado	<b>EV</b>	Earnned Value
Costo Planificado	<b>PV</b>	Planned Value
<b>Índices de rendimiento</b>		
Índice de Rendimiento de Costo	<b>CPI</b>	Cost Performance Index
Índice de Rendimiento de Cronograma	<b>SPI</b>	Schedule Performance Index
Índice de Rendimiento de Costo-Cronograma	<b>CSI</b>	Cost-Schedule Performance Index
Índice de rendimiento de costos a la conclusión	<b>TCPI</b>	To Complete Peformance Index
Productividad del costo al final del proyecto	<b>ACPI</b>	At Completion Cost Performance Index
<b>Variaciones</b>		
Variación de costo	<b>CV</b>	Cost Variance
Variación de cronograma	<b>SV</b>	Schedule Variance
<b>Proyecciones</b>		
Trabajo restante programado	<b>EAC</b>	Estimate at Completion
Estimación de la desviación del coste al final del proyecto	<b>VAC</b>	Variance at Completion
Pronóstico de la fecha de terminación	<b>FFD</b>	Forecast Final Date
Trabajo restante hasta la terminación	<b>ETC</b>	Estimate to Completion

*Fuente: Ejecución propia*

## 2.9 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALOR GANADO

Para poder desarrollar la herramienta del Valor Ganado es necesario la utilización de cinco pasos básicos, los cuales se describen a continuación:

## 2.9.1 PASO 1: ESTABLECER LA MEDIDA DE DESEMPEÑO DE LÍNEA BASE

**La medida de desempeño de línea base** es la integración del costo, el plazo y las actividades del proyectos en una sola línea base contra la cual el desempeño puede ser medido (Gómez 2004). A continuación se detallan los pasos necesarios para llevar a cabo esta actividad:

### Paso 1.1: Definir el WBS para dividir el proyecto en porciones manejables.

La WBS o Estructura desglosada del Trabajo, es la base fundamental para la elaboración de la línea de base del proyecto. Es una técnica de planeación mediante la cual podemos definir y cuantificar el trabajo a realizar. Consiste en un esquema formado por los entregables y las tareas necesarias para completar un proyecto.

Los pasos para desarrollar una estructura de descomposición del trabajo:

1. Identificar el producto final del proyecto basado en el alcance aprobado del proyecto.
2. Determinar todas las actividades que son requeridas para producir el proyecto final.
3. Definir los mayores entregables necesarios para el éxito del proyecto.
4. Descomponer los mayores entregables a un nivel de detalle apropiado, este nivel debe ser el suficiente como para poder administrado y controlado.
5. Revisar la estructura de descomposición del trabajo hasta que los involucrados en el proyecto estén de acuerdo con el nivel de planificación y control. Cada miembro del proyecto debe tener claro cuáles son las actividades de las que son responsables y cómo es que el cumplimiento de estas actividades va a ser medido.

### Paso 1.2: Programar las actividades en el tiempo.

Después de definir el WBS se desarrolla un cronograma del proyecto, cada actividad debe de tener una fecha de inicio y finalización proyectada. El gerente del proyecto debe de establecer y validar las metas de los plazos.

### Paso 1.3: Asignar el costo a ser gastado en toda actividad.

Seguidamente, se procede con la asignación de recursos de las actividades que han sido programadas. Se debe estimar los costos para cada tarea y subtarea. Se recomienda realizar la estimación de las subtareas, para que luego de la acumulación de sus costos, permita obtener el costo de las tareas y posteriormente el costo del proyecto.

### 2.9.2 PASO 2: ACTUALIZAR EL CRONOGRAMA REPORTANDO EL PROGRESO DE LAS ACTIVIDADES

Cuando el proyecto se ejecuta, se debe medir el desempeño del proyecto y compararlo con la medida de desempeño de línea base inicial. Se tendrá que revisar continuamente las fechas de inicio y fin de cada actividad. Los costos reales se obtendrán de los sistemas contables. El porcentaje de avance debe ser estimado para cada actividad. Esta información es la mínima indispensable para realizar el cálculo del Valor Ganado.

### 2.9.3 PASO 3: HACER LOS CÁLCULOS DEL VALOR GANADO

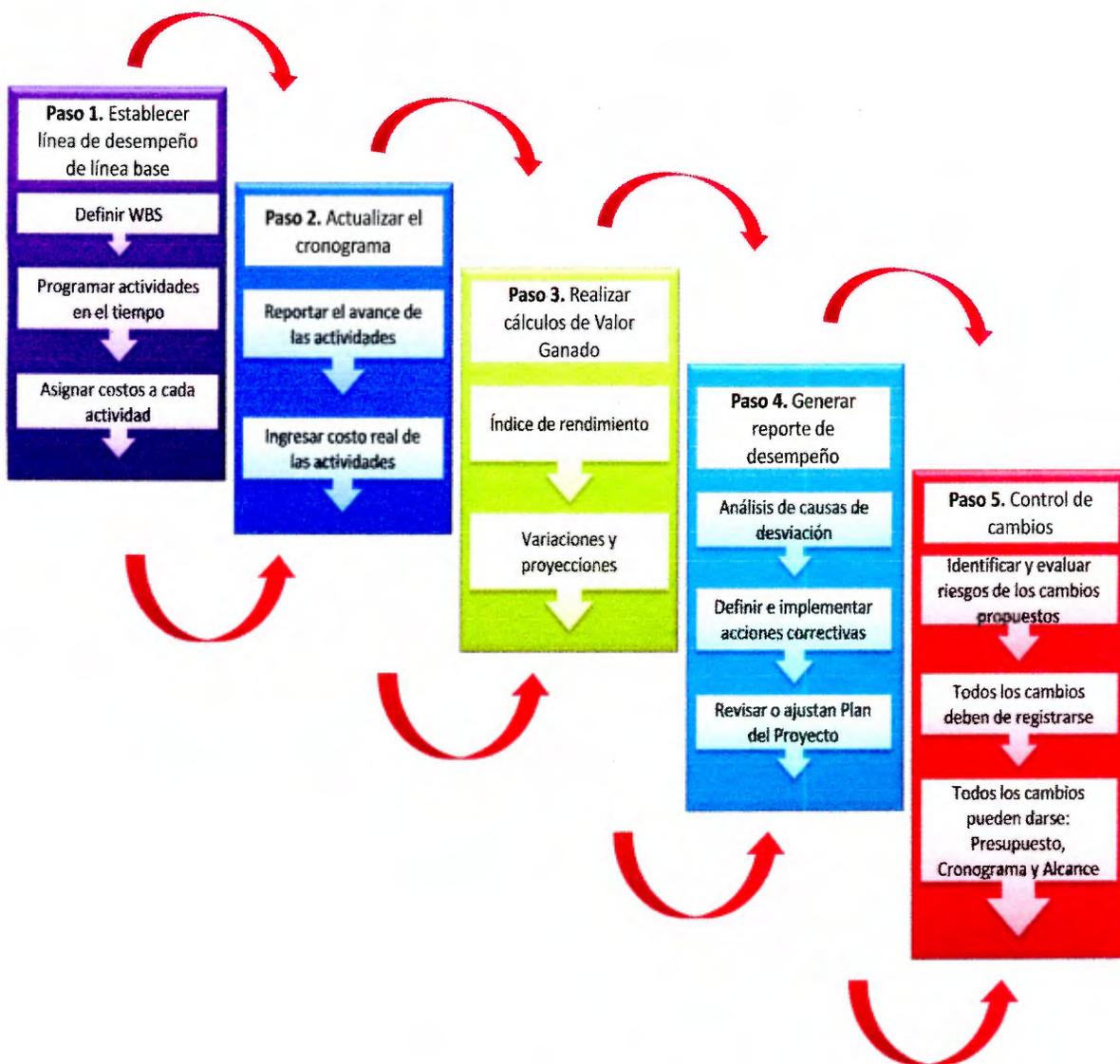
Con el porcentaje de avance obtenido en el paso anterior y con el costo presupuestado al final del proyecto se logra obtener el Valor Ganado para cada actividad hasta la fecha de corte.

### 2.9.4 PASO 4: ANALIZAR LOS DATOS Y GENERAR EL REPORTE DE DESEMPEÑO

Se procede a realizar el cálculo de los índices y variaciones de costo y plazo. Con éste se genera los reportes de Valor Ganado. En este reporte se incluye el costo actual, el valor planeado, el Valor Ganado, las variaciones, los índices de rendimiento y las proyecciones hasta la fecha en que se decidió realizar el análisis.

## 2.9.5 PASO 5: CONTROL DE CAMBIOS

El paso final es controlar los cambios de la medida de desempeño de línea base, es importante identificar y evaluar los riesgos de aceptar los cambios propuestos. Los cambios pueden darse en el alcance del proyecto, el plazo y el presupuesto estimado. Todos los cambios deben de registrarse.



*Figura 37. Pasos para realizar Valor Ganado.*

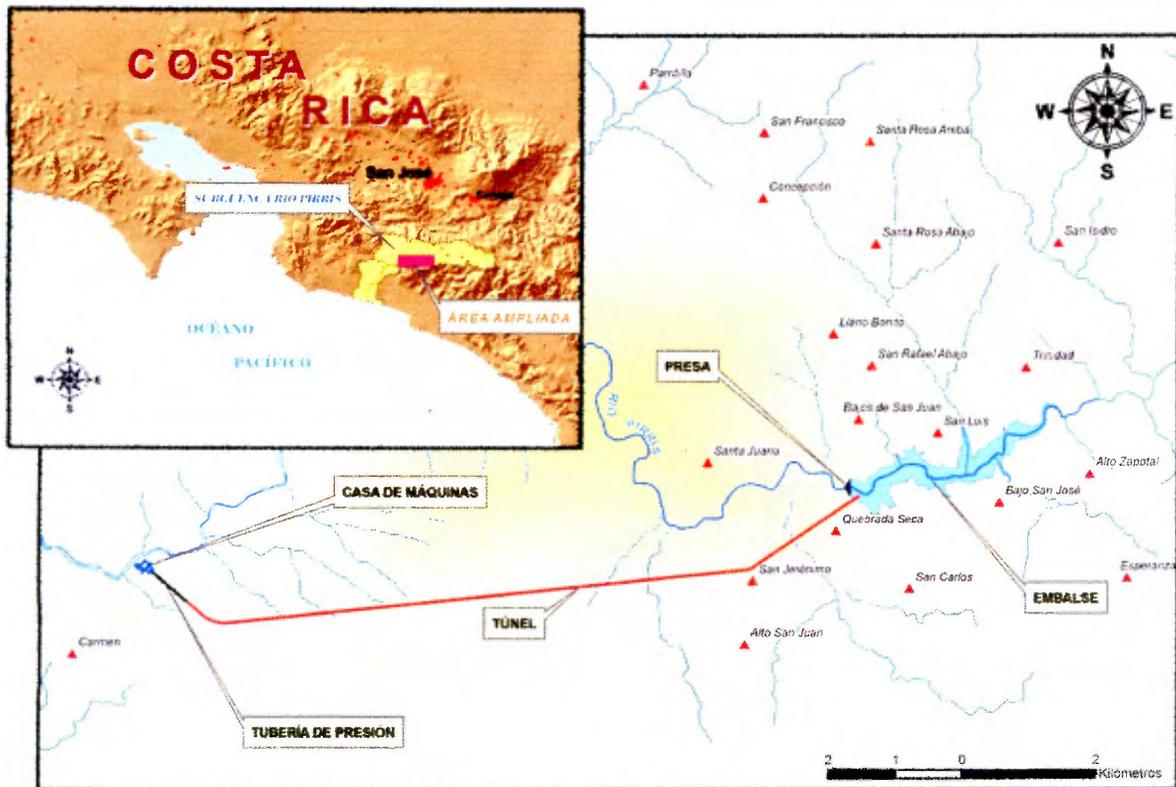
*Fuente: Ejecución propia*

## CAPÍTULO 3: ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS EN EL P.H.PIRRÍS

### 3.1 PRESENTACIÓN DEL P.H.PIRRÍS

#### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís se ubicará en la cuenca media del Río Pirrís, sobre la vertiente de la región del Pacífico Central de Costa Rica, como se puede observar en la Fig. 38.



**Figura 38.** Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.

**Fuente:** III Congreso Centroamericano y del Caribe de Administración de Proyectos AP CON 2008.

La energía hidroeléctrica del proyecto se va a generar a partir del represamiento del Río Pirrís, a unos 30 km aguas arriba de su confluencia con el Grande de Candelaria; la represa estará sobre el sitio del río a elevación de aproximadamente 1090 msnm; se efectuará el aprovechamiento por la conducción de las aguas a la casa de máquinas,

con una caída bruta máxima de aproximadamente 900 metros, entre las cotas 1205 y 305 msnm.

Los objetivos principales de este proyecto son:

- ✓ Entregar una planta de generación hidroeléctrica con capacidad de 132 Mega Vatios al Sistema Nacional de Interconexiones para el año 2011.
- ✓ Formular el Plan de Manejo Integral de Cuenca del río Pirrís en paralelo con la fase de la construcción.

En el **anexo 4** se muestra la declaración del alcance de este proyecto.

### 3.1.2 CARACTERISTICAS DE LOS ENTREGABLES

A continuación se desglosan de manera muy general los aspectos sobresalientes de los componentes de las obras.

#### Represa y embalse sobre el Río Pirrís

La represa de gravedad, vertedora, se construirá en concreto compactado de 125m de altura con longitud de cresta de 220 m. El aliviador de excedencias estará incorporado al cuerpo de la presa, con una capacidad de avenida diseñada para de 3300 m<sup>3</sup>/s. El cuenco disipador es de 70 m de largo y 25 m de ancho.

Se realizará un desvío del agua del río durante la construcción de la represa; se escarba un canal de 10 m de diámetro y 500 m de longitud sobre la margen derecha. El espejo de agua del embalse tendrá una extensión máxima de 1,2 km<sup>2</sup>; el embalse contendrá un volumen total de 36,8 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, de los cuales 30 millones de m<sup>3</sup> serán útiles, operando entre las cotas de 1205 y 1155 msnm. En la siguiente figura se muestra la ubicación del embalse y la represa sobre el río Pirrís.



*Figura 39. Fotografía de la ubicación de la represa y embalse sobre el río Pirrís .*

*Fuente: P.H.Pirrís, marzo 2009.*

### Obras de conducción hídrica y torre de oscilación

La altura máxima de esta estructura estará a 58 m de la base con un ancho de 8 m. El caudal máximo derivado por esa toma será de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El túnel de conducción de baja presión de aguas para las turbinas de casa de máquinas estará revestido por concreto, con diámetro interior de 2,8 m, en un 92% de la longitud del túnel que tiene 8700 m de longitud la mayoría de los cuales pasan por debajo del Cerro Dota; al final de este trayecto el túnel se convierte a tubería forzada de alta presión de 2,6 km y 2,5 m de diámetro interior en los tramos blindados restantes; la parte final de alta presión tiene 400 m de largo en tubería blindada de acero (**Fig. 40**), 1900 m de tubería superficiales y 300 m de tubería en galería, los diámetros varían entre 2,5 y 2 m con dos ramales de 1,3 m para la conducción final hasta las dos turbinas. El túnel cuenta en su final con un tanque de oscilación semi subterráneo de 125 m de altura y 5 a 10 m diámetro.



**Figura 40.** Fotografía de la trinchera donde se ubicará la tubería blindada de acero de 400m de longitud.

**Fuente:** P.H.Pirrís, marzo 2009.

### Subestación elevadora

La subestación elevadora estará ubicada frente a la casa de máquinas en un terreno de una hectárea, cimentada en la cota de 325 msnm como se observa en la **Fig. 41**. Las instalaciones modernas cuentan con sistemas de enfriamiento con aceites de alto punto de ebullición, para algunos de sus sistemas, que requieren cuidados bien establecidos y seguros para evitar derrames.



**Figura 41.** Fotografía de la trinchera donde se ubicará la tubería blindada de acero de 400m de longitud.

**Fuente:** P.H.Pirris, marzo 2009.

### La casa de máquinas y restitución de agua turbinada

Estará ubicada sobre la margen izquierda del Río Pirris, cerca del sitio del puente colgante actual, que comunica las comunidades de Bijagual con la de El Carmen. Las aguas se liberan a 290 msnm. Una parte de la casa de máquinas quedará subterránea, y el resto superior sobre una terraza de 30 m de altura sobre el nivel del río (ver Fig. 42). Será una estructura de concreto de 30 m de altura y 24 x 45 de planta. Albergará dos turbinas Pelton de eje vertical, impulsada por seis chorros, para generar una potencia total de 128 MW. El centro de las turbinas quedará a la elevación de 305,4 msnm, con lo que se aprovecha una caída de potencial máxima de unos 900 m. La energía promedio anual que generará la Planta Pirris así construida será de  $609 \times 10^6$  kWh.

La restitución del agua aprovechada se efectuará por una alcantarilla de concreto de 248 m de longitud, ancho interno de 3,3 m y pasará bajo la estación elevadora pero el resto estará a cielo abierto.



**Figura 42.** Fotografía del avance de la construcción de casa de máquinas, Parrita

**Fuente:** P.H.Pirris, marzo 2009.

### Conducción eléctrica

La energía generada es transmitida a una subestación elevadora de 230 kV, construida en una hectárea de terreno inmediato a la casa de máquinas. Esta subestación elevadora estará conectada con las líneas del Proyecto de Transmisión Parrita-Lindora, cuya orientación a partir del P.H. Pirris es hacia el NE, pasando por las estribaciones de la Fila Bustamante y de Escazú, con una longitud aproximada de 44 km.

### Formulación del Plan de Manejo Integrado de la Cuenca del río Pirrís

La formulación de un plan de manejo integral será la guía para el mejoramiento del uso del suelo y de la calidad de vida de los pobladores y el establecimiento de las bases para la conformación del consejo de cuenca. En la siguiente figura se muestra la presentación del avance de este Plan realizado a la comunidad de los Santos.



*Figura 43. Cuenca en la zona de los santos*

*Fuente: P.H.Pirrís, marzo 2009.*

En el **anexo 5** se muestra la ubicación de cada una de las obras que se van a desarrollar en este proyecto.

En la siguiente tabla se resumen las características básicas del P.H.Pirrís.

**Tabla 3.** Resumen de características básicas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
<b>Hidrología</b>		
Área de drenaje hasta sitio de represa	248,6	km <sup>2</sup>
Área de drenaje total del Río Pirrís-Parrita	1 275,4	km <sup>2</sup>
Escorrentía promedio anual	310,3	Hm <sup>3</sup>
Caudal promedio anual natural	9,84	m <sup>3</sup> /s
Avenida de diseño	3300	m <sup>3</sup> /s
<b>Embalse</b>		
Volumen bruto de almacenamiento	36,8 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Volumen útil de almacenamiento	30 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Volumen muerto del embalse	6,8 x 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Superficie a nivel máximo de operación (NMO)	1,12	km <sup>2</sup>
Nivel mínimo de operación	1155	Msnm
Nivel máximo de operación (NMO)	1205	Msnm
Oscilación de niveles útil	49	M
Superficie de tierras inundadas	117	Ha
<b>Represa (arco de gravedad)</b>		
Elevación de la cresta	1210	Msnm
Longitud de la cresta	220	M
Ancho de la cresta	6	M
Altura de la presa (máxima)	127	M
Volumen de la represa	451 x 10 <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
<b>Vertedor y descarga de fondo</b>		
Avenida de diseño	3300	m <sup>3</sup>
Elevación de la cresta	1190	Msnm
Ancho de la cresta	30	M
Capacidad de descarga de fondo	460	m <sup>3</sup>
Elevación umbral de entrada de descarga de fondo	1109	Msnm
<b>Túnel de conducción y tanque de oscilación</b>		
Caudal de diseño	18	m <sup>3</sup> /s
Longitud del túnel	8694	M
Diámetro interno	2,8 (rev. concr.) 2,5 (blindado.)	M
Altura máxima del tanque	125	M
Diámetro	5 a 10	M
<b>Tubería forzada (con un tramo de 300 m en galería)</b>		
Longitud	2657	M
Diámetros	2,5 a 2 conducto principal y 1,3 en los 2 ramales	M
<b>Casa de máquinas</b>		
Dimensiones	24 x 45 planta x 30 altura	M
Potencia instalada	128	MW
Energía media anual	609	GWh

Fuente: Departamento de Proyectos, ICE, 1997.

## 3.2 DISEÑO DE LA ORGANIZACIÓN

### 3.2.1 ORGANIGRAMA

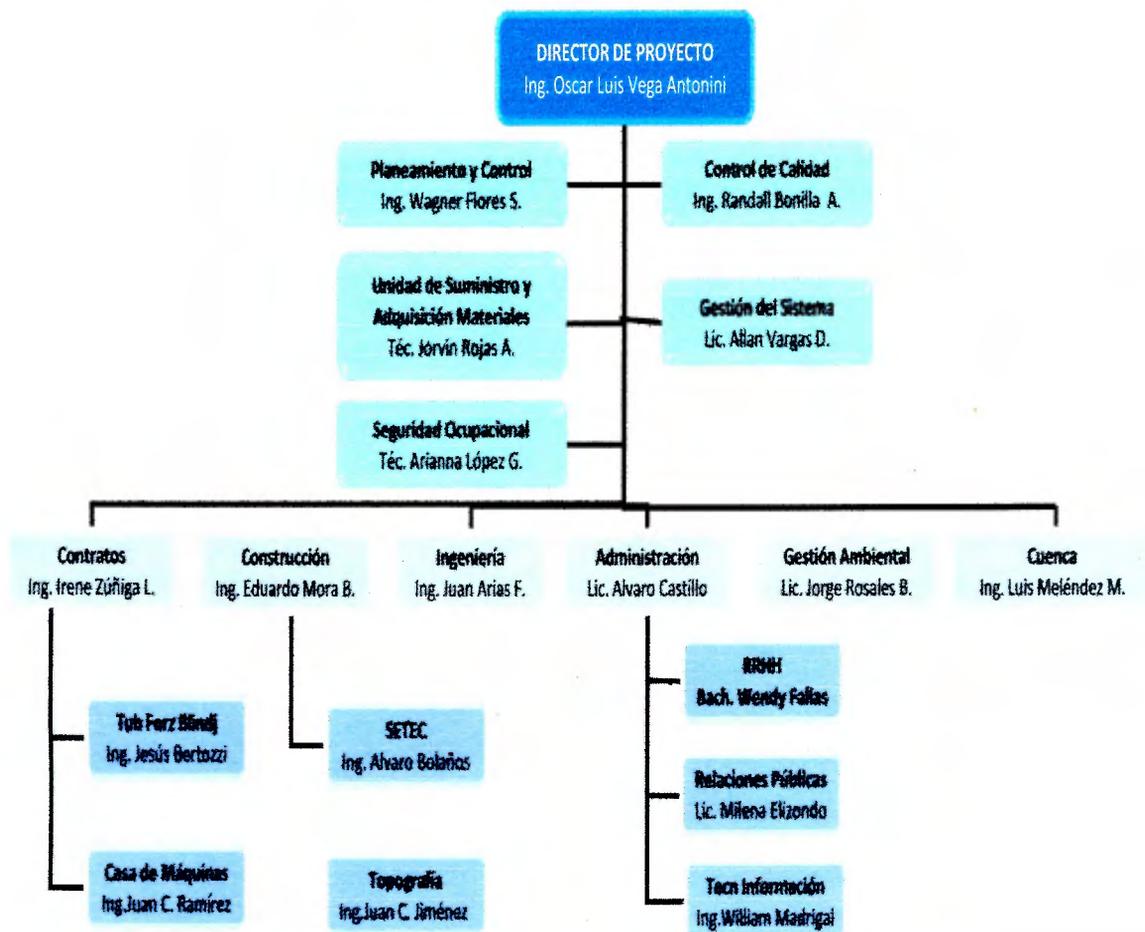
Un **organigrama** es un diagrama que describe gráficamente la disposición formal de los puestos de trabajo dentro de la organización.

El organigrama que se utiliza en este proyecto es de tipo funcional debido a que se agrupa los involucrados del proyecto con disciplinas y habilidades similares. Cada departamento se encarga de la parte que le corresponde del proyecto y existe un coordinador que en este caso sería el Director del proyecto que delega sus funciones a los demás departamentos.

Las ventajas de este tipo de organigrama es que optimiza el uso de los recursos especializados además de facilitar la administración del personal por la división de departamentos y por ende facilita el desarrollo y acatamiento de normas y procedimientos institucionales.

A su vez este tipo de división cuenta con una serie de desventajas que pueden afectar el correcto desempeño del proyecto debido a que genera conflictos de autoridad entre los departamentos debido a las diferentes políticas y objetivos entre los departamentos, además es posible que se generen las llamadas “barreras funcionales” que son deficiencias en la comunicación y coordinación entre las distintas funciones.

A continuación se muestra el organigrama formal del P.H. Pirrís.



**Figura 44.** Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico Pirris.

**Fuente:** III Congreso Centroamericano y del Caribe de Administración de Proyectos AP CON 2008.

### 3.2.2 ROLES Y RESPONSABILIDADES

En todo proyecto es importante trazar en la etapa de planeamiento los roles y responsabilidades que se le serán asignados a los involucrados del equipo de trabajo. Esto será una gran ayuda para evitar que surjan mal entendidos entre los departamentos o que se den distribuciones no equitativas de la cantidad de trabajo.

Por lo tanto para cumplir los objetivos trazados en el proyecto, se establecen las siguientes roles y responsabilidades dentro del equipo del proyecto.

#### Planeamiento y control:

Analiza y realiza estimaciones de recursos (maquinaria y equipo), así como la valoración inicial del riesgo y de las compras más complejas. Es el ente encargado de la recopilación, integración y análisis de los datos necesarios para llevar un control del tiempo y costo del proyecto.

#### Control de Calidad:

Es el encargado de medir la calidad de los productos elaborados en el proyecto según lo establecido en las especificaciones técnicas, las normas nacionales e internacionales para los distintos equipos y materiales que son utilizados en el proyecto.

#### Unidad de Suministros y Administración de Materiales (USAM):

Ente encargado de realizar las adquisiciones necesarias para cumplir con los entregables del proyecto, así como de la administración adecuada de las compras.

#### Gestión del sistema:

Es el encargado de la elaboración de los diferentes planes de gestión o métodos de trabajo a realizar de los distintos entregables o procesos, de igual manera es el encargado directo de controlar la adecuada integración de los elementos según lo establecido en el Plan de Gestión. Además se encarga de la gestión documental, administración de planos y el servir de apoyo en la administración de proyectos en otras áreas del conocimiento que la Dirección lo señale.

#### Seguridad Ocupacional:

Vela por la seguridad de todos los trabajadores del proyecto que laboran en las distintas obras, con el propósito fundamental de garantizar buenas condiciones de trabajo y proveer el equipo de seguridad adecuado según se requiera.

#### Control Interno:

Controla que se cumpla con lo establecido en la Ley General de Control Interno y en el Manual de las Normas Generales de Control Interno para la Contraloría General de la República y las entidades y órganos sujetos a su fiscalización.

### Contratos:

Son los encargados de administrar los contratos de obras subcontratadas, tales como:

- ✓ Construcción de las Presa RCC, compuertas y equipo de auscultación.
- ✓ Diseño, fabricación e instalación del blindaje y tubería forzada.
- ✓ Suministro de equipo electromecánico para Casa de Maquinas

### Construcción:

Es el área encargada de llevar a cabo la construcción de las obras por administración concernientes al P.H. Pirrís.

### Ingeniería:

Es la encargada de diseñar las obras por administración que sean necesarias para el desarrollo del proyecto.

### Administración:

Departamento encargado de proveer todos los elementos administrativos necesarios (campamentos, traducción, relaciones públicas, medicina laboral, tesorería, recursos humanos) para llevar una adecuada gestión del proyecto.

### Gestión Ambiental:

Encargado de la regencia ambiental, forestal y arqueológica y de monitorear todos los aspectos ambientales (manejo de desechos, recuperación y reforestación, monitoreo biológico y de la calidad del agua, mitigación ambiental) que se deben de tomar en cuenta para la construcción de una obra por administración según lo establece el Plan de Gestión Ambiental del Proyecto aprobado por SETENA en el año 1999, así también emitir recomendaciones en pro de la conservación del medio ambiente.

Además se encarga de los aspectos sociales en las comunidades relacionadas directa e indirectamente con el proyecto.

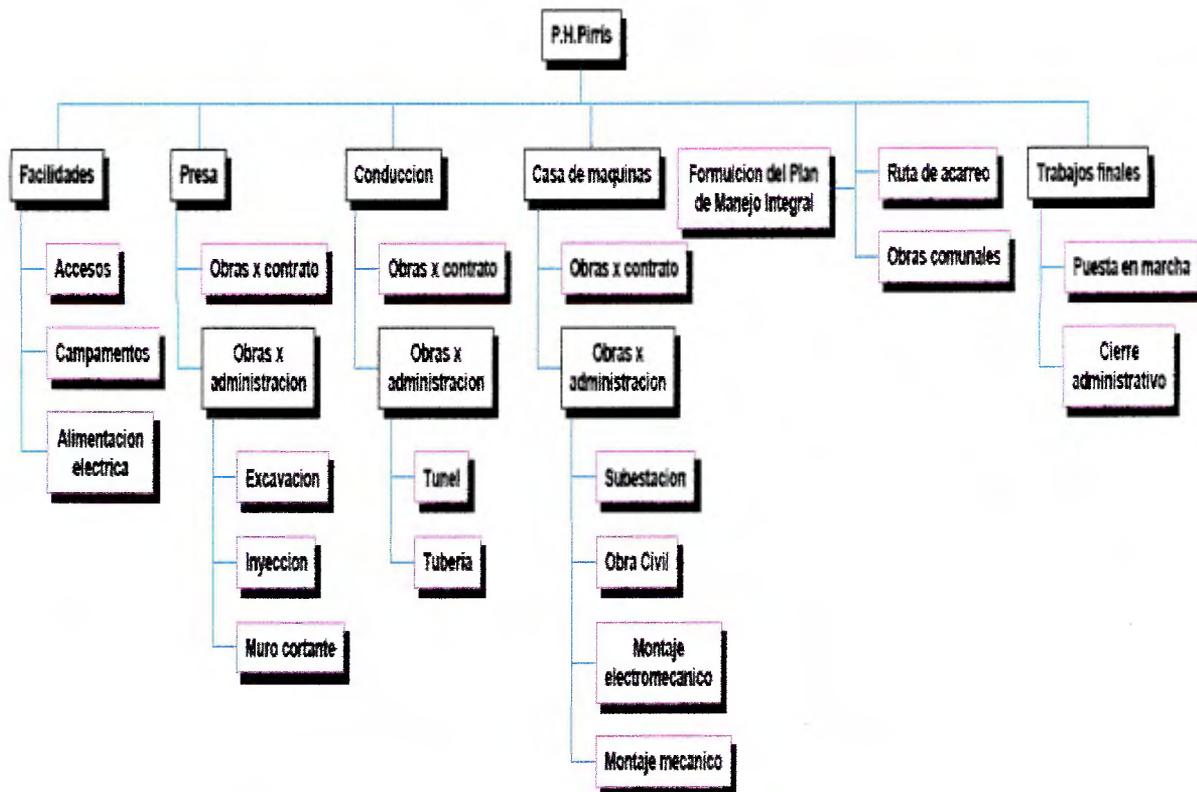
### Unidad de cuenca:

Es el encargado de cumplir con unos de los principales entregables del proyecto, el plan de manejo integral de cuenca. También de trabajar en procesos comunales como educación ambiental, manejo de desechos sólidos, reforestación, ferias ambientales e interculturales, campañas contra incendios, bandera azul, ecológica, entre otros.

### 3.2.3 ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT)

La estructura de desglose de trabajo organiza y define el alcance total del proyecto mediante una estructura orientada a entregables, incluyendo a todos los elementos del proyecto. Esta división del trabajo facilita el manejo y control del proyecto así como la delimitación de las responsabilidades.

En esta estructura se define la función que le corresponde a cada cargo indicando la autoridad, responsabilidad y la relación con otros cargos. En la siguiente figura se muestran los principales entregables del proyecto y sus tareas.

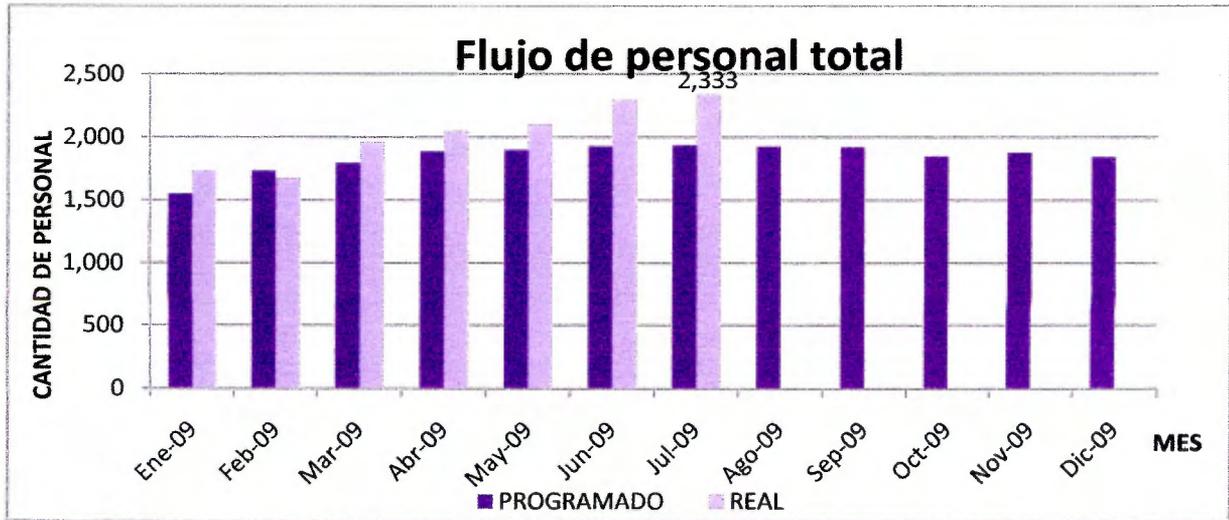


**Figura 45.** EDT del Proyecto Hidroeléctrico Pirris.

**Fuente:** III Congreso Centroamericano y del Caribe de Administración de Proyectos AP CON 2008.

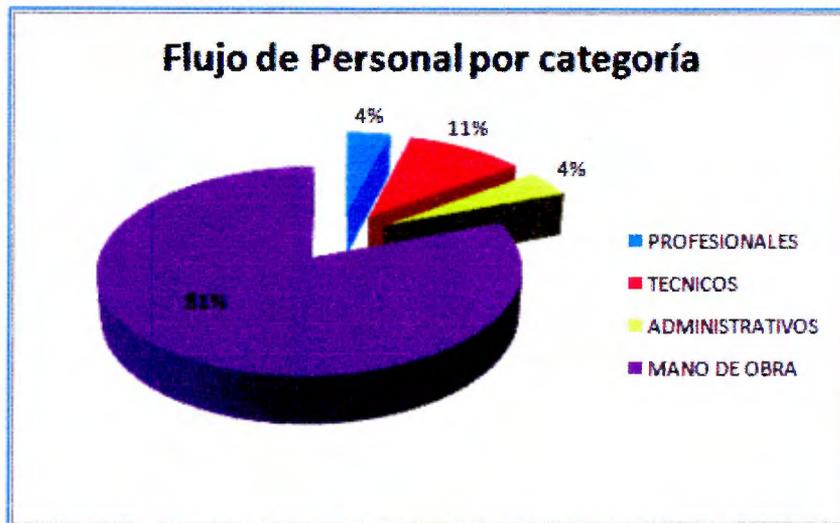
### 3.2.4 COMPOSICIÓN DEL RECURSO HUMANO

A la fecha el Proyecto Hidroeléctrico de Pirris cuenta con un total de 2333 empleados, los cuales se agrupan en profesionales, técnicos, administrativos y mano de obra. En el grafico de la Fig. 46 se muestra la distribución mensual de empleados desde enero del 2009 a la fecha y en la Fig. 47 se muestra la distribución porcentual de empleados por categoría.



**Figura 46.** Flujo personal total del P.H.Pirris.

*Fuente:* Informe P.H.Pirris al 21/07/09.



**Figura 47.** Flujo personal por categoría, P.H.Pirris.

*Fuente:* III Congreso Centroamericano y del Caribe de Administración de Proyectos AP CON 2008.

Es importante destacar que al ir ejecutando el proyecto se va presentando la necesidad de la contratación de mano de obra por lo tanto se ve la necesidad de nuevas contrataciones.

### 3.2.5 CRONOGRAMA DEL PROYECTO

El cronograma en el proyecto es de suma importancia pues provee la integración a lo largo del tiempo para coordinar los trabajos de todos los integrantes. Uno de los objetivos importantes para la elaboración del cronograma es el terminar el proyecto a tiempo o por lo menos la obtención de un flujo continuo de trabajo, con ayuda de un continuo control del cronograma y la actualización constante producida por los cambios y medidas correctivas. En el **anexo 6** se muestra el cronograma del proyecto.

### 3.2.6 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto del proyecto es el monto base autorizado para la realización del proyecto, contra el cual mediremos el desempeño de los costos incurridos en la realización del proyecto. Al igual que el cronograma es importante llevar un continuo control de costos, incluyendo la extras que se presentan por los cambios en el alcance del proyecto. A continuación se muestran los costos totales del proyecto.

**Tabla 4.** Presupuesto del proyecto.

<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS</b>	<b>COSTO TOTAL</b> miles de US\$
<b>Rubros de Inversión</b>	
1. COSTO DIRECTO CONSTRUCCION	
1.1 Obras Civiles	\$225,582,367
1.2 Terrenos	\$4,500,000
1.3 Caminos	\$16,125,223
1.4. Maquinaria, Equipo y Materiales	\$99,988,975
1.5. Programa Ambiental	\$6,550,160
<b>TOTAL COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>\$352,746,725</b>
2. IMPREVISTOS 8% S/COSTO DIRECTO	\$0
<b>SUB TOTAL INVERSION FIJA</b>	<b>\$352,746,725</b>
3. ESCALAMIENTO 7% S/INVERSIÓN FIJA	\$0
4. ADMINISTRACION, SUPERVISION Y ADMINISTRACION	
4.1. Ingeniería y Supervisión	\$3,322,000
4.2. Administración, Campamento y otros generales	\$44,031,275
5. INTERESES Y OTROS COSTOS FINANCIEROS	\$39,000,000
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>\$86,353,275</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$439,100,000</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Plan de Gestión del P.H.Pirris.*

### 3.2.7 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

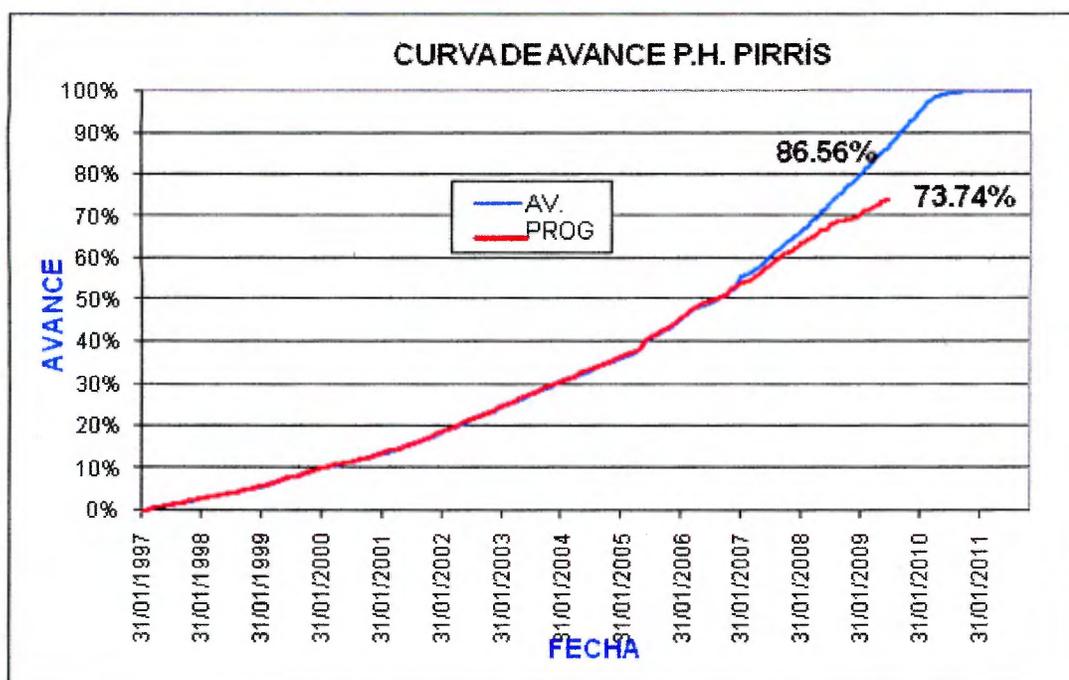
A continuación se presenta un desglose general del avance programado y el avance real de las actividades que conforman el proyecto.

**Tabla 5.** Avance real y programado de las principales actividades que conforman el proyecto.

ACTIVIDAD	AVANCE REAL (%)	AVANCE PROGRAMADO (%)
<b>PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRÍS</b>	<b>73,74</b>	<b>86,56</b>
<b>DISEÑO</b>	<b>97,6</b>	<b>99,8</b>
A FACILIDADES	100,0	100,0
B OBRAS DE DERIVACIÓN	100,0	100,0
C CONDUCCIÓN	100,0	100,0
D CASA DE MÁQUINAS	96,7	100,0
E SUBESTACIÓN	62,7	93,6
<b>PROCURA</b>	<b>99,2</b>	<b>99,8</b>
A ADQUISICIONES GENERALES DE MATERIALES Y EQUIPOS	100,0	99,3
B OBRAS DE DERIVACIÓN- ADQUISICIONES Y CONTRATOS	100,0	100,0
C CONDUCCIÓN-ADQUISICIONES Y CONTRATOS	100,0	100,0
D CASA DE MÁQUINAS-ADQUISICIONES Y CONTRATOS	97,69	99,4
E SUBESTACIÓN-ADQUISICIONES Y CONTRATOS	77,55	99,6
<b>EJECUCIÓN</b>	<b>53,58</b>	<b>68</b>
A FACILIDADES	90,74	92,1
B OBRAS DE DERIVACIÓN	44,49	81,3
C CONDUCCIÓN	64,70	75,4
D CASA DE MÁQUINAS	22,14	30,3
E SUBESTACIÓN	7,55	9,1
F FORMULACIÓN PLAN MANEJO DE CUENCA	49,47	51,9
G INFRAESTRUCTURA COMUNAL	66,03	78,0
H RUTA DE ACARREO	91,68	100,0
I PROGRAMA DE MITIGACIONES	58,21	23,3
J TRABAJOS FINALES	0,00	0,0

*Fuente: Planeamiento y control, P.H. Pirrís 2009.*

A continuación se muestra de forma gráfica la información anterior.



**Figura 48.** Curva de avance del P.H. Pirrís..

**Fuente:** Planeamiento y control, P.H. Pirrís 2009.

Como se observa en la gráfica anterior el proyecto presenta aproximadamente un 13% de atraso, esto provocado por los siguientes factores:

- ✓ A la hora de realizar la planificación del proyecto no se tomo en cuenta las condiciones climáticas y la topografía de la zona. Al ser el terreno muy irregular en el invierno se producen muchos estragos, provocando atrasos significativos en las obras, un ejemplo de esto fue los efectos causados por el Huracán Alma en el invierno pasado.
- ✓ La mayor parte del personal que se contrató para desarrollar el proyecto no cuenta la experiencia necesaria, además, a la hora de planificar las obras no se consideró el lapso de tiempo necesario para involucrar al personal sin especializar.
- ✓ Falta de capacitación en manejo de personal a nivel de técnicos y de encargados de cuadrillas de obras.

- ✓ Al ser un proyecto hidroeléctrico el porcentaje de incertidumbre es muy alto; son muchos los riesgos que se pueden llegar a presentar en su desarrollo, además todos los proyectos son diferentes y se hace difícil contar con un registro histórico de otros.

### 3.3 PROCEDIMIENTO DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS UTILIZADOS EN EL P.H.PIRRÍS

A nivel general se puede mencionar que con respecto a las herramientas utilizadas en el ICE para la planificación de proyectos existen dos procedimientos institucionales:

- ✓ **02.00.001.1999** Manual Técnico para el desarrollo de proyectos de obra pública.
- ✓ **20.00.001.2005** Procedimiento Administración de Proyectos.

Para poder llegar a desarrollar los Proyectos Hidroeléctricos el Instituto Costarricense de Electricidad trabaja con el **Procedimiento de Administración de Proyectos**.

Este procedimiento suministra una guía básica a los usuarios para la administración de proyectos, mediante el uso de plantillas, formatos y herramientas que faciliten la gestión en el ciclo de vida del proyecto: Iniciación, Planificación, Ejecución, Control y Cierre. Además, como aspecto importante se enfoca principalmente en las nueve áreas del conocimiento del PMI: Costos, Tiempo, Alcance, Integración, Recursos Humanos, Comunicación, Abastecimiento, Riesgo y Calidad incluyendo dos áreas más que son muy importantes, las cuales son la Seguridad Ocupacional y Gestión Ambiental.

#### 3.3.1 METODOLOGÍAS ACTUALES DE CONTROL DE ALCANCE

##### Inicio y planeamiento del alcance

El departamento encargado del inicio y planeamiento del alcance es Gestión del Sistema. Su función principal es la formulación del acta de constitución de las obras que se van a desarrollar en el P.H.Pirrís. Para ello se debe de tomar en cuenta:

- ✓ Descripción

- ✓ Problema o necesidad a resolver
- ✓ Objetivo estratégico
- ✓ Objetivo del proyecto
- ✓ Supuestos
- ✓ Restricciones
- ✓ Otros proyectos relacionados

El otro documento de importancia para el proyecto es el Plan de Gestión de cada obra, el cual es elaborado antes de la ejecución del proyecto o durante este por el encargado de la obra y el departamento de Gestión del Sistema, encargado de darle soporte técnico al encargado en la formulación y seguimiento al Plan de Gestión correspondiente. El Plan de Gestión incluye la siguiente información:

- ✓ Alcance
- ✓ Integración (CIC)
- ✓ Comunicaciones
- ✓ Recursos Humanos
- ✓ Gestión Ambiental
- ✓ Seguridad Ocupacional
- ✓ Riesgos (CIR)
- ✓ Tiempo y Costo

#### Control de alcance

El proceso de control es para asegurar que las actividades reales se ajusten a las actividades planificadas, basándose en los siguientes elementos:

- ✓ Establecer estándares de desempeño.
- ✓ Medir los resultados presentes.
- ✓ Comparar estos resultados con las normas establecidas.

- ✓ Tomar medidas correctivas cuando se detecten desviaciones.

En el P.H.Pirrís el departamento encargado del control del alcance es la Oficina Técnica que actualmente se ubica en el departamento de Construcción, cuya función es el llevar a cabo el control de planos y cantidades, además, el departamento de Gestión del Sistema trabaja en conjunto con este departamento para llevar un mejor registro de los planos de todas las obras.

### 3.3.2 METODOLOGÍAS ACTUALES DE CONTROL DE AVANCE

#### Planeamiento de avance de obra

El ente encargado del planeamiento del avance de obra es el departamento de Planeamiento y Control.

En este proceso se elaboró la planificación del proyecto en su totalidad, en la cual se tomó en cuenta todas los entregables que forman parte de éste, luego se elaboraron los planes de trabajo para cada uno utilizando el programa MS Project 2007, identificando primero las actividades que tienen mayor importancia en la obra (hasta el nivel 4 de la EDT), seguidamente un análisis para estimar los recursos necesarios a utilizar (equipo y maquinaria), una valoración inicial del riesgo y de las compras más complejas y finalmente se asignan los plazos previstos para cada actividad.

Esta información es entregada a cada encargado de obra, el cual es el encargado de analizar la información y agregar actividades importantes que fueron dejadas por fuera para así lograr un adecuado seguimiento de la obra.

Además del programa anterior, se utilizó el programa Excel 2007, para poder llevar los porcentajes de avance planificado de las actividades de cada obra.

#### Control de avance de obra

En el proyecto se lleva un control del avance de obra por medio de la información suministrada por los inspectores coordinadores, éstos son los encargados de llevar un control del avance diario de cada obra, esta información es reportada bisemanalmente

al departamento de costos, el cual se encarga de registrarla y transmitirla al departamento de Planeamiento y Control para que realice un análisis de la misma, así obtener las tendencias bisemanales y pueda dar recomendaciones si se presentara algún atraso o adelanto y a la Oficina Técnica para que se encargue de dar el seguimiento respectivo a cada obra, lo cual se logra realizando una comparación entre la curva de avance planificado versus la curva de avance real.

La desventaja de esta metodología es que muchas veces no se llegan a analizar actividades que presentan una relación directa con la obra, esto provoca que no se logre el adecuado control y seguimiento de la obra porque el análisis va a mostrar resultados erróneos.

### 3.3.3 METODOLOGÍAS ACTUALES DE CONTROL DE COSTOS

#### Planeamiento de costos

Los pasos a seguir para este proceso son los siguientes:

Se debe de tomar en cuenta la información proveniente de la EDT del proyecto, los planos constructivos, especificaciones técnicas, informes, plazos de ejecución y servicios generales, luego se le asignan las cantidades a cada actividad del proyecto, y los recursos correspondientes a cada una (mano de obra, maquinaria, materiales, equipo menor, costos indirectos) y finalmente se realizan los cálculos para determinar el costo de cada actividad y el costo total de la obra.

#### Control de costos

En el P.H.Pirris se trabaja bajo un esquema tradicional de costos, que consiste en que si se controla cada uno de los insumos por separado (utilizando un método diferente para cada insumo), se controlará los costos del proyecto como un todo.

En este proceso se realizan las órdenes de costeo por actividad tanto en cuenta contable (registro institucional) como en el SIPP o Sistema de Información Para Proyectos (software empleado en los Proyectos Hidroeléctricos desarrollado por la Organización de Proyectos de la UEN PySA), por medio de la captura de información

de costos (mano de obra, materiales, maquinaria y equipo menor) suministrada por el departamento de Planeamiento y Control y por último el departamento de Contabilidad de encarga de analizar e integrar dicha información.

A continuación se muestra la forma en la cual se captura la información de algunos costos del proyecto.

Para los costos de mano de obra el departamento de costos digita las planillas de los trabajadores del proyecto en el SIPP y seguidamente el sistema calcula automáticamente los cargos sociales de este rubro.

Existen dos formas de realizar los costos para los materiales:

- ✓ Se cargan los costos en la cuenta de la actividad en la cual se van a utilizar.
- ✓ Se cargan los costos directamente a la cuenta del departamento que los va a utilizar.

Para costos de maquinaria y equipo menor existe dos formas de procesar la información:

- ✓ ICE: los costos son cargados automáticamente según la tarifa.
- ✓ Alquilados: los trámites de pago se realizan directamente en el SIPP.

### 3.3.4 METODOLOGIAS ACTUALES DE CONTROL DE CALIDAD

El departamento encargado es el de Control de Calidad. Este ente está dividido en varios frentes los cuales interactúan de forma paralela para lograr así los objetivos propuestos, los cuales son: estratégico, laboratorio, obras y control de calidad de proveedores. A continuación se desarrolla los procesos llevados a cabo por este departamento:

#### Planeamiento de calidad

- ✓ Estratégico: Recibe, revisa y distribuye información del Proyecto

- ✓ Obras: Estudia la información de los componentes civiles, electromecánicos y metalmecánicos del proyecto.
- ✓ Laboratorio: Brinda las características de los ensayos a realizar
- ✓ Control de calidad de proveedores: Brinda la información de los trámites de compras por parte de usuarios

#### Ejecución de calidad

- ✓ Estratégico: Se encarga de la supervisión y aprobación de los procedimientos internos
- ✓ Obras: Realizan los laboratorios in situ, supervisa el uso de equipos y materiales y que los procedimientos a seguir por los trabajadores sean los correctos.
- ✓ Laboratorio: Se realiza el estudio de la normativa a utilizar y el diseño del laboratorio, así como los procedimientos que deben de seguir los trabajadores de este departamento a la hora de realizar una inspección.
- ✓ Control de calidad de proveedores: Brinda las especificaciones relacionadas con las compras definidas

#### Control de calidad

- ✓ Estratégico: Da seguimiento a los procesos de aprobación y rechazo, además de brindar recomendaciones en función del diseño realizado por el departamento de Ingeniería.
- ✓ Obras: Evalúa criterios de aceptación, da la aprobación, mediante un reporte al encargado en todas las etapas de las obras.
- ✓ Laboratorio: Ejecuta los ensayos
- ✓ Control de calidad de proveedores: Solicita pruebas/ensayos, reporta los resultados.

### 3.3.5 PROCEDIMIENTOS INSTITUCIONALES

En la actualidad el P.H.Pirrís cuenta con una variedad de documentos institucionales los cuales son utilizados para llevar un adecuado control en todos los departamentos así como en la obra. Estos son:

- ✓ Procedimiento de Revisión por la Dirección
- ✓ Ley de Control Interno
- ✓ Adaptación al PH Pirrís:
- ✓ Revisión por la Dirección: Avance Físico y de Coordinación
- ✓ Plan de Gestión del Proyecto
- ✓ Identificación y valoración de riesgo
- ✓ Sistema de control de cambios (A y C)
- ✓ Lecciones aprendidas

En las tablas siguientes se muestra cantidad de métodos de trabajo y planes de calidad que se desarrollan en la actualidad por departamento.

**Tabla 6.** Cantidad de métodos de trabajo en el proyecto

<b>ÁREA</b>	<b>CANTIDAD</b>
<i>Construcción</i>	9
<i>Ingeniería</i>	3
<i>Setec</i>	6
<i>Gestión Ambiental</i>	5
<i>Seguridad Ocupacional</i>	1
<i>Administración</i>	5
<i>Control de Calidad</i>	19
<i>Gestión del Sistema</i>	3
<i>USAM</i>	8
<i>Planeamiento y Control</i>	3
<b>TOTAL</b>	<b>62</b>

**Fuente:** III Congreso Centroamericano y del Caribe de Administración de Proyectos AP CON 2008.

**Tabla 7.** Cantidad de planes de calidad en el proyecto

<b>ÁREA</b>	<b>CANTIDAD</b>
Construcción	11
Setec	11
Gestión Ambiental	1
Administración	8
Control de Calidad	1
USAM	5
Planeamiento y Control	3
Topografía	1
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>

*Fuente:* III Congreso Centroamericano y del Caribe de Administración de Proyectos AP CON 2008.

El departamento encargado de dar un correcto seguimiento a todos estos procesos institucionales es Gestión del Sistema, éste establece un cronograma para poder revisar los manuales que se están ejecutando en cada área y el porcentaje ejecutado de cada uno. Además, revisa los requerimientos necesarios para implementar sus actividades.

Aunque la gran mayoría de los procedimientos están definidos y son medibles en acciones concretas, es importante revisar los aspectos que presentan deficiencias, así como establecer métodos para las acciones que son no medibles.

## CAPÍTULO 4: REVISIÓN Y VALIDACIÓN DEL PLAN DEL PROYECTO

### 4.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

La construcción de un túnel consta de tres etapas importantes, las cuales son directamente dependientes; la excavación, el revestimiento y la inyección.

En este trabajo se realizará el análisis de Valor Ganado a la etapa de revestimiento. El proceso de revestimiento consiste en dar un acabado al túnel el cual permite que el agua viaje a través de él con la menor cantidad de pérdidas posibles. El acabado final puede ser en concreto, en acero o roca desnuda, según las condiciones del terreno así lo requieran.

El revestimiento del Túnel Pirrís se divide en varios tramos y acabados tal y como se detalla a continuación;

**Tabla 8.** Detalles de los diferentes tramos del túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís.

Tramo	Estación inicial	Estación Final	Tipo y Diámetro
1	0+000	0+018	Blindaje, 3.4 m.
2	0+018	1+150	Concreto, 3.9 m.
3	1+150	1+275	Blindaje, 3.4 m.
4	1+275	1+700	Concreto, 3.9 m.
5	1+700	3+100	Losa y paredes roca desnuda
6	3+100	3+200	Concreto, 3.9 m.
7	3+200	3+580	Blindaje, 3.4 m.
8	3+580	4+500	Concreto, 3.9 m.
9	4+500	8+000	Concreto, 3.9 m.
<b>10</b>	<b>8+000</b>	<b>8+850</b>	<b>Concreto, 3.9 m.</b>
11	8+850	9+000	Blindaje, 3.4 m.

*Fuente:* Plan de Gestión de Proyecto Revestimiento del Túnel estaciones 0+000 a 9+000, P.H. Pirrís.

El tramo al cual se le realizará el estudio es el que se muestra en la tabla anterior con el número 10.

El proceso de revestimiento se divide en varias etapas: en primera instancia se procede a la limpieza de piso y paredes con el objetivo de garantizar una adecuada adherencia entre el concreto y el terreno, posteriormente se realiza el manejo de aguas infiltradas, luego se coloca acero de refuerzo en las zonas que lo requieren, seguido se procede a colocar la formaleta o los tubos de acero según el tramo y se procede con la colocación del concreto, finalmente luego de que el tiempo de fragua se cumple se quita la formaleta y se le da el tratamiento de cura en los tramos de acabado de concreto.

El tramo al cual se le realizara el análisis de Valor Ganado es el que se presenta en la tabla anterior con el número diez.

#### 4.2 ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE TRABAJO (WBS)

En el **anexo 7** se muestra los principales entregables de la etapa de revestimiento del túnel de la estación 8+850 a la 8+000. Como se puede observar este tramo del túnel está dividido en 5 entregables los cuales son: seguimiento de diseños, seguimiento de control de calidad, seguimiento constructivo, seguimiento ambiental y cierre de la obra. Como se logra observar en el anexo la actividad seguimiento constructivo es el entregable que abarca la mayor parte de las tareas del proyecto por lo tanto no hay que restarle importancia, sin embargo, se debe de tener presente que sin la interacción de los demás entregables este no se puede llegar a desarrollar.

#### 4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS INVOLUCRADOS

El proyecto tiene el siguiente inventario de involucrados, a diferentes niveles:

### Identificación de involucrados

**NOMBRE DEL PROYECTO:** Revestimiento

**DIRECTOR DEL PROYECTO:** Ing. Minor Novo Bolaños

**PATROCINADOR:** Ing. Eduardo Mora Bermúdez

Nombre	Organización y dependencia	Clasificación	Función en el proyecto	Criterio de éxito de la persona
Ing. Eduardo Mora Bermúdez	P.H. Pirris. Área Construcción.	I y P	Patrocinador y Cliente	Alto
Ing. Marlon Jimenez Jimenez	P.H. Pirris. Área Ingeniería	I y P	Diseño Geotecnico	Alto
Ing. Karel Soto Solorzano	P.H. Pirris. Área Gestión Ambiental	Principal	Gestión Ambiental	Alto
Biol. Jorge Rosales Blandino	P.H. Pirris. Área Gestión Ambiental	Principal	Gestión Ambiental	Alto
Ing. Minor Novo Bolaños	P.H. Pirris. Área Construcción.	Principal	Director de Proyecto	Alto
Ing. Juan Carlos Jimenez Ríos	P.H. Pirris. Área Construcción.	Principal	Ruta de Acarreo	Alto
Ing. Randall Bonilla Alfaro	P.H. Pirris. Área Control de Calidad	Principal	Control de Calidad	Alto
Ing. Hugo Salazar Arias	P.H. Pirris. Área Diseño PySA	Principal	Diseño Estructural	Alto
Geol. Carlos Chavez Barrantes	P.H. Pirris. Área Ingeniería	Principal	Diseño de Inyección	Alto
Ing. Alvaro Bolaños Ramírez	P.H. Pirris. Área Construcción.	Principal	Servicios Técnicos	Alto
Ing. Graivin Rodríguez Rojas	P.H. Pirris. Área Construcción.	Principal	Servicios Técnicos	Alto
Bach. Arianna López Gonzalez	P.H. Pirris. Área Seguridad Ocupacional	Principal	Seguridad Ocupacional	Alto
Ing. Ivan Gazel Alvarado	P.H. Pirris. Área Diseño PySA	Principal	Diseño Hidraulico	Alto
Ing. Wagner Flores Siles	P.H. Pirris. Área de Planeamiento y Control	Principal	Planeamiento y Control	Alto
Lic. Alvaro Castillo Quesada	P.H. Pirris. Área Administración	Principal	Administración	Alto
Ing. Oscar Luis Vega Antonini	Dirección de Proyecto Pirris	Principal	Director de Proyecto Pirris	Alto

**Figura 49.** Clasificación de involucrados en el proyecto de revestimiento.

**Fuente:** Plan de Gestión de Proyecto Revestimiento del Túnel estaciones 0+000 a 9+000, P.H. Pirris.

## 4.4 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

### 4.4.1 ORGANIGRAMA

Para poder llevar a cabo el proyecto, este requiere de una organización, con los siguientes componentes:

Todos los grupos de trabajo serán integrados por un ingeniero encargado y un técnico, además internamente se ejecutaran las distintas tareas con tres cuadrillas de trabajo por turno de 12 horas. Cada turno de trabajo contará con un supervisor, y cada cuadrilla con un encargado o capataz, tuneleros, auxiliares de tuneleros, artesanos, perforadores y peones. Además se contará con una cuadrilla de mantenimiento que se encargará de suministrar los materiales y un grupo de personal de apoyo como mecánicos,

electricistas, inspectores de costos y control de calidad, operadores de equipo o maquinaria, prevencionista y dispensarista.

A continuación se hará una breve explicación de las labores que tiene que realizar cada involucrado.

Coordinación:

Responsable de planificar, ejecutar y controlar el proceso de revestimiento

Técnico Revestimiento:

Será el que dirige el proceso de revestimiento en el túnel, esta persona tendrá la responsabilidad de verificar que las disposiciones que el equipo de proyecto determine sean ejecutadas a cabalidad.

Supervisores Revestimiento:

Estas personas serán las encargadas de distribuir el personal y verificar de que cada de los ciclos de revestimiento se lleven a cabo en el tiempo establecido y cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad establecidos.

Cuadrilla N° 1:

Será el personal que ejecuta en el campo el proceso de doblado y colocación de acero de refuerzo. Laborarán en jornadas de 12 horas, una bisemana de 06:00 a 18 :00 y la siguiente de 18:00 a 06:00.

Cuadrilla N° 2:

Será el personal que ejecuta en el campo el proceso de colocación y vibrado del concreto de relleno del espacio vacío entre la formaleta y la roca circundante. Laborarán en jornadas de 12 horas, una bisemana de 18:00 a 06:00 y la siguiente de 06:00 a 18:00.

Cuadrilla N° 3:

Será el personal que ejecuta en el campo el proceso de movilización de las conchas de la formaleta. Laborarán en jornadas de 12 horas, una bisemana de 18:00 a 06:00 y la siguiente de 06:00 a 18:00.

### Cuadrilla Patio:

Será el personal que debe garantizar el suministro de materiales al túnel para ejecutar las diferentes actividades que comprende el proceso de revestimiento.

#### 4.4.2 ROLES Y RESPONSABILIDADES

Con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados, se establecen los siguientes roles y responsabilidades dentro del equipo del proyecto:



*Figura 50. Matriz de roles y responsabilidades en la etapa de revestimiento.*

*Fuente: Plan de Gestión de Proyecto Revestimiento del Túnel estaciones 8+850 a 8+000, P.H. Pirrís.*

### Coordinador del Proyecto

Será el coordinador del equipo de proyecto, además será la persona que asumirá la responsabilidad del éxito del proyecto. Para el revestimiento del Túnel Pirrís, el coordinador del proyecto será el profesional a cargo del proceso constructivo.

Entre sus labores estarán:

- ✓ Convocar y coordinar a las reuniones de planeamiento del revestimiento.
- ✓ Elaborar el presupuesto detallado del revestimiento y definir el ciclo constructivo que se utilizará, posteriormente se discutirá con el equipo de proyecto para oficializar el ciclo constructivo.
- ✓ Definir las necesidades de suministros y verificar que el proceso de adquisiciones esté de acuerdo a las fechas planeadas.
- ✓ Garantizar que cada miembro del equipo de proyecto cumpla con su rol dentro del mismo.
- ✓ Coordinar con los encargados del túnel el procedimiento constructivo que se aplicará y deberá garantizar la calidad del producto final.
- ✓ Garantizar el suministro de equipo y materiales necesarios para la etapa constructiva del revestimiento.

### Equipo del Proyecto

El equipo de proyecto está compuesto por personal estratégico de las diferentes dependencias que darán soporte técnico y logístico durante los distintos procesos.

- ✓ Las funciones del equipo de proyecto serán:
- ✓ Asistir a las reuniones convocadas por el coordinador.
- ✓ Tomar las decisiones de todos aspectos relacionados con el proceso de revestimiento.
- ✓ Aportar su conocimiento según su especialidad, para resolver algún problema o situación que se presente.

### Técnicos en Revestimientos

Será un técnico con amplia experiencia en la construcción de túneles y que ha participado en muchos procesos de revestimiento en proyectos anteriores.

Entre sus funciones estarán:

- ✓ Seleccionar y organizar al personal en las diferentes cuadrillas de trabajo.
- ✓ Será el responsable de que las indicaciones dadas por el ingeniero responsable de la obra sean llevadas a cabo según lo acordado.
- ✓ Aportará su experiencia y ayudará al encargado de la obra a planificar el ciclo de trabajo, la duración del proceso y el equipo idóneo requerido durante el revestimiento.

#### Técnico en Inyección

Será un técnico con amplia experiencia en procesos de inyección y que haya participado en este tipo de procesos en proyectos anteriores.

Sus funciones serán similares a las del Técnico en Revestimientos.

#### Técnico en Obras Externas

Será un técnico con amplia experiencia en procesos de estabilización de taludes, excavación, perforación e inyección de pernos, construcción de aceras, movimientos de tierra entre otros. Esto enfocado en el fiel cumplimiento de compromisos adquiridos por el proyecto hacia la ruta utilizada para satisfacer las necesidades de las obras.

#### Supervisor de procesos

Será personal designado por los técnicos respectivos para que supervisen los trabajos que se deben realizar. Ellos son los responsables de que en el campo se lleven a cabo las indicaciones dadas por el técnico.

Serán los encargados de supervisar los trabajos que realizan las cuadrillas asignadas, él debe responder ante el técnico y el ingeniero encargado si algún proceso no se lleva a cabo según lo planeado.

#### Cuadrilla de proceso

El personal que compone cada una de las cuadrillas de distintos procesos ejecuta las actividades necesarias para lograr los objetivos.

Estas cuadrillas contarán con un encargado de cuadrilla el cual deberá distribuir el personal en cada una de las actividades a realizar.

**Cuadrilla patio**

El personal que compone esta cuadrilla será el encargado de suministrar los insumos que se requieren para llevar a cabo los distintos procesos.

Esta cuadrilla contará con un encargado de cuadrilla que será el responsable de que en las actividades no haga falta ningún insumo.

**4.5 CRONOGRAMA**

En la siguiente figura se muestra el cronograma del revestimiento del tramo del túnel en estudio, del cual se extraen como actividades principales la colocación del acero y la colocación del concreto.



**Figura 51.** Fecha de inicio y fin del proyecto

*Fuente: Programa oficial P.H. Pirrís.*

**4.6 COSTO DEL PROYECTO**

En las tablas adjuntas se muestra el desglose del presupuesto para el revestimiento del Túnel Pirrís del tramo que se extiende de la estación 8+850 a la 8+000. Se muestra el detalle de gastos para materiales, mano de obra, maquinaria y transporte, equipo, combustibles y herramientas para la colocación del acero y del concreto.

**Tabla 9.** Costos totales del revestimiento y acero del primer tramo túnel.

Item	Costo Total
Mano de obra	\$ 355.052,87
Materiales	\$ 214.578,56
Herramientas	\$ 8.039,70
Producción de concreto	\$ 839.223,60
Maquinaria	\$ 166.486,90
Equipo menor	\$ 183.402,36
Servicios talleres	\$ 94.370,51
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.861.154,50</b>

*Fuente:* Costos unitarios ajustados, P.H. Pirrís.

A continuación se muestra el costo total del revestimiento del tramo del túnel que se extiende de la estación 8+850 a la 8+000.

**Tabla 10.** Costo presupuestado al final del proyecto (BAC).

Item	Unidad	Cantidad	Monto USD\$
Concreto RN 210 para diámetro de 3.0m	m <sup>3</sup>	7.495	\$ 1.447.025
Colocación de acero	Kg	221.652	\$ 414.130
<b>TOTAL (BAC)</b>			<b>\$ 1.861.154</b>

*Fuente:* Ejecución propia.

#### 4.7 COMUNICACIÓN EN EL PROYECTO

Describe el esquema en el cual se soporta la comunicación del proyecto. Para que el proyecto funcione correctamente la comunicación debe ser eficaz y eficiente, además se debe seleccionar el medio o canal adecuado para cada situación.

Todos los miembros del equipo de trabajo deben tener claro cuáles son los requerimientos de información del proyecto y cuál sería su rol en el esquema propuesto.

## Comunicación del proyecto

NOMBRE DEL PROYECTO:	Revestimiento de Túnel estaciones 0+000 a 9+000
DIRECTOR DEL PROYECTO:	Ing. Minor Novo Bolaños
PATROCINADOR:	Ing. Eduardo Mora Bermudez

Involucrados (solicitante)	Tipo de información solicitada	Responsable de generar la información	Periodo de tiempo	Canal de información	utilizar la técnica	Retroalimentar a la fuente con
Ing. Minor Novo Bolaños	Mensual	Ing. Alvaro Bolanos	Mensual	Horizontal	reunion	Actualizacion del seguimiento dado al proceso de ventilacion
Ing. Eduardo Mora Bermudez	informe mensual	Ing. Minor Novo B	Mensual	Horizontal	plantilla con informe	Actualizacion del avance
Ing. Minor Novo Bolaños	informe mensual	Ing. Randall Bonilla A.	Mensual	Horizontal	plantilla con informe	Resultados del proceso
Ing. Minor Novo Bolaños	informe mensual	Ing. Jesus Bertozzi	Mensual	Horizontal	plantilla con informe	Seguimiento de relacion con el Contratista que ejecuta actividades ahuas abajo de la 9+000
Ing. Minor Novo Bolaños	informe mensual	Ing. Cesar Zamora	Mensual	Horizontal	plantilla con informe	resultados del proceso de produccion de concretos
Ing. Minor Novo Bolaños	informe mensual	Ing. Juan Carlos Jimenez	Mensual	Horizontal	plantilla con informe	Seguimiento de cumplimiento y nuevas solicitudes de comunidades aledanas a la ruta utilizada en este proceso
Ing. Minor Novo Bolaños	informe mensual	Ing. Greivin Rodriguez	Mensual	Horizontal	plantilla con informe	concepto de minimos en las maquinas alquiladas
Ing. Minor Novo Bolaños	informe mensual	Ing. Greivin Rodriguez	Mensual	Horizontal	plantilla con informe	Negociaciones y solicitudes con Contratistas de maquinaria utilizadas en el proceso
Ing. Eduardo Mora Bermudez	solicitudes de cambio	Ing. Minor Novo B	A solicitud	Horizontal	reunión	Resultados del proceso

**Figura 52.** Matriz de comunicación del revestimiento del túnel.

**Fuente:** Plan de Gestión de Proyecto Revestimiento del Túnel estaciones 0+000 a 9+000, P.H. Pirrís.

## 4.8 ADMINISTRACION DE LA CALIDAD

Para lograr el objetivo de este proyecto se cuenta con el PIR-PR-34 "Plan de Realización del Servicio de Control de Calidad".

Además, para el proceso constructivo, se seguirán las especificaciones de diseño dadas en los planos constructivos con los siguientes códigos: **148-7-533, 148-7-718, 148-7-719, 148-7-720, 148-7-721, 148-7-722, 148-7-723, 148-7-724, 148-7-725, 148-7-726, 148-7-727, 148-7-728, 148-7-729, 148-7-730, 148-7-731, PHP-16-7-131, PHP-16-7-132, PHP-16-7-133, PHP-16-7-144, PHP-16-7-145, PHP-16-7-146.**

La calidad del producto será verificada por el área de Control de Calidad, el cual verificará las resistencias del concreto, limpieza del terreno, acabados del concreto,

entre otros. Al finalizar el proceso, se nombrará una comisión verificadora nombrada por el proyecto, que inspeccionará el túnel y dará el visto bueno y la aprobación del producto por parte del proyecto.

#### 4.9 HERRAMIENTAS DE CONTROL DEL PROYECTO

Las herramientas de control de que dispondrá el proyecto son las siguientes:

##### Informes de Avance

El Coordinador del Proyecto deberá de elaborar un informe de avance del estado del proyecto, el cual deberá ser entregado a la Jefatura inmediata.

##### Minutas o Actas de Reunión

En la medida de lo posible, cada reunión o sesión de trabajo formal que se lleve a cabo con relación al proyecto y sus actividades deberá generar una minuta, la cual deberá ser aprobada en la siguiente sesión y distribuida a todos los interesados.

##### Auditorias Técnicas

El área de Gestión del Sistema realizará auditorias técnicas para verificar todo lo descrito en este plan de gestión. De igual manera, realizará seguimientos durante el transcurso de ejecución y finalización de la obra.

##### Procedimiento de Control de Cambios

Define el enfoque a utilizar para administrar cualquier cambio en el alcance del proyecto, en la línea de tiempo o cronograma, en el presupuesto o recursos que por su impacto en el proyecto, debe ser aprobada por un nivel ejecutivo, de forma previa a ser incorporado en el Plan de Proyecto.

Cualquier modificación al presente plan de proyecto deberá ser aprobado por el equipo del proyecto, y del Director del Proyecto, conteniendo la justificación y las implicaciones de la misma.

Para el control de cambios se debe utilizar el método **PIR-GS-04** "Método para el control de cambios en los entregables del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís".

## CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VALOR GANADO

### 5.1 PASO 1: ESTABLECER LA LÍNEA DE DESEMPEÑO DE LÍNEA BASE

Para poder realizar un correcto análisis del Valor Ganado lo primero es establecer la medida de desempeño de línea base, para lograrlo se debió definir el alcance del proyecto. En este caso, se realizó el análisis en el revestimiento del primer tramo del túnel de conducción del P.H.Pirris que se extiende de la estación 8+850 a la 8+000. Este tramo consiste en una sección de 850m de longitud con un diámetro de 3m.

Además es importante determinar todas las actividades que son requeridas para producir el proyecto final, que en este caso las más importantes son:

- ✓ La colocación del concreto que se estimó una cantidad de 7.495 m<sup>3</sup> de concreto.
- ✓ La colocación del acero de refuerzo que se estimó un total de 221.652 kg de acero.

En la tabla siguiente se muestra la distribución de acero planificada para este tramo.

**Tabla 11.** Distribución del acero de refuerzo.

<b>Colocación de acero</b>			
<b>Cantidad</b>		<b>Peso</b>	<b>Total (kg)</b>
5667	varillas (#8/6m)	23,91 kg/varilla	135.498
650	varillas (#8/6m)	23,91 kg/varilla	15.542
2625	varillas (#6/12 m)	26,9 kg/varilla	70.613
		<b>TOTAL</b>	<b>221.652</b>

*Fuente: Planeamiento y control, P.H. Pirris.*

Seguidamente, se procedió a programar las actividades en el tiempo, esto con ayuda del programa de la construcción del túnel del P.H.Pirris. En este caso no se tuvo la duración de cada actividad por separado sino que la planificación que se obtuvo es para ambas actividades. La colocación del revestimiento se programó para iniciar el jueves 17 de julio del 2008 y terminar el día viernes 03 de octubre del 2008 teniendo una duración 57 días laborales. En la **tabla 12** se muestra el porcentaje de avance bisemanal planificado para este proyecto.

**Tabla 12. Porcentaje de avance programado.**

<b>Porcentaje de avance</b>											
<b>Fecha</b>	<b>28/07/08</b>	<b>11/08/08</b>	<b>25/08/08</b>	<b>08/09/08</b>	<b>22/09/08</b>	<b>06/10/08</b>	<b>20/10/08</b>	<b>03/11/08</b>	<b>17/11/08</b>	<b>01/12/08</b>	<b>15/12/08</b>
<b>% avance planificado</b>	13,78	31,67	49,55	67,43	85,31	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

*Fuente: Planeamiento y control, P.H. Pirrís.*

Luego se procedió con la asignación de recursos de las actividades que han sido programadas. En las siguientes tablas se presentan los costos totales desglosados de cada entregable.

**Tabla 13. Costos totales programados de la colocación del acero.**

<b>Item</b>	<b>Costo Total</b>
Mano de obra	\$ 106.108,30
Materiales	\$ 184.246,23
Herramientas	\$ 2.402,68
Maquinaria	\$ 63.718,67
Equipo menor	\$ 34.903,70
Servicios talleres	\$ 22.750,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 414.129,57</b>

*Fuente: Costos Unitarios ajustados, P.H. Pirrís.*

**Tabla 14. Costos totales programados de la colocación del concreto.**

<b>Item</b>	<b>Costo Total</b>
Mano de obra	\$ 248.944,58
Materiales	\$ 30.332,33
Herramientas	\$ 5.637,02
Producción de concreto	\$ 839.223,60
Maquinaria	\$ 102.768,23
Equipo menor	\$ 148.498,66
Servicios talleres	\$ 71.620,51
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.447.024,92</b>

*Fuente: Costos Unitarios ajustados, P.H. Pirrís.*

Después de estimar los costos para cada tarea se procede a obtener el costo total del proyecto, en la **tabla 15** se muestra los costos totales programados para las actividades del revestimiento del túnel.

**Tabla 15.** Costos programados bisemanales.

<b>Costos programados</b>						
<b>Fecha</b>	<b>28/07/08</b>	<b>11/08/08</b>	<b>25/08/08</b>	<b>8/09/08</b>	<b>22/09/08</b>	<b>6/10/08</b>
<b>Concreto</b>	\$ 199.457	\$ 458.212	\$ 716.967	\$ 975.721	\$ 1.234.476	\$ 1.447.025
<b>Colocación del acero</b>	\$ 57.083	\$ 131.137	\$ 205.191	\$ 279.245	\$ 353.299	\$ 414.130
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 256.540</b>	<b>\$ 589.349</b>	<b>\$ 922.158</b>	<b>\$ 1.254.967</b>	<b>\$ 1.587.776</b>	<b>\$ 1.861.154</b>

*Fuente: Planeamiento y control, P.H. Pirrís*

Además en la siguiente tabla se muestra un resumen del costo final de cada actividad.

**Tabla 16.** Costo presupuestado al final del proyecto.

<b>Item</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Monto USD\$</b>
Concreto RN 210 para diámetro de 3.0m	m <sup>3</sup>	7.495	\$ 1.447.025
Colocación de acero	Kg	221.652	\$ 414.130
<b>TOTAL (BAC)</b>			<b>\$ 1.861.154</b>

*Fuente: Planeamiento y control, P.H. Pirrís.*

## 5.2 PASO 2: ACTUALIZAR EL CRONOGRAMA REPORTANDO EL PROGRESO DE LAS ACTIVIDADES

El paso a seguir es la revisión de las fechas de inicio y fin de cada actividad, esta información se obtuvo de los registros de seguimiento de cronograma que maneja el departamento de Planeamiento y Control, así como el avance real de obra. Además se obtuvo los costos reales de cada una de las actividades involucradas (**ver tabla 17**), información obtenida de los informes bisemanales de costos generados por el mismo departamento.

**Tabla 17. Costos reales bisemanales.**

Costos Reales											
FECHA	28/07/08	11/08/08	25/08/08	8/09/08	22/09/08	6/10/08	20/10/08	3/11/08	17/11/08	1/12/08	15/12/08
Concreto (\$)	454.095	313.235	605.301	715.407	801.823	970.123	1.173.153	1.376.182	1.679.251	2.263.660	2.286.525
Colocación del acero (\$)	71.870	353.583	117.810	130.645	138.433	168.333	245.433	322.533	340.764	459.356	463.996
TOTAL (\$)	525.965	666.818	723.111	846.052	940.256	1.138.456	1.418.586	1.698.715	2.020.015	2.723.016	2.750.521

*Fuente: Planeamiento y control, P.H. Pirrís*

Es importante tomar en cuenta la fecha en la cual se realizó el análisis del Valor Ganado, la cual se llevo a cabo el día 06 de octubre del 2008, tomando en cuenta que según lo planificado el tramo del revestimiento debió de estar finalizado, situación que no logró, como se observa en la siguiente tabla, apenas se llevaba un 39,56% de avance real. También se realizó el análisis para las fechas anteriores a la misma, pero los resultados arrojados no son muy satisfactorios, porque nos dicen que es casi imposible recuperar el proyecto (**ver plantilla de análisis anexa**).

**Tabla 18. Porcentajes de avance en obra.**

Porcentajes de avance											
Fecha	28/07/08	11/08/08	25/08/08	08/09/08	22/09/08	06/10/08	20/10/08	03/11/08	17/11/08	01/12/08	15/12/08
% avance planificado	13,78	31,67	49,55	67,43	85,31	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
% avance real	7,70	15,56	24,00	28,26	31,09	39,56					

*Fuente: Planeamiento y control, P.H. Pirrís*

### 5.3 PASO 3. REALIZAR EL CÁLCULO DE VALOR GANADO

Actualmente en el P.H.Pirrís se realiza un análisis separado tanto de costos como de tiempo por lo que impide al *Director del proyecto* saber ¿qué tan avanzado se está en el

proyecto?, ¿cuánto trabajo falta por hacer? y ¿cuál es el coste estimado y la fecha probable de término? Sin embargo, para poder cumplir a cabalidad con los objetivos es importante destinar tiempo a estos aspectos para lograr llevar un control y seguimiento más detallado; esto se logra incluyendo las órdenes de cambio que se van presentando con el desarrollo del mismo e implementando la reprogramación del programa como herramienta de trabajo.

Por lo tanto, este trabajo realizó un análisis del Valor Ganado para lo cual se implementó dos tipos de variantes diferentes:

- ✓ Análisis de Valor Ganado con reprogramación del cronograma de trabajo
- ✓ Análisis de Valor Ganado con inclusión de órdenes de cambio (extras).

Esto con el fin de obtener un resultado tangible al utilizar estos dos factores en el control y seguimiento de los proyectos y así poder comenzar a implementarlos en los Proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el ICE.

Seguidamente, se procedió a realiza el cálculo de los indicadores con las fórmulas que se muestran en el capítulo 2, para así obtener el reporte de desempeño de este proyecto.

#### 5.4 PASO 4 GENERAR EL REPORTE DE DESEMPEÑO Y ANALIZAR LOS DATOS

Se desarrolló el reporte de desempeño, basado en una tabla donde se incluye el cálculo de las variables que interactúan en el análisis del Valor Ganado como lo son los índices de rendimiento, las proyecciones y desviaciones programadas en el tiempo; en este caso se realizó un análisis bisemanal, en conjunto con su debida interpretación (análisis) de resultados.

En la **tabla 19** se muestra el reporte de desempeño del tramo en estudio.

**Tabla 19.** Reporte de desempeño antes de la reprogramación

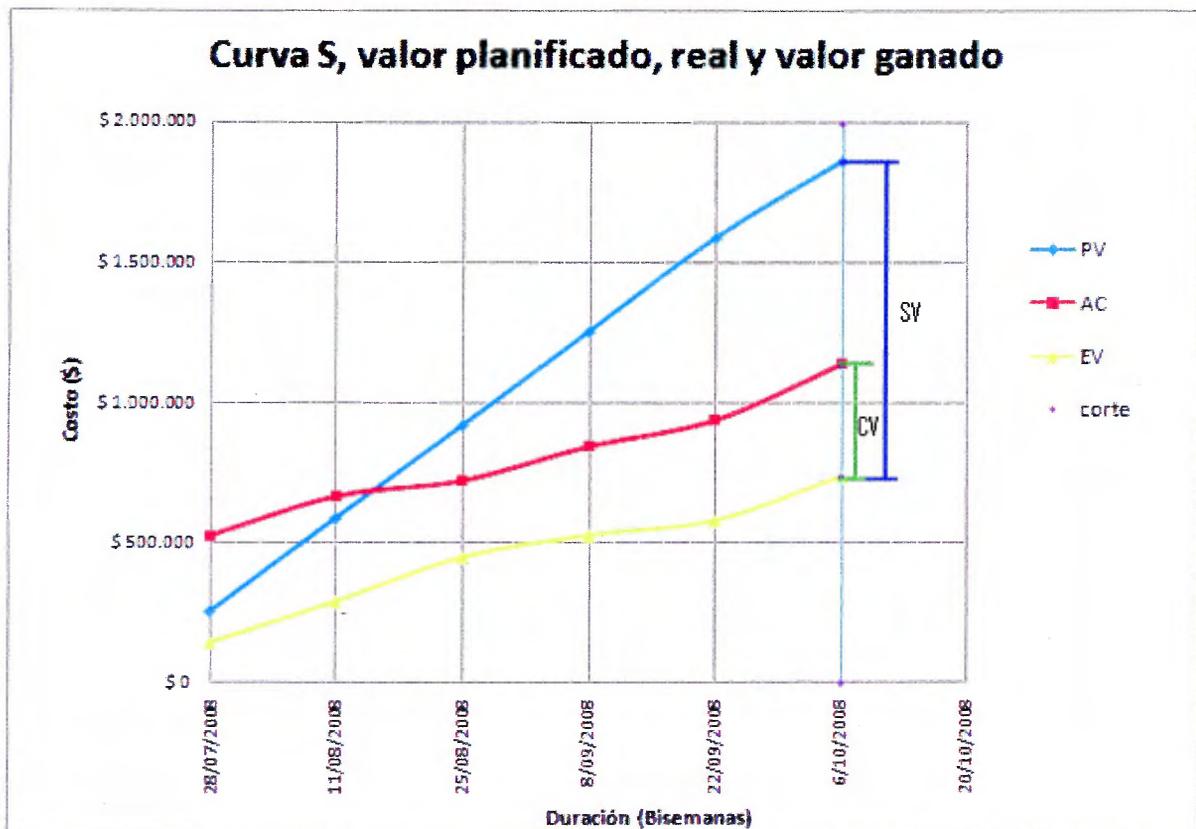
<b>Reporte de desempeño</b>							
<b>FECHA</b>	<b>28/07/2008</b>	<b>11/08/2008</b>	<b>25/08/2008</b>	<b>8/09/2008</b>	<b>22/09/2008</b>	<b>6/10/2008</b>	<b>Análisis</b>
<b>Costo programado(PV)</b>	\$ 256.540	\$ 589.349	\$ 922.158	\$ 1.254.967	\$ 1.587.776	<b>\$ 1.861.154</b>	
<b>Costo real (AC)</b>	\$ 525.965	\$ 666.818	\$ 723.111	\$ 846.052	\$ 940.256	<b>\$ 1.138.456</b>	
<b>Valor ganado USD\$ (EV)</b>	\$ 143.337	\$ 289.630	\$ 446.763	\$ 526.151	\$ 578.712	<b>\$ 736.393</b>	
<b>Desviaciones</b>							
<b>CV = EV-AC</b>	-\$ 382.628	-\$ 377.188	-\$ 276.347	-\$ 319.900	-\$ 361.544	<b>-\$ 402.063</b>	Costo mayor a lo presupuestado
<b>SV = EV-PV</b>	-\$ 113.204	-\$ 299.719	-\$ 475.395	-\$ 728.815	-\$ 1.009.064	<b>-\$ 1.124.761</b>	Cronograma atrasado según lo planeado
<b>Índices de rendimiento</b>							
<b>CPI = EV/AC</b>	0,27	0,43	0,62	0,62	0,62	<b>0,65</b>	Costo mayor a lo presupuestado
<b>SPI = EV/PV</b>	0,56	0,49	0,48	0,42	0,36	<b>0,40</b>	Cronograma atrasado de acuerdo a lo planeado
<b>CSI= CPI*SPI</b>	0,15	0,21	0,30	0,26	0,22	<b>0,26</b>	Poca posibilidad de recuperar el proyecto
<b>Proyecciones</b>							
<b>EAC= AC/EV*BAC</b>	\$ 6.830.714	\$ 4.285.787	\$ 3.012.961	\$ 2.993.316	\$ 3.024.475	<b>\$ 2.877.881</b>	Costo estimado al final del proyecto
<b>FFD= PV/EV*DIAS</b>	102	116	118	136	156	144	Tiempo estimado al final del proyecto
<b>VAC= BAC-EAC</b>	-\$ 4.969.200	-\$ 2.424.273	-\$ 1.151.447	-\$ 1.131.802	-\$ 1.162.961	<b>-\$ 1.016.367</b>	Desviación de coste
<b>ETC= EAC-AC</b>	\$ 6.304.749	\$ 3.618.969	\$ 2.289.850	\$ 2.147.264	\$ 2.084.219	<b>\$ 1.739.425</b>	Costo restante para finalizar el proyecto
<b>ACPI= BAC/EAC</b>	0,27	0,43	0,62	0,62	0,62	<b>0,65</b>	Costo final mayor a lo presupuestado
<b>TCPI = (BAC-EV)/(BAC-AC)</b>	1,29	1,32	1,24	1,32	1,39	<b>1,56</b>	Rendimiento que debe obtenerse
							<b>Fecha corte</b>

Fuente: Ejecución Propia.

Para lograr un mejor entendimiento del reporte se grafica los resultados obtenidos. En el siguiente gráfico se muestra el costo actual, el valor planificado y el Valor Ganado distribuidos en el tiempo hasta la fecha de corte. Se puede interpretar que al estar el costo actual por encima del Valor Ganado se está presentando sobrecostos en el proyecto y la distancia entre estos dos indicadores es el índice de variación del costo (CV) que mide la variación de costos que se da entre lo planeado y lo realmente gastado.

También al estar el valor planificado por encima del Valor Ganado se evidencia que se está presentando atrasos en el proyecto, esto puede ser medido con la ayuda de la variación del cronograma (SV), el cual muestra la variación del tiempo que se está presentando en el proyecto, entre mayor sea el rango de la variación, mayor es el atraso que se está presentando.

**Gráfico 1. Valor planificado, costo actual y Valor Ganado**

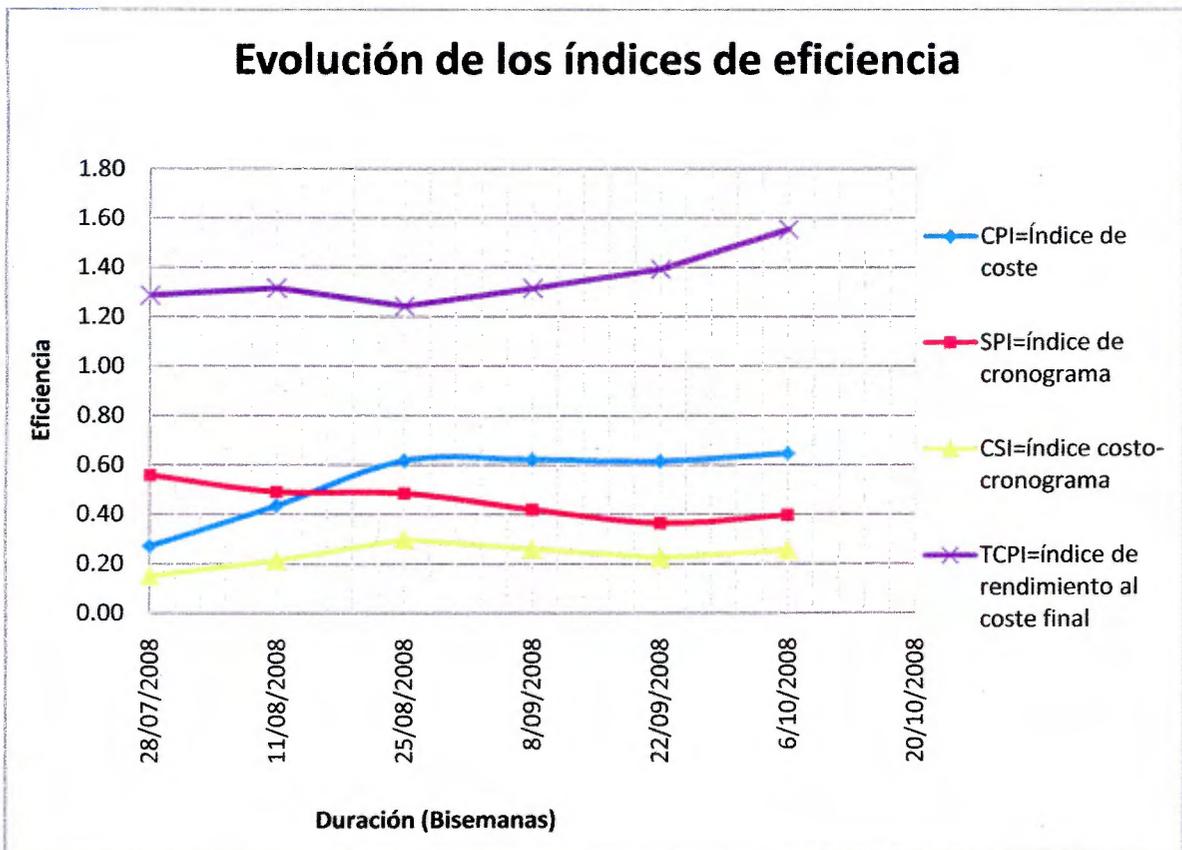


Fuente: Ejecución Propia.

En la gráfica anterior se observa los índices de eficiencia, de los cuales se obtiene:

- ✓ Según el índice de coste (CPI) se tiene que por cada dólar que se planeo gastar, solo se realizo un 65% de trabajo.
- ✓ Según el índice de cronograma (SPI) se obtiene que por cada hora que se trabaja solo se realizo un 40% de lo que se había planeado.
- ✓ Según el índice de costo-cronograma (CSI) se tiene un 26% de posibilidad para recuperar el proyecto.
- ✓ Según el índice de rendimiento de costos a la conclusión (TCPI) se necesita tener en el trabajo que falta por realizar una eficiencia de 156% para poder recuperar el proyecto.

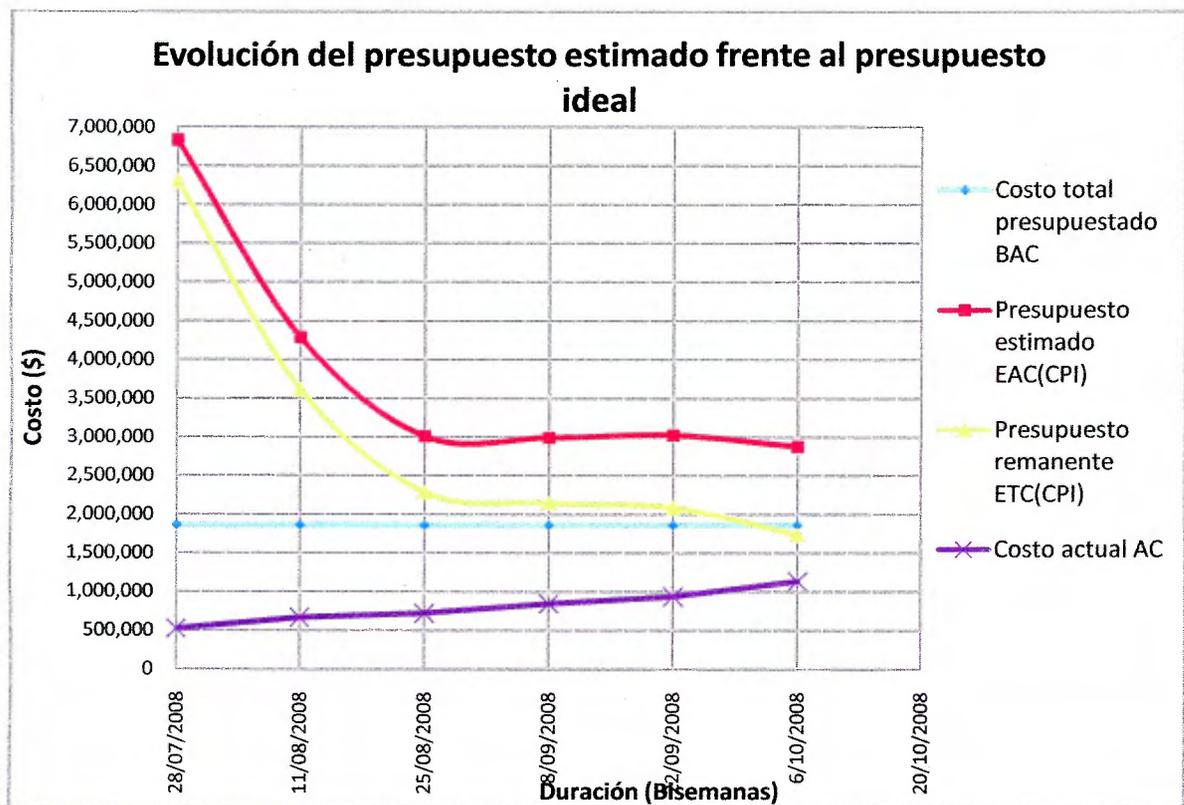
**Gráfico 2. Índices de eficiencia**



*Fuente: Ejecución Propia.*

En la **gráfica 3** se observa como la proyección del presupuesto al final del proyecto (EAC) va a ser muy superior a lo que se había planeado (1,5 veces mayor). Además, se puede observar que el costo actual debe de aumentar considerablemente en el tiempo que le queda para poder alcanzar este valor, esto se puede evidenciar en el presupuesto remanente (ETC).

**Gráfica 3. Proyecciones del presupuesto estimado**



*Fuente: Ejecución Propia.*

#### 5.4.1 REPROGRAMANDO EL PROGRAMA DE TRABAJO

En muchos casos se toma la decisión de hacer reprogramación del programa de trabajo debido a que el atraso que se presenta en el proyecto es considerable. En esta ocasión se logró observar como la programación inicial es casi el doble del avance real del proyecto (**tabla 20**), por lo tanto, al realizar el cálculo del Valor Ganado los resultados

estarían fuera del rango admisible; esto quiere decir que es imposible recuperar el proyecto en tiempo y costo.

Una de las causas importantes son la poca experiencia de la persona que realizó la planificación inicial o simplemente no se tomó en cuenta todos los aspectos que interactúan en el desarrollo de la obra como lo son la curva de aprendizaje de los trabajadores, las condiciones climáticas de la zona, entre otros.

Debido a esta situación se decidió dividir el avance programado entre dos, para así lograr un análisis más certero del método y así no estar tan lejos del avance real de la obra.

**Tabla 20.** Porcentaje de avance programado de la obra

FECHA	28/07/2008	11/08/2008	25/08/2008	08/09/2008	22/09/2008	06/10/2008	20/10/2008	03/11/2008
Avance real	7,70%	15,56%	24,00%	28,26%	31,09%	39,56%	45,21%	56,5%
Avance planificado	13,78%	31,67%	49,55%	67,43%	85,31%	100,00%	100,00%	100,00%
Avance planificado reprogramado	6,89%	15,83%	24,77%	33,71%	42,66%	65,83%	74,77%	83,71%

*Fuente: Ejecución Propia.*

En la siguiente tabla se muestra el reporte de desempeño utilizando la reprogramación del cronograma.

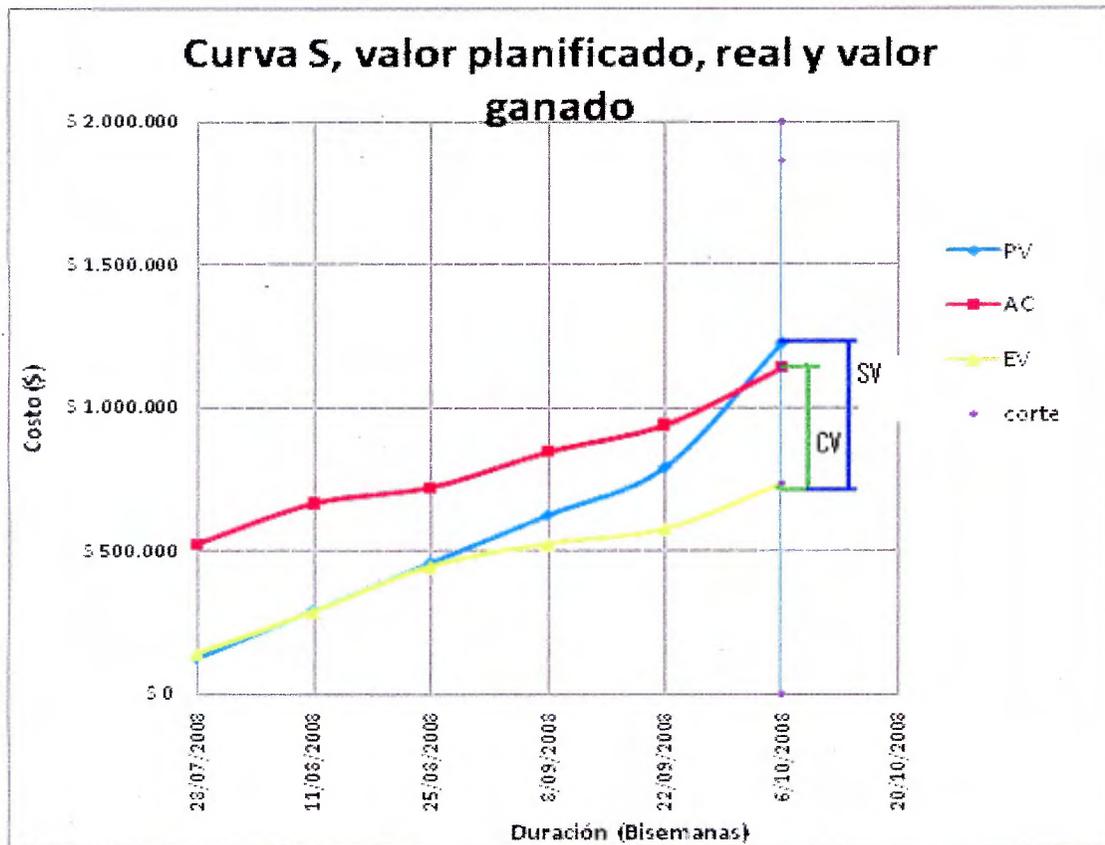
**Tabla 21. Reporte de desempeño al incluir la reprogramación**

<b>Reporte de desempeño</b>							
<b>FECHA</b>	<b>28/07/2008</b>	<b>11/08/2008</b>	<b>25/08/2008</b>	<b>8/09/2008</b>	<b>22/09/2008</b>	<b>6/10/2008</b>	<b>Análisis</b>
<b>Costo programado (PV)</b>	\$ 132.916	\$ 305.347	\$ 477.778	\$ 650.209	\$ 822.640	\$ 1.269.627	
<b>Costo real (AC)</b>	\$ 525.965	\$ 666.818	\$ 723.111	\$ 846.052	\$ 940.256	\$ 1.138.456	
<b>Valor ganado (EV)</b>	\$ 148.499	\$ 300.061	\$ 462.854	\$ 545.102	\$ 599.555	\$ 762.916	
<b>Desviaciones</b>							
<b>CV = EV-AC</b>	-\$ 377.466	-\$ 366.757	-\$ 260.256	-\$ 300.950	-\$ 340.701	-\$ 375.540	Costo mayor a lo presupuestado
<b>SV = EV-PV</b>	\$ 15.583	-\$ 5.286	-\$ 14.924	-\$ 105.107	-\$ 223.085	-\$ 506.711	Cronograma atrasado según lo planeado
<b>Indices de rendimiento</b>							
<b>CPI = EV/AC</b>	0,28	0,45	0,64	0,64	0,64	0,67	Costo mayor a lo presupuestado
<b>SPI = EV/PV</b>	1,12	0,98	0,97	0,84	0,73	0,60	Cronograma atrasado de acuerdo a lo planeado
<b>CSI = CPI*SPI</b>	0,32	0,44	0,62	0,54	0,46	0,40	Poca posibilidad de recuperar el proyecto
<b>Proyecciones</b>							
<b>EAC= AC/EV*BAC</b>	\$ 6.830.714	\$ 4.285.787	\$ 3.012.961	\$ 2.993.316	\$ 3.024.475	\$ 2.877.881	Costo estimado al final del proyecto
<b>FFD= PV/EV*DIAS</b>	51	58	59	68	78	95	Tiempo estimado al final del proyecto
<b>VAC= BAC-EAC</b>	-\$ 4.902.155	-\$ 2.357.227	-\$ 1.084.401	-\$ 1.064.756	-\$ 1.095.916	-\$ 949.322	Desviación de coste
<b>ETC= EAC-AC</b>	\$ 6.304.749	\$ 3.618.969	\$ 2.289.850	\$ 2.147.264	\$ 2.084.219	\$ 1.739.425	Costo restante para finalizar el proyecto
<b>ACPI= BAC/EAC</b>	0,28	0,45	0,64	0,64	0,64	0,67	Costo final mayor a lo presupuestado
<b>TCPI= (BAC-EV)/(BAC-AC)</b>	1,27	1,29	1,22	1,28	1,34	1,48	Rendimiento que debe de obtenerse
						<b>Fecha corte</b>	

*Fuente: Ejecución Propia.*

Al incorporar en el análisis la reprogramación del programa de trabajo, sigue estando el costo actual y el valor planificado por encima del Valor Ganado, evidenciando sobrecostos y atraso en el programa respectivamente.

**Gráfica 4.** Valor planificado, costo actual y Valor Ganado utilizando reprogramación.



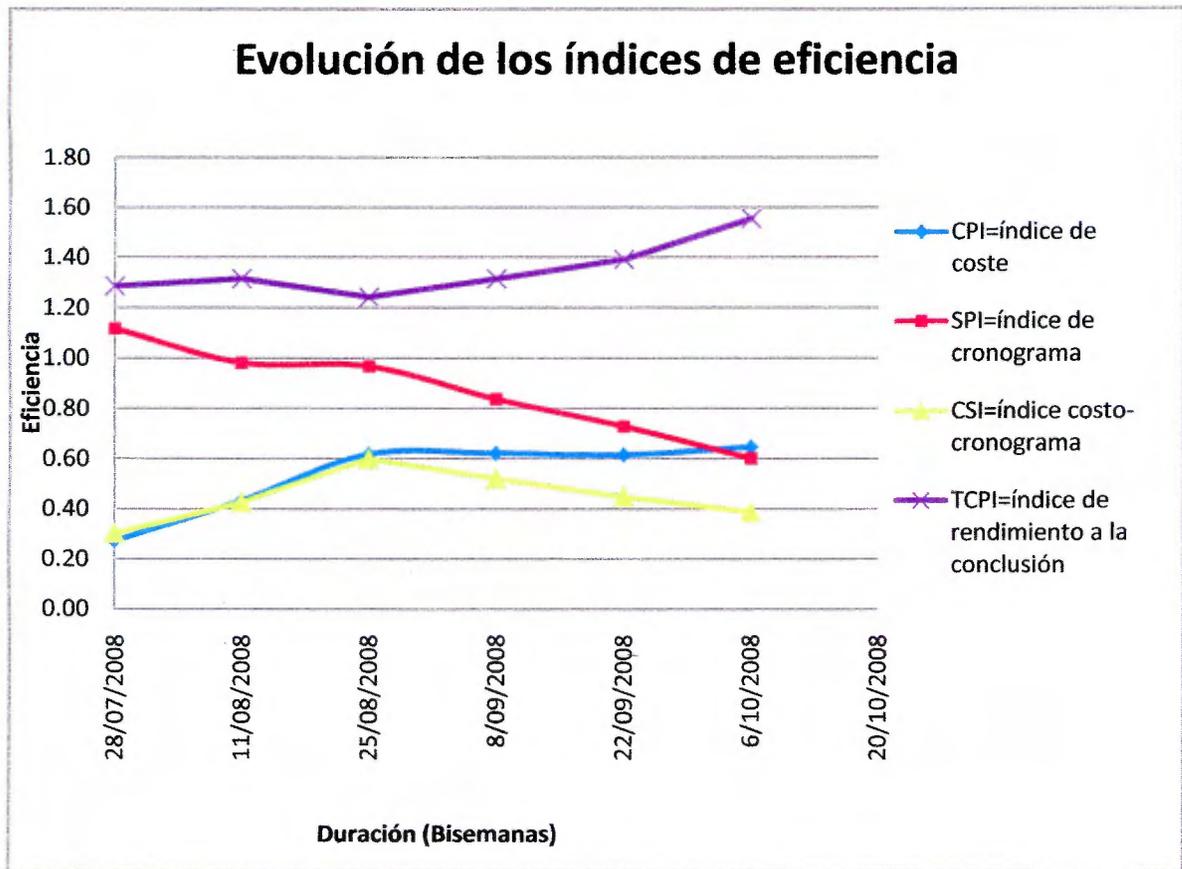
*Fuente: Ejecución Propia.*

En la gráfica anterior se observa los índices de eficiencia después de la reprogramación y se obtiene:

- ✓ Según el índice de coste (CPI) se tiene que por cada dólar que se planeó gastar, solo se realizó un 67% de trabajo.
- ✓ Según el índice de cronograma (SPI) se obtuvo que por cada hora que se trabajó solo se realizó un 60% de lo que se había planeado.

- ✓ Según el índice de costo-cronograma (CSI) se tiene un 40% de posibilidad para recuperar el proyecto.
- ✓ Según el índice de rendimiento de costos a la conclusión (TCPI) se necesita tener en el trabajo que falta por realizar una eficiencia de 148% para poder recuperar el proyecto.

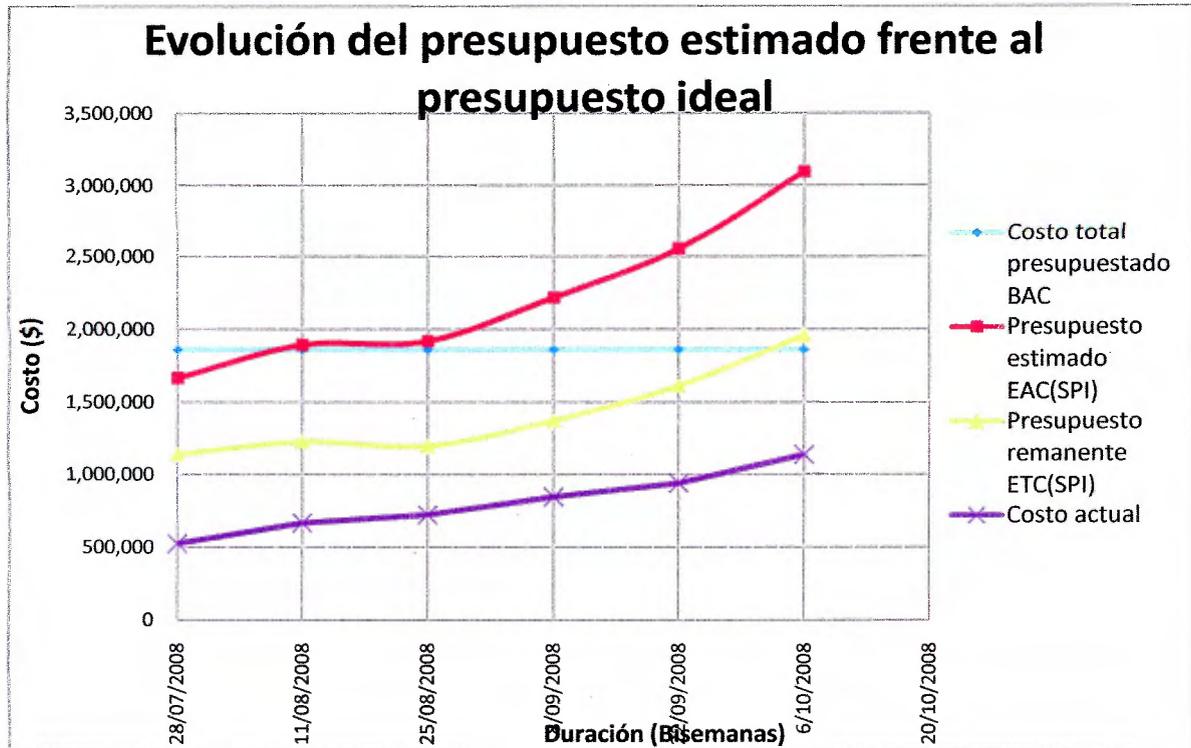
**Gráfico 5.** Índices de eficiencia reprogramando el programa de trabajo.



*Fuente: Ejecución Propia.*

En la siguiente gráfica se observa las proyecciones del presupuesto al final del proyecto, lo que deja en evidencia como el presupuesto a la finalización va a ser muy superior al planeado. Por lo tanto el presupuesto remanente ETC debe de ser superior al costo actual para que al sumar estos obtengamos el presupuesto estimado.

**Gráfica 6.** Proyecciones del presupuesto reprogramando el programa de trabajo



*Fuente: Ejecución Propia.*

#### 5.4.2 INCLUSION DE ÓRDENES DE CAMBIO (EXTRAS)

Otro aspecto importante que se debe de tomó en cuenta para la realización del análisis del Valor Ganado es la inclusión de las órdenes de trabajo. Específicamente basados en una orden a nivel macro.

- ✓ Cambio de diseño de concreto de resistencia  $210 \text{ kg/cm}^2$  a  $280 \text{ kg/cm}^2$ , el cambio obedece a mantener una mayor resistencia inicial para el desencofre y mejorar el acabado del revestimiento. En la siguiente tabla se muestra la información de donde es que se realiza el cambio del diseño de mezcla y se mantiene hasta la estación 8+000.

**Tabla 22.** Cambio de diseño de concreto de resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup> a 280kg/cm<sup>2</sup>

Chorrea	Fecha	Actividad	Diseño	m3
5	28/09/2008	Revestimiento Túnel de Conducción Est In: 8+570.83 Hora In: 02:50 (5m3 de mortero) Est Fin: 8+564.83 Hora Fin. 16:30	280-38-2 #1 AV	245

*Fuente:* Recuperación del proyecto de revestimiento del túnel de conducción, noviembre 2008.

En la siguiente tabla se muestra el cambio que presentó en el presupuesto final estimado (BAC) de la obra, la inclusión de esta orden de cambio. Como se puede observar en la **tabla 23**, este presupuesto paso de \$ 1.861.154 a \$ 1.928.560, aumentando \$67046.

**Tabla 23.** Costo presupuestado final con inclusión de órdenes de cambio.

ITEM	Unidad	Cantidad	Monto	Orden de cambio
Colocación de concreto	m <sup>3</sup>	7.517	\$ 1.447.025	\$ 1.514.070
Colocación de acero	kg	221.652	\$ 414.489	\$414.489
<b>Total (BAC)</b>			<b>\$ 1.861.514</b>	<b>\$ 1.928.560</b>

*Fuente:* Planeamiento y control, P.H. Pirrís.

Con la información anterior se procedió a generar el reporte de desempeño para el tramo en estudio, el cual se presenta a continuación:

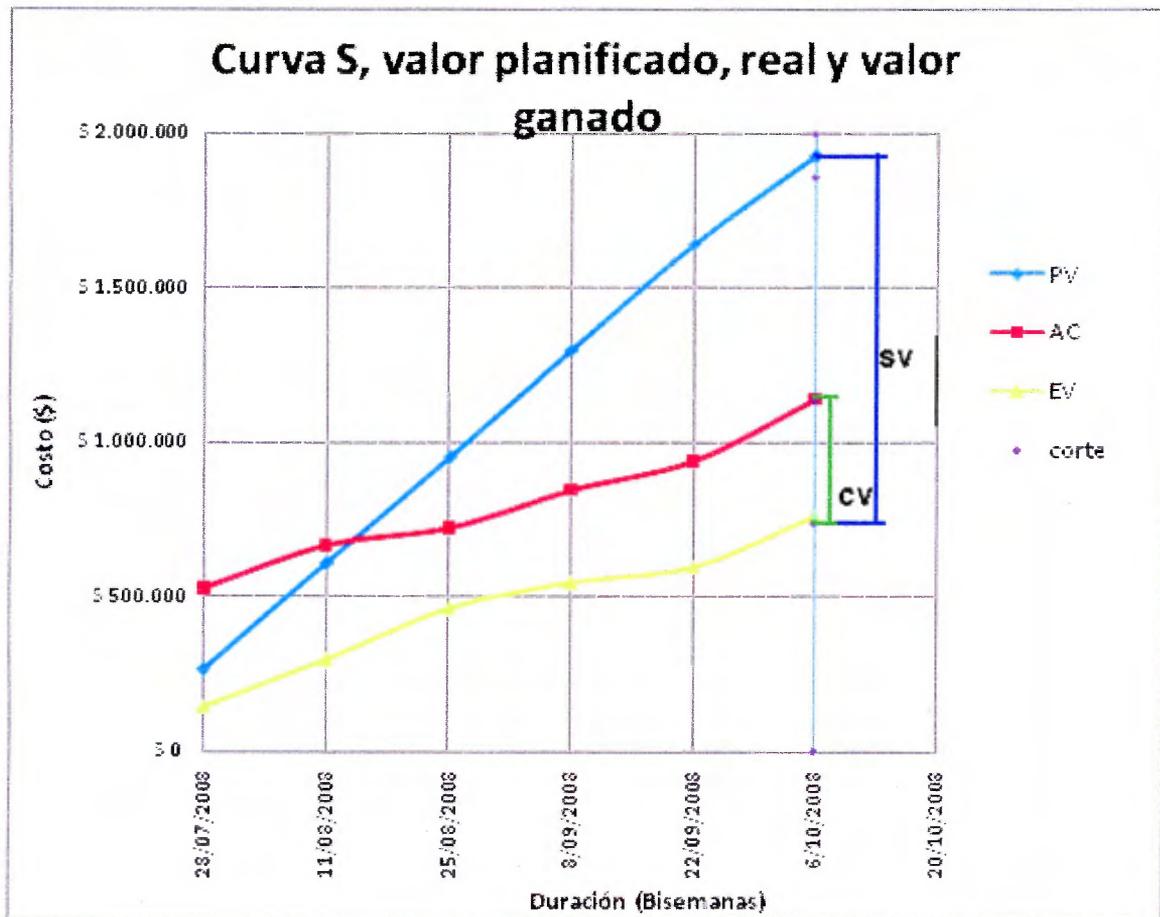
**Tabla 24.** Reporte de desempeño con inclusión de órdenes de cambio

Reporte de desempeño							
FECHA	28/07/2008	11/08/2008	25/08/2008	8/09/2008	22/09/2008	6/10/2008	
Costo programado (PV)	\$ 265.756	\$ 610.582	\$ 955.408	\$ 1.300.428	\$ 1.645.254	<b>\$ 1.928.560</b>	
Costo real (AC)	\$ 525.965	\$ 666.818	\$ 723.111	\$ 846.052	\$ 940.256	<b>\$ 1.138.456</b>	
Valor ganado (EV)	\$ 148.499	\$ 300.061	\$ 462.854	\$ 545.102	\$ 599.555	\$ 762.916	
<b>Desviaciones</b>							
$CV = EV - AC$	-\$ 377.466	-\$ 366.757	-\$ 260.256	-\$ 300.950	-\$ 340.701	<b>-\$ 375.540</b>	Costo mayor a lo presupuestado
$SV = EV - PV$	-\$ 117.256	-\$ 310.521	-\$ 492.554	-\$ 755.326	-\$ 1.045.699	<b>-\$ 1.165.644</b>	Cronograma atrasado según lo planeado
<b>Indices de rendimiento</b>							
$CPI = EV / AC$	0,28	0,45	0,64	0,64	0,64	<b>0,67</b>	Costo mayor a lo presupuestado
$SPI = EV / PV$	0,56	0,49	0,48	0,42	0,36	<b>0,40</b>	Cronograma atrasado de acuerdo a lo planeado
$CSI = CPI * SPI$	0,16	0,22	0,31	0,27	0,23	<b>0,27</b>	Poca posibilidad de recuperar el proyecto
<b>Proyecciones</b>							
$EAC = AC / EV * BAC$	\$ 6.830.714	\$ 4.285.787	\$ 3.012.961	\$ 2.993.316	\$ 3.024.475	<b>\$ 2.877.881</b>	Costo estimado al final del proyecto
$FFD = PV / EV * DIAS$	102	116	118	136	156	<b>144</b>	Tiempo estimado al final del proyecto
$VAC = BAC - EAC(CPI)$	-\$ 4.902.155	-\$ 2.357.227	-\$ 1.084.401	-\$ 1.064.756	-\$ 1.095.916	<b>-\$ 949.322</b>	Desviación de coste
$ETC = EAC(CPI) - AC$	\$ 6.304.749	\$ 3.618.969	\$ 2.289.850	\$ 2.147.264	\$ 2.084.219	<b>\$ 1.739.425</b>	Costo restante para finalizar el proyecto
$ACPI = BAC / EAC(CPI)$	0,28	0,45	0,64	0,64	0,64	<b>0,67</b>	Costo final mayor a lo presupuestado
$TCPI = (BAC - EV) / (BAC - AC)$	1,27	1,29	1,22	1,28	1,34	<b>1,48</b>	Rendimiento que debe de obtenerse
							<b>Fecha corte</b>

Fuente: Ejecución Propia.

En el **grafico 7** siguiente se puede observar como al igual que en los dos casos anteriores el costo actual se mantiene por encima del Valor Ganado, evidenciando sobrecostos en el proyecto. Además se observa que el valor planificado sigue estando muy por encima del Valor Ganado, mostrando así que el proyecto presenta un atraso muy significativo.

**Gráfico 7.** Valor planificado, costo actual y Valor Ganado con inclusión de extras.



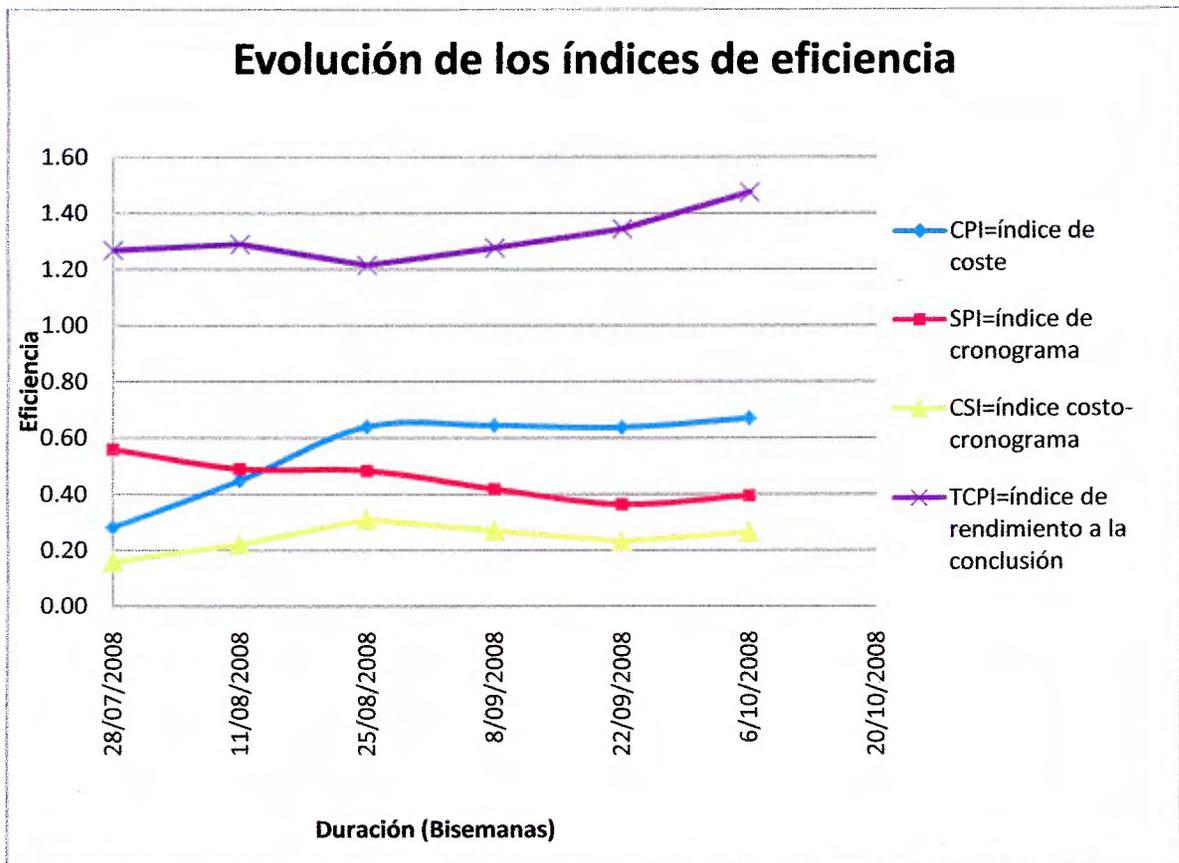
*Fuente: Ejecución Propia.*

Al interpretar el **gráfico 8** se muestra que tan eficientemente se está desarrollando el proyecto, de lo que se obtiene:

- ✓ Según el índice de coste (CPI) se tiene que por cada dólar que se planeó gastar, solo se realizó un 67% de trabajo.

- ✓ Según el índice de cronograma (SPI) se obtiene que por cada hora que se trabaja solo se realizó un 40% de lo que se había planeado.
- ✓ Según el índice de costo-cronograma (CSI) se tiene un 27% de posibilidad para recuperar el proyecto.
- ✓ Según el índice de rendimiento de costos a la conclusión (TCPI) se necesita tener en el trabajo que falta por realizar una eficiencia de 148% para poder recuperar el proyecto.

**Gráfico 8.** Índices de eficiencia con inclusión de órdenes de cambio.

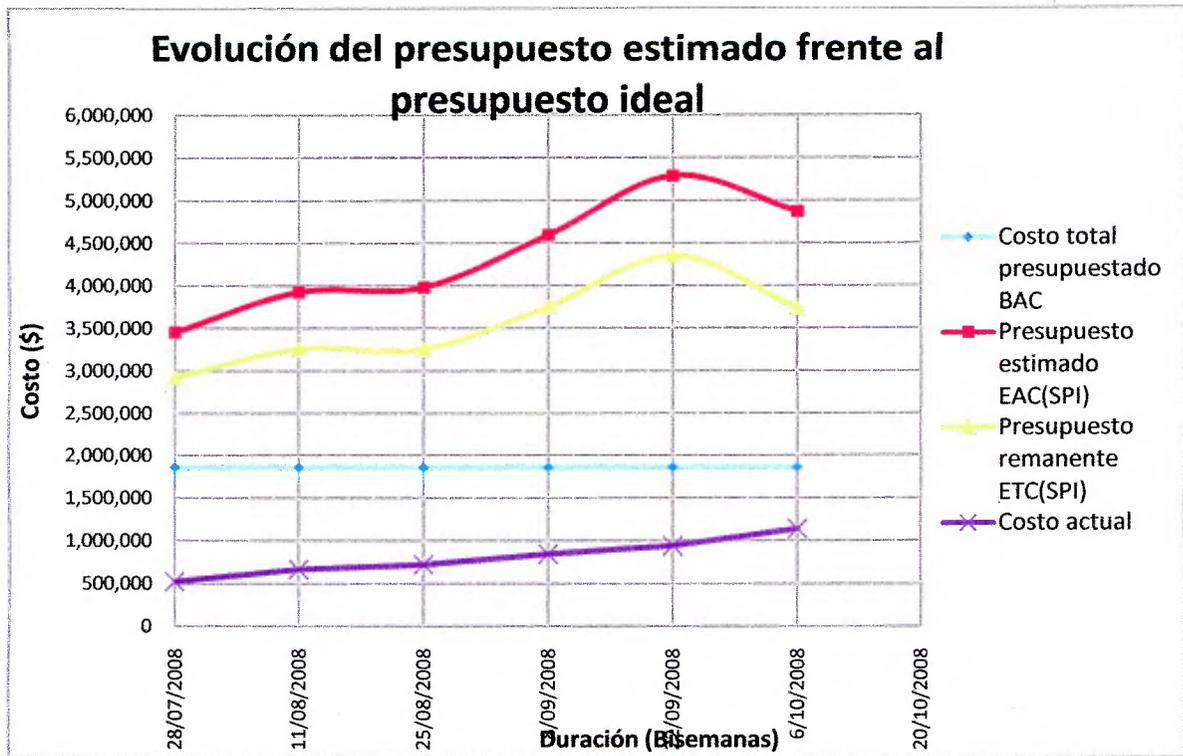


*Fuente: Ejecución Propia.*

Como se puede observar en la gráfica a continuación el presupuesto estimado a la finalización va a estar muy por encima del costo total presupuestado (BAC), esto se

debe en parte al atraso que se está presentando en el proyecto, por lo tanto el presupuesto remanente igualmente va a ser muy superior al costo actual.

**Gráfica 9.** Proyecciones del presupuesto estimado con inclusión de extras



*Fuente: Ejecución Propia.*

#### 5.4.3 DIFERENCIAS ENCONTRADAS AL REALIZAR ANÁLISIS DISTINTOS

Al analizar el tramo en estudio, se hace una comparación entre cada variable implementada para luego realizar un análisis más exhaustivo. Un ejemplo de esto se refleja en la **tabla 25**.

**Tabla 25.** Cuadro comparativo implementando los dos análisis.

<b>Reporte de desempeño</b>			
<b>Rubro</b>	<b>Antes</b>	<b>Reprogramado</b>	<b>Inclusión de extras</b>
Costo programado USD\$ (PV)	\$ 1.861.154	\$ 1.225.489	\$ 1.928.560
Costo real USD\$ (AC)	\$ 1.138.456	\$ 1.138.456	\$ 1.138.456
Valor ganado USD\$ (EV)	\$ 736.393	\$ 736.393	\$ 762.916
<b>Desviaciones</b>			
<b>CV = EV-AC</b>	-\$ 402.063	-\$ 402.063	-\$ 375.540
<b>SV = EV-PV</b>	-\$ 1.124.761	-\$ 489.095	-\$ 1.165.644
<b>Índices de rendimiento</b>			
<b>CPI = EV/AC</b>	0,65	0,65	0,67
<b>SPI = EV/PV</b>	0,40	0,60	0,40
<b>CSI =CPI*SPI</b>	0,26	0,39	0,27
<b>Proyecciones</b>			
<b>EAC= AC/EV*BAC</b>	\$ 2.877.881	\$ 2.877.881	\$ 2.877.881
<b>FFD= PV/EV*DÍAS</b>	144	95	144
<b>VAC= BAC-EAC</b>	-\$ 1.016.367	-\$ 1.016.367	-\$ 949.322
<b>ETC= EAC-AC</b>	\$ 1.739.425	\$ 1.739.425	\$ 1.739.425
<b>ACPI= BAC/EAC</b>	0,65	0,65	0,67
<b>TCPI = (BAC-EV)/(BAC-AC)</b>	1,56	1,56	1,48

*Fuente: Ejecución Propia.*

Como se puede observar con respecto a las desviaciones se puede determinar que:

1. Al implementar la reprogramación la variación del costo se mantiene igual, caso contrario a la variación del cronograma y la de costo-cronograma debido a que se presenta un pequeño aumento, superando el rendimiento del proyecto como tal.
2. Con respecto a las proyecciones estas se mantienen iguales, ya que no se ha presentado un cambio significativo en la parte de los costos de la obra.
3. Si se presenta un cambio en la duración estimada del proyecto, debido a que si reprogramamos se disminuye considerablemente la duración del proyecto, caso contrario a la inclusión de extras que se mantendría igual al análisis inicial.

4. En definitiva si comparamos el análisis de antes contra la inclusión de las órdenes de cambio (extras), se logra observar como en las desviaciones se da un pequeño aumento en la eficiencia del costo (CPI) y en la eficiencia del índice de costo-cronograma (CSI), lo que nos aumenta las posibilidades de reducir un poco los sobrecostos que se están presentando en la obra. Contrario a esto la variación del cronograma se mantiene constante debido a que no se realizó ningún cambio en el cronograma de la obra.
5. Al analizar los índices de rendimiento se pudo notar como el costo estimado a la finalización va hacer el mismo, porque no se realizó un cambio en los costos actuales de la obra, además se presenta una disminución en el presupuesto que se necesita para lograr su finalización, debido a que el presupuesto estimado sufrió un aumento con la inclusión de la orden de cambio.
6. Es importante señalar que se disminuye en un 8% la eficiencia necesaria para lograr finalizar en el tiempo y con los costos establecidos.
7. Con esta comparación se logra observar que si tomamos en cuenta tanto la reprogramación como la inclusión de las órdenes de cambio podemos aumentar la posibilidad de finalizar nuestro proyecto con el tiempo y el costo establecido inicialmente o por lo menos se logra estar muy cerca de estos.

## 5.5 PASO 5. CONTROL DE CAMBIOS

El último paso a seguir para finalizar la realización del análisis del Valor Ganado es realizar el control de los cambios, para estos es importante identificar y evaluar los riesgos de aceptar los cambios propuestos, además es importante registrar todos los cambios que se van a realizar.

### 5.5.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Según un análisis realizado por el Ing. Minor Novo encargado de la ejecución de la obra, se logró identificar un incumplimiento en los rendimientos programados debido a que en el proceso del revestimiento está compuesto por una serie de actividades y

factores externos para los cuales si se presenta algún inconveniente o algún imprevisto se llega a afectar directamente el cumplimiento de los objetivos de la obra.

Entre los factores principales que incidieron directamente para no cumplir con los rendimientos de avance planificado tenemos:

- ✓ Tasa de colocación del concreto: Esto se dio por las condiciones de los equipos de trabajo al no cumplir con los requerimientos técnicos y por las condiciones del entorno como los caudales de infiltración altos y el arrastre de sedimentos y fragmentos de roca.
- ✓ Afectaciones de acceso por factores climáticos tanto en Ventana como en sitio de presa.
- ✓ Subestimación de periodo de capacitación del personal en el inicio del proceso, La llamada curva de aprendizaje de los trabajadores, provocado principalmente al alinear pisos y conchas de formaleta, en el doblado y la colocación del acero de refuerzo debido a que no se contempló en la planificación el tiempo adecuado para la capacitación del personal en estas actividades.
- ✓ Adecuación de tiempos planificados en distintas actividades del proceso de revestimiento:
  - Aumento en tiempos de fragua
  - Aumento en tiempos de limpieza de piel de formaleta por efectos de acabado
  - Relleno de nichos.
  - Aumento en tiempos de desencofrado, traslados y encofrado.
- ✓ Forma oportuna de adecuación del personal: Se inicia el proceso con poco personal y con el avance de obra se van incorporando nuevos recursos.
- ✓ Falta de capacitación en manejo de personal a nivel de técnico y encargados de obra.

## 5.5.2 CAMBIOS PROPUESTOS

1. Realizar un cambio en el alcance de la obra, ya que al inicio de la misma se trabajó bajo un esquema de 5 entregables principales (**anexo 8**), sin embargo, al ir desarrollando el proyecto se ve la necesidad de incorporar un entregable que se había dejado por fuera como lo es el Seguimiento ambiental (**anexo 9**). Esto con el objetivo de darle el correcto seguimiento y control a toda la obra en general sin dejar ninguna área de lado.
2. Realizar un cambio en los rendimientos programados, para este aspecto se realizó una comparación entre lo planificado y lo que realmente se obtuvo, con el fin de lograr cumplir la nueva programación. En la siguiente tabla se muestra estos resultados.

**Tabla 26.** Comparación entre rendimientos programados y los realmente obtenidos.

Descripción de métrica programada	Rendimiento programado	Rendimiento promedio obtenido	Nueva métrica propuesta	Rendimiento propuesto con correcciones
Avance general de revestimiento terminado	15 metros por día	6 metros por día	igual	96 metros por bisemana (4 chorreas)
Tasa de colocación de concreto	19.8 metros por hora	14.94 m3 por hora	igual	17 m3 por hora
Tiempo de desencofrado, traslado y encofrado de formaleta	11.67 horas	16 horas	igual	16 horas
Tiempo de limpieza de formaleta	4.8 horas	16 horas	igual	16 horas
Tiempo de construcción del tapón	6 horas	4 horas	Colocación y retiro del tapón	6 horas
<b>TOTAL</b>	37.3 horas	81 horas	igual	70 horas
Cantidad de jornadas por ciclo	1.55	3.38		2.92
Cantidad de ciclos por bisemana	7.7	3.6		4.8
Avance total en la bisemana	185.3	85.3		115.2
Avance diario (12 y 14 días/bis)	15.4	7.1		8.2

*Fuente:* Recuperación del proyecto de revestimiento del túnel de conducción, noviembre 2008.

3. Al realizar el cambio anterior, es fundamental realizar una reprogramación en el cronograma de la obra, para obtener la nueva duración de la misma. Como observamos en el análisis del paso anterior este es un factor fundamental para poder saber con exactitud la eficiencia que se está teniendo en el desarrollo del proyecto, además, para llevar un mejor control del tiempo y así si se llegara a presentar atrasos implementar las acciones correctivas correspondientes para reducirlos.
4. Que se destine una persona para llevar un control de las órdenes de cambio que se presenten, ya que los cambios en el alcance se dan y por ende existe un aumento en los costos del proyecto pero, no se registran estos cambios ni se contabilizan. Como se mencionó en este capítulo en el tramo en estudio se presentó un cambio en el alcance del proyecto que logró aumentar el costo presupuestado de la obra, sin embargo, no se llevo un registro de los costos del mismo.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

Al finalizar el análisis de la aplicación del método de Valor Ganado en el control y seguimiento del revestimiento túnel de conducción del P.H.Pirrís se llegó a las siguientes conclusiones:

Con respecto al tramo del túnel en estudio:

1. Se logró implantar esta potente herramienta en el tramo de la estación 8+000 al 8+850, debido a que se contó con la información necesaria tanto en costos como en tiempo, sin embargo, se tuvo que realizar una plantilla en el programa EXCEL 2007 para poder calcular las variables. Además se tuvo que procesar la información suministrada por el departamento de Planeamiento y Control, ya que ellos manejan la información en varios archivos y de forma muy general.
2. Con la ayuda de éste método pudo obtener una proyección del estado actual en que se encuentra el proyecto, evidentemente con auge de sobrecostos y un atraso considerable.
3. Al implementar la reprogramación del programa de trabajo la eficiencia del cronograma aumenta un 20% y por lo tanto la posibilidad de recuperar el proyecto aumenta un 13%, logrando de esta forma incrementar las expectativas de cumplir con la duración planeada o por lo menos estar cerca de ésta (95 días).
4. Con la inclusión de las órdenes de cambio la eficiencia de los costos aumentó en un 2%, o e sea un 1% la posibilidad de recuperar el proyecto, en este caso no se observan diferencias significativas debido a que en el proyecto no hay un ente encargado de manejar esta información, por lo tanto no se recopiló todas las órdenes de cambio que se fueron presentando en el desarrollo del proyecto.

5. Se logró identificar las posibles causas que estaban produciendo desviaciones en el proyecto, y se plantearon las respectivas acciones correctivas para intentar recuperarlo.
6. Se debe de realizar el análisis desde el inicio del proyecto, con el objetivo de observar las tendencias que se van desarrollando y en el momento que se presente algún problema (atrasos o sobrecostos), analizar las causas de desviación e implementar las medidas correspondientes.
7. Según los resultados obtenidos aunque se implementen las acciones correctivas propuestas, no se va a lograr cumplir con los objetivos a cabalidad, debido a que se va a necesitar un 150% de esfuerzo para lograrlo; sí se va a poder disminuir un 8% la eficiencia para lograr los objetivos, pero no lo necesario para cumplir con lo programado.

Con respecto al P.H.Pirris:

1. En la actualidad el presupuesto del proyecto ha cambiado varias veces tanto en monto como en estructura, por lo tanto, no se han actualizado las órdenes de cambio del proyecto, lo que complicó significativamente la realización de un análisis comparativo en la totalidad del mismo.
2. No se cuenta con un parámetro de comparación para determinar las posibles desviaciones o saber si se está dentro de lo normal o bajo los supuestos de ejecución de proyectos del ICE, debido principalmente a que el proyecto ha tenido tres modificaciones en el catálogo contable, lo que generó incompatibilidad entre algunas cuentas, dificultando la recopilación de datos históricos.
3. No se lleva un control del 100% de las actividades, en este momento solo se están utilizando cuarenta actividades como parámetro de control. Esto se debe a que solo se tiene siete personas procesando costos, debido a la falta de espacio físico para nuevas contrataciones y al corto presupuesto.

4. El control de precios es inexistente, ya que el alcance en el proyecto está en un constante cambio, lo más preocupante aún es que no exista un ente encargado o personas destinadas a su regulación.
5. Se mezclan los costos de control (inspectores de producción y costos) con la ingeniería de campo, limitando la clasificación rápida de los datos.
6. No existen un manual normalizado de los rendimientos de obra de los Proyectos de Generación Hidroeléctrica desarrollados por el ICE, por lo tanto, se debe de planificar basados en la experiencia constructiva del encargado de la programación.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Con respecto al tramo en estudio:

1. Llevar un mejor registro de la información proveniente del departamento de Planeamiento y Control, que sea una sola persona que maneje la información y que se encargue de recopilarla y pasarla a una sola carpeta.
2. Recopilar la información de todos los cambios en el alcance que se fueron presentando en el desarrollo del proyecto, en la actualidad este registro es inexistente (con esta información se podría mejorar el seguimiento de la obra).
3. Que el encargado de obra implemente la reprogramación del programa del túnel en su totalidad, para contribuir con los otros diez tramos que puede presentar problemas al igual que el primero, por lo cual sería conveniente continuar con el análisis del Valor Ganado.

Con respecto al P.H.Pirrís:

1. Los encargados de realizar la planificación inicial del proyecto deben de ser personas con experiencia en el campo y que estén familiarizados con los trabajos a cargo, esto con el fin de lograr que la planificación sea lo más parecida a la realidad.
2. A la hora de planificar es importante considerar un lapso de tiempo si se involucra personal sin especializar para darle la debida capacitación en el campo o bien

contratar mano de obra especializada, además de realizar un estudio de la zona donde se va a generar el proyecto para tomar en cuenta todos los factores que afectan su desarrollo de forma directa como indirecta.

3. Es vital contar con un registro normalizado de rendimientos para Proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el ICE.
4. Capacitar al personal encargado de la captura de información en el sitio de la obra y procesar esta información, para evitar posible errores al ingresar los datos por ignorancia o por falta de atención, además, es importante que exista un encargado de verificar que los datos ingresados sean los correctos.
5. Realizar un adecuado control de los cambios, esto se logra identificando y evaluando los riesgos de aceptar los cambios propuestos para corregir las desviaciones que se están presentando en el proyecto, además registrar todos los cambios que se van a implementar.
6. Capacitar al personal del proyecto con respecto al tema del Valor Ganado, para lograr hacer conciencia de la importancia de esta herramienta en el control y seguimiento de los proyectos, y poder llegar a implementarla como una herramienta de trabajo diario.
7. La existencia de varias personas que se encarguen de documentar y controlar los cambios en el alcance de la obra, para poder realizar un análisis y saber la situación en la que se encuentra actualmente este y si existiera algún problema intentar corregirlo.
8. Contratar más personal en el departamento de Planeamiento y Control para poder llevar en orden todas las actividades que forman parte del proyecto y no solo de un porcentaje de éstas.
9. Implementar la reprogramación del programa de trabajo, con el fin de poder realizar un adecuado seguimiento del cronograma de la obra, además de lograr reducir significativamente la duración del proyecto.

## FUENTES DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Ajenjo, Domingo. (2005). Dirección y gestión de proyectos. México: Alfaomega Grupo Editor. Segunda Edición.

Anglin Fonseca, Robert. Notas de Clase del Curso: Administración de empresas constructoras. I semestre, 2009.

Briceño, Pedro. (1996). Administración y dirección de proyectos. Un enfoque integrado. Chile: Mc Graw Hill. Segunda Edición.

Chamoun, Yamal. (2002). Administración profesional de proyectos. LA GUÍA. México: Mc Graw Hill.

Córdova Padilla, Marcial. (2006). Formulación y evaluación de proyectos. Bogotá: Eco Ediciones.

Gatjens Mora, Dennis. (2008). Desarrollo de herramientas para el control de avance y costos en proyectos de generación eléctrica: El proyecto Toro III del ICE. Informe de Trabajo Final de Graduación de licenciatura para optar por el grado de ingeniería civil. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.

Gido, Jack y Clements, James P. (2007). Administración exitosa de proyectos. Thomson. Tercera Edición

Muñoz Caravaca, Walter. Notas de Clase del Curso: Planificación de la Construcción. II semestre, 2008.

Project Management Institute. (2004). Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). EEUU: Four Campus Boulevard, Newton Square. Tercera Edición.

Salas Quesada, José Luis. Notas de Clase del Curso: Construcción 2. I semestre, 2008.

Santana, Gerardo. (1999). Planificación y control de proyectos. Colombia: Rojas Eberhard.

Vargas Arguedas, Jorge A. (2007). Aplicación del método de Valor Ganado a la administración de un proyecto de construcción. Informe de Trabajo Final de Graduación de licenciatura para optar por el grado de ingeniería civil. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.

#### OTRAS REFERENCIAS (INTERNET)

<http://vicentelopez0.tripod.com/Gerencia/Valorganado/vg1.html>. En "Valor Ganado". Tomado el día Viernes 3 de octubre de 2008. Es el website del "Centro de conocimiento".

<http://www.acis.org.co/memorias/JornadasGerencia/IIJNGP/Valor%20Ganado%20Conferencia%20ACIS%20Ver%203.pdf>. En "Ejemplos de Valor Ganado" ganado". Tomado el día sábado 4 de octubre de 2008. Es la website de "ACIS".

<http://www.csi.map.es/csi/metrica3/gespro.pdf>. En "Gestión de proyectos". Tomado el día Viernes 3 de octubre de 2008. Es el website de "Consejo de Superior de Administración electrónica".

<http://www.emprendedores.com.pe/sitio/modules/news/article.php?storyid=31>. En "Administración de proyectos". Una publicación de Jorge Luis Sarmiento Ramos. Tomado el día Viernes 26 de septiembre de 2008. Es el website de "Emprendedores". Una página que publica diferentes artículos y foros.

[http://www.fondef.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=341&Itemid=227&limit=1&limitstart=1](http://www.fondef.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=341&Itemid=227&limit=1&limitstart=1). En “Control y seguimiento de proyectos”. Tomado el día Viernes 3 de octubre de 2008. Es el website de “Fondo de fomento al desarrollo científico y tecnológico”.

[http://tscognos.com/JohnDeereTSEsp\\_V5.0/01\\_ContentidoPrincipal/3.2.2\\_Gestionar\\_el\\_plan\\_de\\_trabajo\\_valor\\_ganado.htm](http://tscognos.com/JohnDeereTSEsp_V5.0/01_ContentidoPrincipal/3.2.2_Gestionar_el_plan_de_trabajo_valor_ganado.htm). “En Historia del Valor Ganado”. Tomado el día sábado 4 de octubre de 2008.

[http://www1.us.es/pautadatos/publico/assignaturas/31770/12440/02Control\\_y\\_seguimientov2.pdf](http://www1.us.es/pautadatos/publico/assignaturas/31770/12440/02Control_y_seguimientov2.pdf). En “Control y seguimiento de proyectos”. Tomado el día Viernes 3 de octubre de 2008. Es el website de “Universidad de Sevilla”. Se exponen los trabajos que han realizado los catedráticos y estudiantes de esta universidad

## OTRAS FUENTES

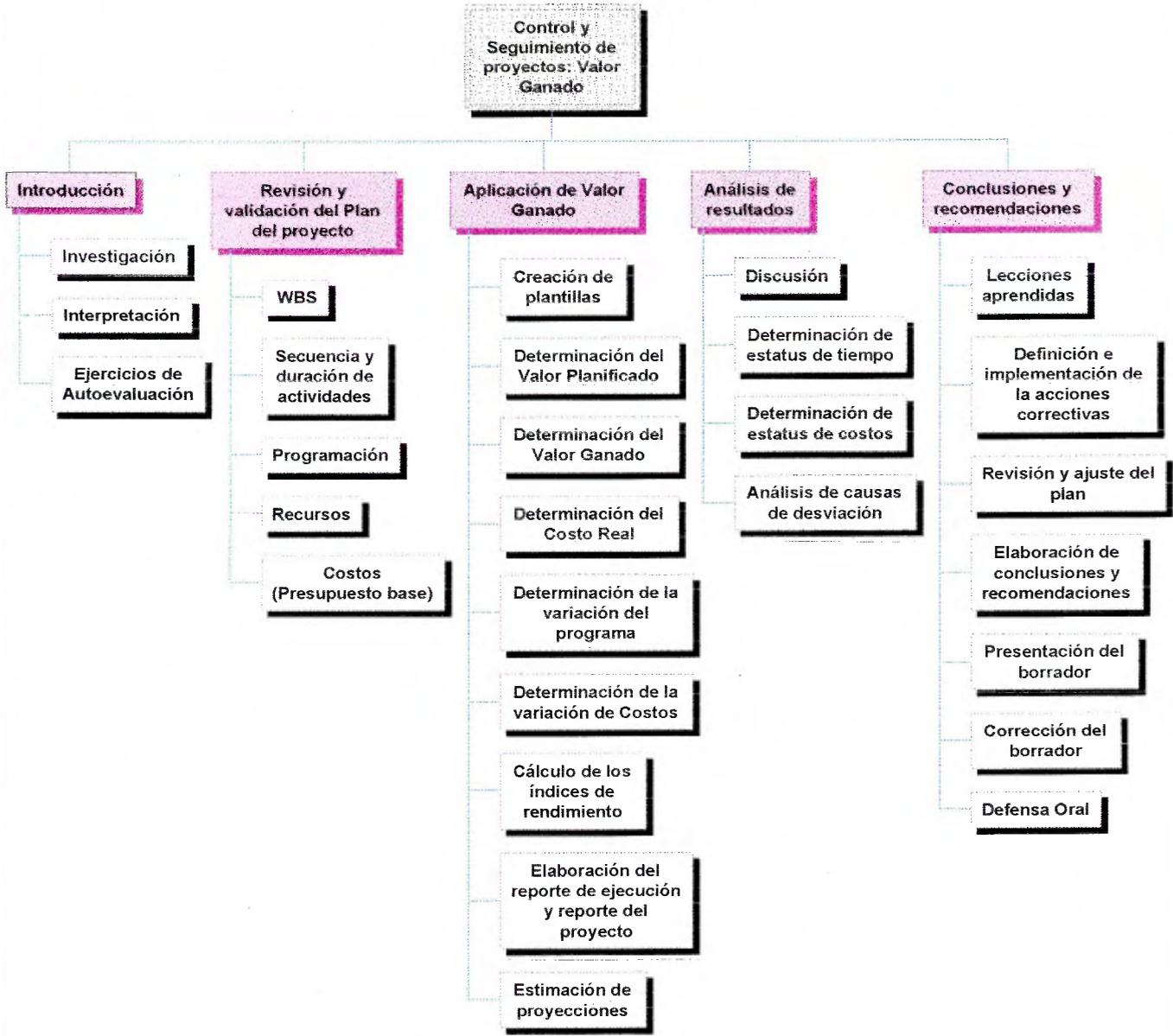
Información suministrada por el Ing. Oscar Luis Vega Antonini Director del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.

Información suministrada por el departamento de Planeamiento y Control y Gestión del Sistema del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.

Información suministrada por el Ing. Minor Novo encargado de obra del túnel de conducción del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.

**ANEXOS**

# Esquema metodológico



## ANEXO 2. ACTA DE CONSTITUCIÓN DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

<b>CHARTER DEL PROYECTO</b>	
<b>Información principal y autorización del proyecto</b>	
<b>Fecha:</b> 26/06/09	<b>Nombre del proyecto:</b> Valor Ganado: aplicación en el control y seguimiento del revestimiento del túnel de conducción del P.H.Pirris
<b>Áreas de conocimiento:</b> Alcance, Tiempo, Costo, Calidad, Integración.	<b>Área de aplicación:</b> Ingeniería Civil
<b>Fecha de inicio de proyecto:</b> 13 de enero del 2009	<b>Fecha tentativa de finalización:</b> 28 de junio del 2009
<p><b>Objetivos del proyecto:</b></p> <p><u>General:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Realizar un análisis de control y seguimiento en el proyecto Hidroeléctrico Pirris, específicamente en la colocación del revestimiento del túnel de conducción utilizando el método del valor ganado.</li> </ul> <p><u>Específicos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Investigar y profundizar el tema de Valor Ganado, incluso haciendo ejercicios de autoevaluación para determinar el grado de certeza en el manejo de la herramienta.</li> <li>◆ Revisar y validar el control de las actividades programadas del proyecto en estudio utilizando información relevante (presupuestos, cronograma, entre otros), que se generó durante la planificación de la obra y que esta información pueda estar acorde con los datos necesarios para ingresarlos en la herramienta de Valor Ganado.</li> <li>◆ Aplicar el método de control del valor ganado en el proyecto para evaluar el desempeño del proyecto tanto en tiempo como en costo.</li> <li>◆ Determinar los factores que influyen en la variación de los costos y del tiempo en el proyecto a analizar.</li> <li>◆ Realizar un análisis sobre el desempeño de las actividades de la obra para realizar los cambios necesarios contractuales y así asegurar el éxito del proyecto.</li> <li>◆ Desarrollar plantilla de Valor Ganado ágil y sencilla de utilizar, para facilitar el ingreso de los datos.</li> <li>◆ Elaborar un informe técnico para someterlo a consideración de la Comisión de Graduación de la Escuela de Ingeniería Civil, para su eventual publicación.</li> </ul>	
<p><b>Descripción del producto:</b></p> <p>Consisten en la utilización de la herramienta de Valor Ganado en la aplicación del revestimiento de concreto en el túnel de conducción de PH Pirris, en el tramo que se extiende desde la estación 8+000 a la 8+850, con un diámetro de 3,9m.</p>	
<p><b>Necesidad del producto:</b></p> <p>Si bien actualmente en los Proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el ICE como lo es el caso de Pirris, se utilizan herramientas que permiten dar seguimiento tanto a avance como a costos, éstas lo hacen de forma independiente, por lo que se llega a presentar muchas inconsistencias al realizar el control respectivo.</p>	

**Justificación del impacto:** Con la implantación de un adecuado control y seguimiento en la etapa de la aplicación del revestimiento en el túnel de conducción en el Proyecto Hidroeléctrico de Pirris, se pretende dar uno de los primeros pasos en el establecimiento del método de Valor Ganado en los proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el ICE, para así lograr que estos cumplan de la mejor manera tanto con el presupuesto establecido como con el tiempo de construcción esperado y también facilitar la toma de decisiones del director a cargo de la obra.

**Restricciones:** Como limitación del trabajo tenemos el suministro de información tipificada, según los estándares del Project Management Institute, debido a que para poder lograr aplicar este método es necesario contar con información ordenada y completa de todas las fases del proyecto y todos los cambios que se han producido en cada una de estas. Como el túnel está dividido en diferentes tramos y cada uno de estos presentan diferentes características, no se puede realizar el valor ganado del túnel en su totalidad sino se debe de realizar un análisis en cada tramo y de seguido sumarlos para realizar el análisis completo.

**Identificación de grupos de interés (stakeholders):** P.H. Pirris: Ing. Oscar Luis Vega Antonini Director del proyecto, Departamento de Planeamiento y Control Ing. Wagner Flores Siles, Departamento de Construcción Ing. Minor Novo Bolaños, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, Fabiola Salas Agüero.

**Director:** Ing. Walter Muñoz Caravaca

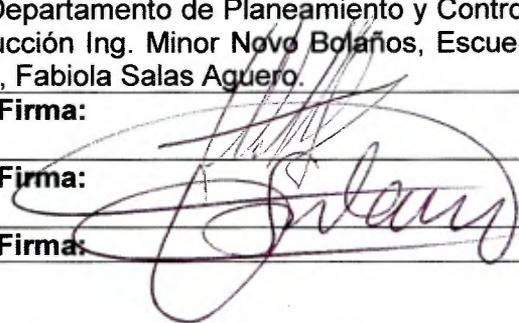
**Firma:**

**Asesor:** Ing. Oscar Luis Vega Antonini

**Firma:**

**Asesor:** Ing. José Luis Salas

**Firma:**



### ANEXO 3. DECLARACIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

DECLARACIÓN DEL ALCANCE	
<b>Nombre del proyecto:</b> Valor Ganado: Aplicación en el control y seguimiento del túnel de conducción del P.H.Pirris.	
<b>Fecha:</b> 15 de enero de 2009	
<b>Planteo del problema (necesidad, oportunidad) y justificación del proyecto:</b> Actualmente en los Proyectos Hidroeléctricos desarrollados por el ICE como lo es el caso de Pirris, se utilizan herramientas que permiten dar seguimiento tanto a avance como a costos, éstas lo hacen de forma independiente, por lo que se llega a presentar muchas inconsistencias al realizar el control respectivo. Por esta razón se plantea la utilización del Análisis de Valor Ganado como una mejor herramienta de control y seguimiento en la aplicación del revestimiento del túnel de conducción del P.H de Pirris, debido a que la utilización de este método permitirá unificar los procesos de control del proyecto y así lograr mejorar la eficiencia del proceso para tomar a tiempo las acciones correctivas necesarias.	
<b>Objetivos del proyecto:</b> <b>General:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>◆ Realizar un análisis de control y seguimiento en el proyecto Hidroeléctrico Pirris, específicamente en la colocación del revestimiento del túnel de conducción utilizando el método del valor ganado.</li></ul> <b>Específicos:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>◆ Investigar y profundizar el tema de Valor Ganado, incluso haciendo ejercicios de autoevaluación para determinar el grado de certeza en el manejo de la herramienta.</li><li>◆ Revisar y validar el control de las actividades programadas del proyecto en estudio utilizando información relevante (presupuestos, cronograma, entre otros), que se generó durante la planificación de la obra y que esta información pueda estar acorde con los datos necesarios para ingresarlos en la herramienta de Valor Ganado.</li><li>◆ Aplicar el método de control del valor ganado en el proyecto para evaluar el desempeño del proyecto tanto en tiempo como en costo.</li><li>◆ Determinar los factores que influyen en la variación de los costos y del tiempo en el proyecto a analizar.</li><li>◆ Realizar un análisis sobre el desempeño de las actividades de la obra para realizar los cambios necesarios contractuales y así asegurar el éxito del proyecto.<ul style="list-style-type: none"><li>◆ Desarrollar plantilla de Valor Ganado ágil y sencilla de utilizar, para facilitar el ingreso de los datos.</li></ul></li><li>◆ Elaborar un informe técnico para someterlo a consideración de la Comisión de Graduación de la Escuela de Ingeniería Civil, para su eventual publicación.</li></ul>	
<b>Producto principal del proyecto:</b> Análisis de Valor Ganado en el revestimiento del túnel de conducción de la estación 4+500 a la estación 8+000.	
<b>Entregables del proyecto:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>◆ Creación de plantillas del Valor Ganado</li><li>◆ Estimación de proyecciones</li><li>◆ Análisis de resultados</li><li>◆ Conclusiones y recomendaciones</li></ul>	

## ANEXO 4. DECLARACIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRIS

<b>PERFIL DEL PROYECTO</b>	
<b>Fecha de elaboración del perfil</b>	<b>Código del proyecto:</b> PIR-PGP-01
<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO</b>	
<b>Nombre del proyecto:</b> Proyecto Hidroeléctrico Pirris	
<b>Área funcional:</b> Dirección	
<b>Nombre del Director del proyecto:</b> Ing. Oscar Luis Vega Antonini	
<b>ENFOQUE DEL PROYECTO</b>	
<b>Descripción del proyecto</b> Consiste en la construcción de una planta hidroeléctrica con capacidad de 132 Mega Vatios y la formulación del Plan de Manejo Integral para la cuenca del Río Pirris.	
<b>Problema o necesidad de negocio u organizacional a resolver:</b> Se requiere la construcción de la planta hidroeléctrica para el aporte al sistema de interconexión eléctrica y con ello solventar las necesidades de electricidad que el país requiere. Así también la formulación de un plan de manejo integral para que sea la guía para el mejoramiento del uso de suelo y de la calidad de vida de los pobladores y el establecimiento de las bases para la conformación del Consejo de Cuenca.	
<b>Objetivos estratégicos:</b> Construcción de la Planta Hidroeléctrica. Formulación del Plan de Manejo Integral de la Cuenca.	
<b>Objetivo del proyecto:</b> Cumplir con la construcción de la planta hidroeléctrica que generara 132 Mega Vatios, en el mes de diciembre del 2010, con un costo de \$439,1 millones y la formulación del plan de manejo de cuenca. Este plan deberá de ser ejecutado a mediados del año 2011 con un costo de 348 877 500 colones	
<b>ABORDAJE DEL PROYECTO</b>	
Describe la estrategia para desarrollar el proyecto	
<b>Supuestos:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Existe el comportamiento de la alta gerencia para apoyar en lo necesario para la ejecución exitosa del proyecto.</li> <li>2. Se cuenta con los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto exitosamente en el tiempo y costo establecido.</li> <li>3. El Centro de Servicio y Diseño y el Centro de Apoyo a Proyectos proporcionará toda la información técnica necesaria para el desarrollo de obras.</li> <li>4. El ICE proporcionará los recursos necesarios para la ejecución del proyecto sea con recursos propios o financiados.</li> <li>5. Se contará con el recurso humano adecuado para realizar una debida gestión del proyecto y de la ejecución de las obras.</li> <li>6. Buen manejo de relaciones con las comunidades.</li> <li>7. Se contemplan todos los aspectos de seguridad ocupacional.</li> </ol>	

**Restricciones o limitaciones:**

1. Las políticas financieras del país.
2. Estimaciones geológicas.
3. Cantidad de equipo necesario
4. Marco jurídico que rige la contratación administrativa.
5. No se cuenta con personal suficiente que sea el idóneo (técnicos calificados para las obras)

**OTROS PROYECTOS RELACIONADOS****Proyectos Precedentes:****Proyectos siguientes:****FIRMA DE PARTICIPANTES****Administrador de proyectos****Patrocinador/ Solicitante**

Ing. Oscar Luis Vega Antonini

# ANEXO 5. DIAGRAMA DESCRIPTIVO DE OBRAS, P.H.PIRRIS



## Proyecto Hidroeléctrico Pirris Diagrama Descriptivo de Obras



**1 PRESA**

Concreto compactado con rodillo (CCR)  
Sección piramidal  
Volumen de materiales 750 000 m<sup>3</sup>  
Longitud de cresta 266 m  
Altura máxima 113 m  
Ancho de calle en la cresta 9 m  
Descarga de fondo  
Longitud 86.3 m  
Sección rectangular 3.7 x 4.8 m<sup>3</sup>/s

**2 EMBALSE**

Volumen total 36 400 000 m<sup>3</sup>  
Volumen aprovechable 36 000 000 m<sup>3</sup>  
Nivel máximo operación 1 205 m.s.n.m.  
Oscilación 160 m

**3 VERTEDOR**

Compuertas  
Altura 10.5 m  
Cantidad 3  
Tipo Radial  
Ancho total 42.1 m  
Longitud 102.7 m  
Capacidad 2 350 m<sup>3</sup>/s

**4 TOMA DE AGUA**

Adosada al talud aguas arriba de la presa  
Sección cuadrada  
Caudal de diseño 18 m<sup>3</sup>/s  
Elevación superior 1 153 m.s.n.m.  
Ancho 7 m  
Separación entre barras de reja 3 cm  
Compuerta 3.25 x 3.25 m<sup>2</sup>

**5 CONTRAPRESA**

Altura 27 m  
Distancia de la presa 18 m  
Profundidad de embalse 13 m  
Volumen de concreto 15 000 m<sup>3</sup>  
Longitud de cresta 38 m

**6 TUNEL DE CONDUCCION**

Longitud total 10 508 m  
Tramo al 1.5% (al inicio) 3 555 m  
Tramo al 7.7% 6 754 m  
Tramo al 1% (al final) 200 m  
Diámetro interno revestido 3.4-3.2 y 2.3  
Longitud de túnel blindado (\*) 4 000 m

**7 CERRO PLACAS**

Altitud máxima 2 220 m.s.n.m.  
Cobertura de túnel máxima 1 000 m

**8 TUBERIA FORZADA**

Longitud total 747.5 m  
Diámetro 2.2 y 2.0 m  
Separación de molduras 12 m  
Diámetro del bifurcador 1.3

**9 RESTITUCION**

Túnel revestido con sección de herradura  
Longitud 245 m  
Radio superior 1.65 m  
Radio inferior 3.3 m  
Elevación de salida 298

**10 CASA DE MAQUINAS**

Forma circular en planta, superficial con 5 niveles bajo la superficie del terreno

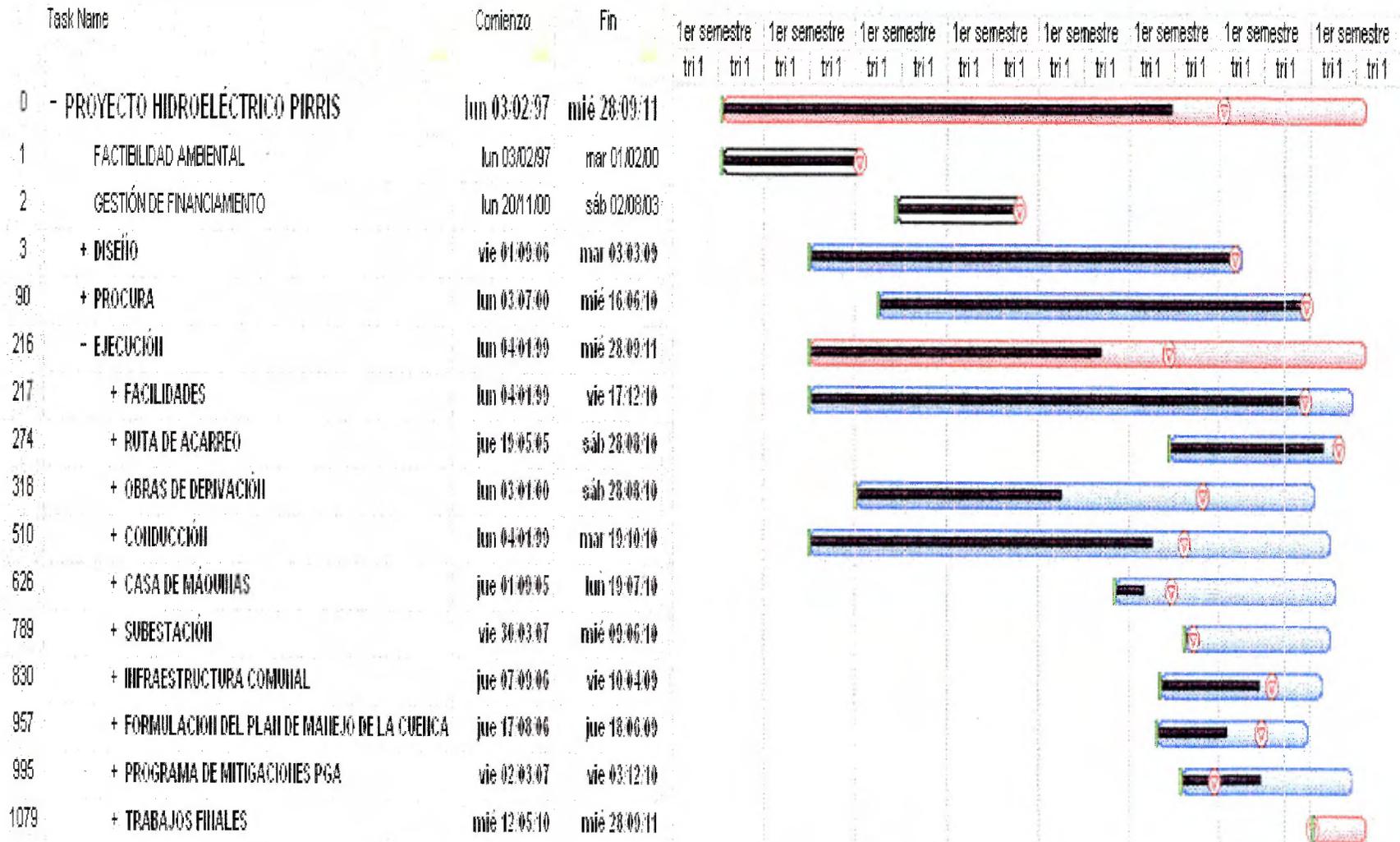
**Turbinas**

Das unidades tipo pelton  
Caida bruta 875 m  
Caida neta 830.7 m  
Caudal 18 m<sup>3</sup>/s  
Potencia instalada 128 MW  
Velocidad de giro 720 rpm

**Generadores**

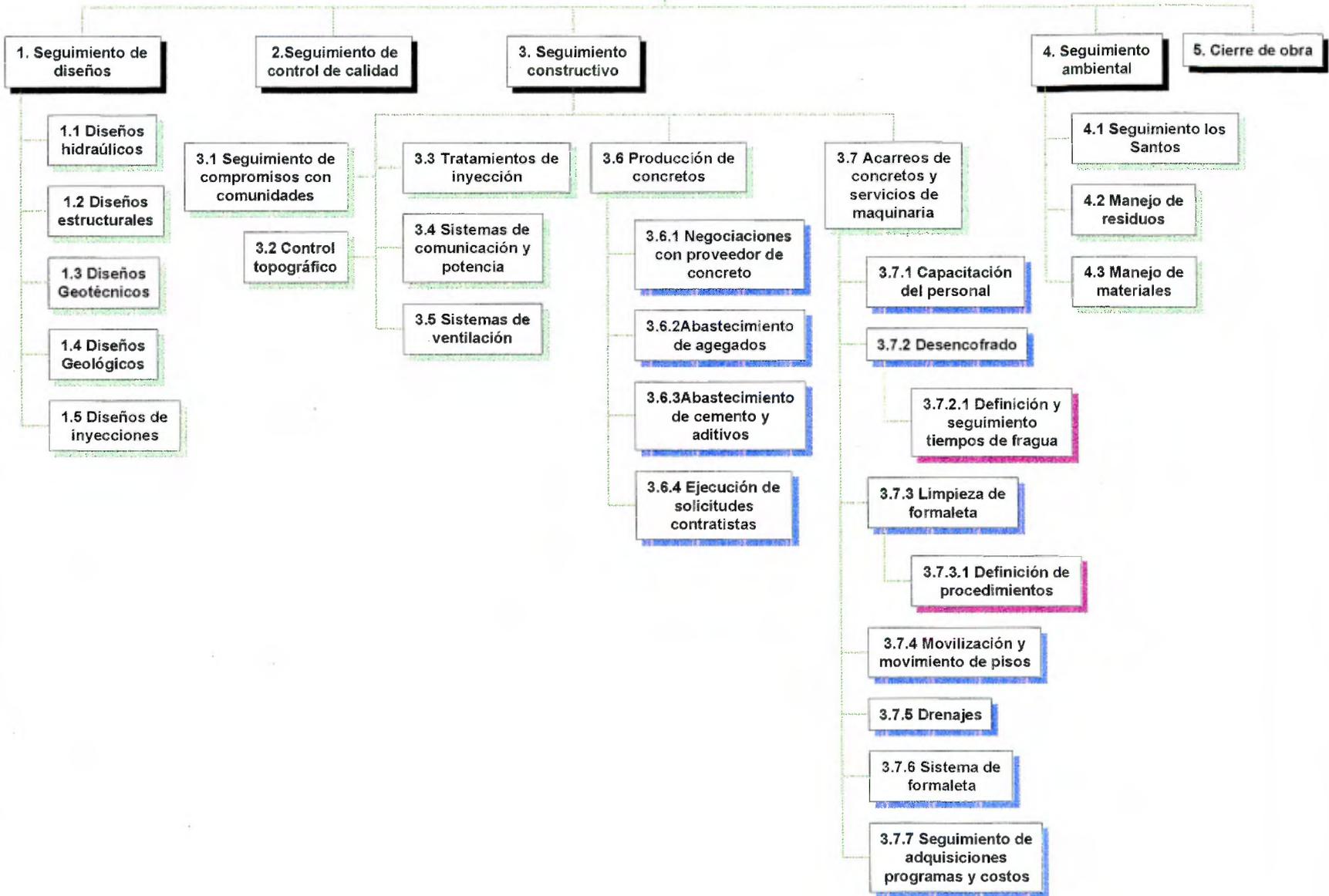
Das unidades de 71.8 MVA  
Factor de potencia 0.90

## ANEXO 6. CRONOGRAMA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PIRRIS.



### WBS del revestimiento del túnel de conducción de la estación 8+000 a la 8+850

Revestimiento del túnel tramo 8+850 a 8+000



### WBS original del revestimiento del túnel de conducción de la estación 8+000 a la 8+850



WBS actual del revestimiento del túnel de conducción de la estación 8+000 a la 8+850

