

“Diseño de la implementación de la metodología de la Cadena Crítica para la planeación del montaje mecánico montaje mecánico de los equipos de las naves de almacenamiento del proyecto Columbus línea 4 de Zona Franca Argos a través de un ejercicio comparativo entre la metodología utilizada y la propuesta”.

SINDI CAROLINA MERCADO VÁSQUEZ

KAROL JOSÉ ARRIETA GÓMEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CARTAGENA DE INDIAS

2009

“Diseño de la implementación de la metodología de la Cadena Crítica para la planeación del montaje mecánico montaje mecánico de los equipos de las naves de almacenamiento del proyecto Columbus línea 4 de Zona Franca Argos a través de un ejercicio comparativo entre la metodología utilizada y la propuesta”.

SINDI CAROLINA MERCADO VÁSQUEZ

KAROL JOSÉ ARRIETA GÓMEZ

**Trabajo de investigación presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero Industrial**

Luis Ignacio Morales Eckardt

Director de la Monografía

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CARTAGENA DE INDIAS

Nota de Aceptación:

Cartagena de Indias, 5 de Agosto de 2009

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Atte: Comité Curricular

Programa de Ingeniería Industrial

Ciudad

Respetados señores:

De la manera más atenta nos permitimos poner a su consideración y evaluación, la monografía titulada **“DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA CADENA CRITICA PARA LA PLANEACIÓN DEL MONTAJE MECÁNICO DE LOS EQUIPOS DE LAS NAVES DE ALMACENAMIENTO DEL PROYECTO COLUMBUS LÍNEA 4 DE ZONA FRANCA ARGOS A TRAVÉS DE UN EJERCICIO COMPARATIVO ENTRE LA METODOLOGÍA UTILIZADA Y LA PROPUESTA”** elaborado por **Karol José Arrieta Gómez** y **Sindi Carolina Mercado Vásquez**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial y aspirantes al título como Ingenieros Industriales

Esperamos que la presente investigación se ajuste a las expectativas y criterios de la Universidad para este tipo de trabajos.

Atentamente,

KAROL JOSE ARRIETA GOMEZ

SINDI CAROLINA MERCADO VASQUEZ

C.C. 1.128.053.436 de C/gena

C.C. 1.128.056.902 de C/gena

Cartagena de Indias, 5 de agosto de 2009.

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Atte: Comité Curricular

Programa de Ingeniería Industrial

Ciudad

Respetados señores:

Por medio de esta me permito informarles que he llevado a cabo la dirección de la monografía de las estudiantes Karol José Arrieta Gómez y Sindi Carolina Mercado Vásquez, titulado **“DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA CADENA CRITICA PARA LA PLANEACIÓN DEL MONTAJE MECÁNICO DE LOS EQUIPOS DE LAS NAVES DE ALMACENAMIENTO DEL PROYECTO COLUMBUS LÍNEA 4 DE ZONA FRANCA ARGOS A TRAVÉS DE UN EJERCICIO COMPARATIVO ENTRE LA METODOLOGÍA UTILIZADA Y LA PROPUESTA”**. Por tanto, pongo a consideración para su evaluación y calificación correspondiente.

Atentamente,

LUIS IGNACIO MORALES ECKARDT



ConConcreto



H.L. INGENIEROS
diseño y montaje de proyectos industriales

CONSORCIO CC-HL COLUMBUS


Cartagena de Indias, 2 de Febrero de 2009

Señores:
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Ciudad

Apreciados Señores:

Por medio de la presente les informamos que los estudiantes **Sindi Mercado Vásquez y Karol Arrieta Gómez** se encuentran autorizados para trabajar en nuestra empresa Consorcio CC-HL Columbus con el fin de presentar un trabajo de grado. Para tal fin cuentan con nuestro apoyo, permitiéndonos brindarle toda la información necesaria y pertinente para el desarrollo de dicho trabajo, esperando que la investigación y evaluación de nuestra empresa, permitan generar un concepto para el mejoramiento de esta.

Atentamente,



LUIS ALEJANDRO DELGADO MORA
Director Consorcio

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena de Indias, 5 de Agosto de 2009

AGRADECIMEINTOS

Agradezco a mis Padres, por brindarme su apoyo incondicional, confianza y sabios consejos, pues gracias a ellos puedo disfrutar de este triunfo.

Agradezco a mis Amistades, por sus consejos, cariño, comprensión, y en especial por creer en mí.

Agradezco a Luis Morales Eckardt, asesor de la monografía, por depositar su confianza en nosotros para la realización de este proyecto investigativo, aportándonos su apoyo y conocimientos; los cuales han sido útiles e imprescindibles para el desarrollo de la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios porque siempre he estado presente en cada momento de mi existencia

A mis padres, hermanos y familiares quienes me brindaron su comprensión apoyo y cariño a quienes agradezco de todo corazón y los llevo conmigo en todo momento, En especial a mi madre Marcela Vásquez por su confianza y sabios consejos en la realización de esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi Director de Monografía Ingeniero Luis Morales Eckardt quien deposito la confianza en nuestro proyecto, orientándonos con sus conocimientos y estimulándonos durante la relación de este trabajo de grado.

AL Consorcio CCHL Columbus por su apoyo y colaboración en el suministro de la información para la realización de esta investigación.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, contribuyeron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

INTRODUCCION

Para el año 2007, surge la necesidad de Argos de aumentar la capacidad de producción en la zona norte de Colombia para exportar a los EE.UU. Con base en la demanda proyectada y a la oportunidad de mercado, buscando ocupar un papel líder como exportadores de cemento.

Argos en su intención de satisfacer estas necesidades decide ampliar su planta, a través del *Proyecto Columbus*. El cual está definido como la ampliación de capacidad de producción de Cementos Argos, por medio de la construcción y puesta en marcha de las líneas de producción N° 4 en la planta Cartagena.

En julio del 2007, fue otorgada la licitación al Consorcio CCHL Columbus, el cual se encuentra constituido como la unión temporal de dos empresas constructoras (Concreto y H.L. Ingenieros), especializadas en dos áreas diferentes, la construcción civil y la electromecánica respectivamente.

Dada la escala e importancia del proyecto Columbus, surge la oportunidad de realizar un ejercicio comparativo entre la forma como el Consorcio CCHL Columbus se encuentra ejecutando las diferentes actividades de construcción con base a su planeación, y la forma como éstas se podrían realizar con la metodología de gestión de proyectos con Cadena Critica (CCPM) y análisis de las restricciones.

En este sentido, este estudio tiene como objetivo principal adecuar la metodología Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, con objeto de realizar una comparación con las técnicas tradicionales empleadas por el Consorcio CC-HL Columbus para la planeación y gestión de sus proyectos, esperando evidenciar los beneficios que esta conllevaría para dicha organización en términos de lograr una ventaja competitiva.

Luego se realiza la caracterización de las prácticas empleadas actualmente en los procesos de planeación de proyectos en el Consorcio CCHL Columbus, procediendo a implementar la metodología de Cadena Critica en los procesos de planeación y ejecución del montaje de los equipos mecánicos (Stacker) en las naves de

almacenamiento de caliza¹ y carbón mineral².

Por último, se comparan los resultados y se proponen las conclusiones obtenidas con la metodología utilizada por el Consorcio con la propuesta por la teoría de las restricciones.

CONTENIDO

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	15

¹ Roca sedimentaria compuesta en más de un 90% por carbonato cálcico.

² Es una roca sedimentaria utilizada como combustible fósil, de color negro, muy rico en carbono.

1.2 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	20
1.3.1 Objetivo general.....	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	21
2.1 PROYECTOS.....	21
2.2 FASES DE LOS PROYECTOS.....	23
2.3 GESTIÓN CLÁSICA DE PROYECTOS (PERT /CPM).....	24
2.4 TEORÍA DE RESTRICCIONES.....	27
2.5 CADENA CRÍTICA.....	29
2.6 GESTIÓN DE PROYECTOS CON CCPM.....	31
2.7 ETAPAS Y PASOS PARA ADAPTAR LA CADENA CRÍTICA.....	34
2.7.1 Elaboración del grafo.....	34
2.7.2 Identificación del Recurso más cargado.....	35
2.7.3 Eliminación de las multitareas.....	35
2.7.4 Identificación Cadena Crítica.....	35
2.7.5 Calculo de amortiguadores del proyecto.....	35
2.7.6 Control del proyecto.....	35
3 CARACTERIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE PROYECTOS EN EL CONSORCIO CCHL COLUMBUS.....	37
3.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO COLUMBUS.....	37
3.1.1 Ubicación.....	37
3.1.2 Información general del Proyecto Columbus.....	37
3.1.3 Historia.....	37
3.1.4 Misión.....	39
3.1.5 Visión.....	39
3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y METODOLOGÍA.....	39
3.2.1 Descripción del área de montaje.....	39
3.2.2 Proceso de planeación.....	43
3.2.3 Planeación de los recursos a utilizar.....	46

3.2.4 Control de avance del programa detallado de trabajo.....	47
3.2.5 Análisis de la metodología	48
4 COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS TRADICIONALES DE PLANEACIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA.	50
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PARA EL MONTAJE MECÁNICO DE LOS EQUIPOS	50
4.1.1 Acopio de materiales y equipos en el área de montaje	53
4.1.2 Instalación de platinas.....	54
4.1.3 Montaje líneas de riel.....	54
4.1.4 Alineación y nivelación de rieles	54
4.1.5 Ensamble sistema de Rotación Boom	54
4.1.6 Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación.....	55
4.1.7 Ensamble de la estructura y sistema tensor.....	55
4.1.8 Montajes de los rodillos y poleas	55
4.1.9 Montaje de boom del Stacker sobre el péndulo de soporte	55
4.1.10 Instalación de equipos periféricos (Tripper Car).....	56
4.1.11 Instalación de correas y cintas	56
4.1.12 Pruebas	56
4.2 CONSTRUCCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN CON CADENA CRÍTICA.....	59
4.2.1 Identificación de recurso más cargado.....	59
4.2.2 Identificación de la Cadena Crítica.....	67
4.2.3 Administración de buffers.....	69
4.2.3.1 <i>Calculo del Buffer de Terminación.....</i>	<i>75</i>
4.2.3.1 <i>Calculo del Buffer de Alimentación.....</i>	<i>76</i>
4.2.4 Control: indicadores para la priorización de recursos.....	78
5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	79

5.1 DISEÑO DE ESCENARIOS PARA LA PLANEACIÓN CON CADENA CRÍTICA.....	79
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA ESCENARIO.....	79
5.2.1 Escenario Pesimista.....	80
5.2.2 Escenario Optimista.....	80
5.2.3 Escenario Promedio.....	81
5.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA PROPUESTA A LA LUZ DE LOS AVANCES DEL PROYECTO.....	83
5.4 CALCULO DE LAS ECONOMIAS LOGRADAS AL APLICAR LA PROPUESTA ..	86
6.CONCLUSIONES	96

FIGURAS

Figura 1. Representación de la cadena crítica CCPM	31
Figura 2. Organigrama general del proyecto Columbus.....	39
Figura 3. Niveles jerárquico del área de montaje mecánico.....	40
Figura 4. Proceso de planeación de las áreas de Montaje.....	43
Figura 5.Diagrama de flujo de la instalación de Stacker	52

Figura 6. Programa detallado de trabajo montaje de las naves de almacenamiento con recursos	57
Figura 7. Ruta Crítica.....	58
Figura 8. Programación de la cuadrilla especializada en el stacker de caliza	61
Figura 9. Programación de la cuadrilla especializada en el stacker de carbón	62
Figura 10. Programación de la cuadrilla de montaje en el stacker de caliza	62
Figura 11. Programación de la cuadrilla montaje en el stacker de carbón	63
Figura 12. Programación de la cuadrilla de estructura en el stacker de caliza	63
Figura 13. Programación de la cuadrilla de estructura en el stacker de carbón	64
Figura 14. Identificación de recurso más cargado.....	66
Figura 15. Cadena Crítica para el Stacker de caliza	68
Figura 16. Cadena Crítica para el Stacker de carbón	68
Figura 17. Cadena Crítica con amortiguadores.....	77
Figura 18. Duración del proyecto propuesta	80
Figura 19. Duración del proyecto por el Consorcio	80
Figura 20. Duración del proyecto propuesta Escenario Optimista.....	80
Figura 21. Duración del proyecto propuesta Escenario Promedio.....	80
Figura 22. Estimación de la terminación del proyecto con los rendimientos actuales ..	84

TABLAS

Tabla 1. Actividades realizadas por las cuadrillas de Especializada en el Stacker de caliza	61
Tabla 2. Actividades realizadas por las cuadrillas de Especializada en el Stacker de carbón.....	62
Tabla 3. Actividades realizadas por las cuadrillas de Montaje para Stacker de caliza	62
Tabla 4. Actividades realizadas por las cuadrillas de Montaje para Stacker de	63
Tabla 5. Actividades realizadas por las cuadrillas de Estructura en el Stacker de caliza	63

Tabla 6. Actividades realizadas por las cuadrillas de Estructura en el Stacker de carbón.....	64
Tabla 7. Resumen del uso de los recursos	64
Tabla 8. Comparación de los tiempos para propuesta de CCPM pesimista	80
Tabla 9. Comparación de los tiempos para propuesta de CCPM optimista	81
Tabla 10. Comparación de los tiempos para propuesta de CCPM promedio.....	82
Tabla 11. Cálculo de estimación de tiempos con el nuevo rendimiento	84
Tabla 12. Comparación de los resultados con rendimiento actual en escenario pesimista.....	85
Tabla 13. Comparación de los resultados con rendimiento actual en escenario optimista	85
Tabla 14. Comparación de los resultados con rendimiento actual en escenario promedio.....	85
Tabla 15. Tabla resumen de los escenarios analizados aplicando Cadena Crítica	87
Tabla 16. Ahorros con Cadena Crítica (escenario pesimista)	87
Tabla 17. Ahorros con Cadena Crítica (escenario optimista)	89
Tabla 18. Ahorros con Cadena Crítica (escenario promedio)	90

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La naturaleza de los proyectos implica un alto grado de incertidumbre, que conlleva a la aparición de problemas comunes en este campo, tales como la alta probabilidad de sobrepasar el presupuesto, el incumplimiento de las fechas de entrega pactadas y el rediseño del proyecto, por razones de reducción de costos o de tiempo. Muchas de estos problemas (aunque no todos) obedece a falencias de las herramientas de gestión clásica de proyectos a saber: CPM y PERT.

Actualmente, el Consorcio CCHL Columbus, empresa dedicada a obras civiles, lleva a cabo el proyecto Columbus, que incluye la ampliación de la planta de cemento que hace parte de la renovación tecnológica y aumento de producción de la empresa Cementos Argos S.A. en la ciudad de Cartagena. Las herramientas de gestión adoptadas por el Proyecto Columbus (CPM y PERT) para la planeación y ejecución de sus actividades no consideran factores decisivos en la solución de problemas, tales como la limitación de recursos, las causas e implicaciones de la variabilidad de los tiempos, la influencia del comportamiento humano y la problemática específica de los entornos Multiproyectos.

Dada la escala e importancia del proyecto Columbus, surge la oportunidad de realizar un ejercicio comparativo entre la forma como el Consorcio CCHL Columbus se encuentra ejecutando las diferentes actividades de construcción con base a su planeación, y la forma como éstas se podrían realizar con la metodología de gestión de proyectos con Cadena Critica (CCPM), y mostrar a los planeadores de proyectos del Consorcio, los pasos necesarios para el desarrollo de dicha metodología y los beneficios que se obtendrían con los resultados de este proyecto, los cuales se encuentran relacionados con el cumplimiento en la fecha asignada, los costos y la calidad establecida en el planteamiento inicial del proyecto. Es así como se pretende generar interés del Consorcio CCHL Columbus adaptando esta metodología en proyectos futuros.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En Colombia, la industria de la construcción representa uno de los sectores más importantes y estratégicos para el desarrollo del país y sus productos inciden de forma directa e indirecta en el desarrollo de la sociedad, es también (sic) una compleja y dinámica cadena de actividades sucesivas que se intercalan sujetas a una

programación preestablecida y normalmente ejecutadas con un presupuesto fijado con anterioridad al principio de la obra³.

Como resultado de la globalización, la formación de consorcios entre las empresas del sector de la construcción es un fenómeno que empezó en los 90 a raíz del aumento del tamaño de los contratos. Así, se busca incrementar la tecnología, potenciar fortalezas y obviar debilidades. Los consorcios existen desde hace muchos años, operaban con menor frecuencia y a diferentes escalas, sin embargo, actualmente, la conformación de consorcios es una manifestación importante del cambio en el modo de gestión de la industria del sector. De hecho, el primer beneficio que se obtiene es el intercambio de experiencias con empresas similares: Se produce un primer benchmarking en forma muy natural y como la razón de un consorcio es un proyecto más especializado, comienzan a buscarse nuevas técnicas para llevarlo a cabo⁴.

Actualmente el Consorcio CC-HL Columbus es el encargado de la realización de la expansión de la planta de Cementos Argos, en la Zona Industrial de Mamonal. El proyecto, en su totalidad, constituye una de las inversiones privadas más grandes a desarrollar por el Sector Industrial en el 2009 en Colombia, teniendo un impacto significativo para la compañía no solo por su inminente renovación tecnológica, sino por la ampliación de su infraestructura física que, al permitir una mayor movilización de materias primas y productos terminados, conlleva a un inminente aumento en los niveles de producción de la empresa, y en últimas, a consolidar a Argos S.A como el mayor transportador de carga terrestre del país y mantener su liderazgo en la industria cementera colombiana al contar actualmente con una participación en el mercado del 51%⁵. Así mismo, dicho proyecto se encuentra asociado con beneficios notables para el entorno social de la ciudad de Cartagena, al aportar nuevas fuentes de trabajo para

³LOPEZ GARZON, Fredy Alberto. Administrador y constructor arquitectónico, especialista en gerencia y salud ocupacional. Impacto del sector de la construcción en Riesgos Profesionales. [diapositivas]. Bogotá D.C.

⁴ MAJLUF Z, Viviana. Cambio de Gestión en la Industria de la Construcción: Reportaje especial. En: Revista BIT. Junio 2002, N° 26

⁵ Tomado de: www.argos.com.co

la mano de obra local, y velar por el mejoramiento del nivel de la calidad de vida del personal adscrito a este proyecto, y el bienestar de la comunidad en general.

Al ser este un proyecto de inversión privada, el control sobre los costos y las fechas de entregas es muy estricto, por lo que el incumplimiento de cualquiera de las variables involucradas en el proyecto, se traduce en altos costos y multas para la empresa. Ante ello, es necesario un efectivo control y seguimiento de sus actividades para evitar así sobrecostos por incumplimiento de tiempos de culminación de tareas, a causa de una programación incorrecta de los recursos utilizados durante la ejecución de las actividades, subvaloración de las variables presentes en un mundo en constante dinamismo, el incremento de las exigencias y condiciones de los clientes, en términos de tiempos de entregas en las fechas pactadas con altos niveles de calidad y al mínimo costo posible.

Cabe resaltar que la Planeación y el Control son fundamentales para la Administración de un proyecto, puesto que evitan o mitigan la ocurrencia de problemas a lo largo de la ejecución del proyecto y reducen al mínimo su impacto sobre el logro del objetivo principal. De hecho, recientes estudios han demostrado que la planificación de un proyecto representa aproximadamente sólo un 10% del costo total de un proyecto, sin embargo, controla la ejecución global de éste; por lo tanto una mala planificación representa la causa principal de los problemas en la construcción, como la no disponibilidad o inadecuado uso de los recursos y, por el contrario, una buena planificación es la clave para lograr una buena eficiencia y efectividad⁶.

Dado que esta empresa gestiona sus proyectos industriales con herramientas tradicionales de planeación, tales como PERT y CPM, este proyecto tiene como propósito la presentación y diseño de la metodología de gestión de la Cadena Crítica para el proyecto del Consorcio CCHL Columbus, para la planeación de un área en específico y de una sola operación crítica: El montaje mecánico de los equipos de las naves de almacenamiento del proyecto Columbus línea 4 de Zona Franca Argos.

⁶ ROJAS VERA, Raúl. La Construcción. Tomado de: <http://www.monografias.com/trabajos25/construccion/construccion.shtml>

Dentro de los beneficios esperados de la implementación de esta metodología se encuentra la satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente (Zona Franca Argos) acorde con los compromisos adquiridos, como consecuencia del cumplimiento de las fechas de entrega, las especificaciones técnicas que definen los lineamientos de la calidad en el servicio prestado, la estimación de tiempos más reales, así como cero multitareas⁷, entre otros aspectos.

Para garantizar que este Trabajo de Grado contribuya a la creación de valor agregado a los procesos de planeación dentro del Consorcio CCHL Columbus, es necesario demostrar que el uso de la metodología Cadena Critica genera mayores beneficios para el desarrollo de los proyectos de construcciones y montajes, a través de los resultados obtenidos en el ejercicio comparativo entre la metodología tradicional y la metodología propuesta en este proyecto.

⁷ Multitarea: es cuando un recurso es utilizado en más de una actividad para realizarse simultáneamente, sin una priorización clara.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Adecuar la metodología Gestión de Proyectos con Cadena Crítica, con objeto de realizar una comparación con las técnicas tradicionales empleadas por el Consorcio CC-HL Columbus para la planeación y gestión de sus proyectos, esperando evidenciar los beneficios que esta conllevaría para dicha organización en términos de lograr una ventaja competitiva.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las prácticas empleadas actualmente en los procesos de planeación de proyectos en el Consorcio CC-HL Columbus.
- Aplicar la metodología Cadena Crítica en los procesos de planeación y ejecución del montaje de los equipos mecánicos (Stacker) en las naves de almacenamiento de caliza⁸ y carbón mineral⁹ del Consorcio CCHL Columbus línea 4 de Zona Franca Argos.
- Comparar los resultados obtenidos con la metodología utilizada por el Consorcio CCHL Columbus con la propuesta por la Teoría de las Restricciones (Cadena Crítica).

⁸ Roca sedimentaria compuesta en más de un 90% por carbonato cálcico.

⁹ Es una roca sedimentaria utilizada como combustible fósil, de color negro, muy rico en carbono.

2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

A continuación se presenta una descripción general de los conceptos y metodologías de administración de proyectos. De esta manera es posible conocer la definición de un proyecto, sus características, su concepción y cada una de sus etapas de realización, así como las técnicas de aplicación para la gestión de proyectos como son PERT, CCPM y Cadena Crítica.

2.1 PROYECTOS

Un proyecto es una serie de planteamientos encaminados a la producción de un bien o la prestación de un servicio con el empleo de una cierta metodología y con miras a obtener determinado resultado, desarrollo económico o beneficio social¹⁰. Así mismo, un proyecto es esencialmente un conjunto de actividades interrelacionadas, con un inicio y una finalización definida, que utiliza recursos limitados para lograr un objetivo deseado¹¹. Esta definición incluye dos elementos claves: Las actividades o las tareas que deben ejecutarse para llegar en conjunto a un objetivo preestablecido; y los recursos que son los elementos implementados para efectuar la ejecución de cada una de las tareas.

Por lo tanto, es necesario elaborar un programa calendario en el cual los recursos se asignen a cada una de las actividades que conforman el proyecto, es así como, la secuencia de las actividades se convierte en un elemento clave a la hora de considerar la elaboración de un proyecto. Dicha secuencia es realizada con base en el método, el tiempo y el costo de cada operación.

¹⁰ HERNÁNDEZ, Abraham, HERNÁNDEZ V, Abraham , HERNÁNDEZ S. Alejandro. Formulación y evaluación de proyectos de inversión.5° ed. Cengage Learning Editores, 2005, pág. 3.

¹¹ Tomado de : <http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/proyectoinformatico/libro/c1/c1.htm>

Un aspecto fundamental en el desarrollo de un proyecto, es el establecimiento de un objetivo específico y concreto, el cual surge como respuesta de una idea que busca dar una solución a un problema o simplemente como una forma de sacar provecho de una oportunidad de negocio. Independientemente del tipo de proyecto a llevar a cabo, es necesario definir su objetivo en términos de tiempo, alcance y costos, con el fin de determinar su viabilidad y su posterior aplicación.

La existencia de un marco de tiempo definido, es de vital importancia en un proyecto, el cual debe tener estipulada una fecha de inicio y una de finalización, que indique la culminación del proyecto y el alcance del objetivo inicial. Todo proyecto se caracteriza por tener un grado de incertidumbre, puesto que la planeación de las actividades se realiza bajo una cantidad determinada de suposiciones y estimaciones que ejercen influencia en el desarrollo del programa, su presupuesto y su alcance, de hecho, el ambiente de un proyecto se basa en las actividades y estimaciones de cuánto va durar cada una de ellas, así como las cantidades de recursos necesarios y suposiciones acerca de la disponibilidad y los rendimientos de estos, y por ultimo en estimaciones de los costos asociados. Esta mezcla de estimaciones y suposiciones genera cierto grado de incertidumbre con respecto al cumplimiento de los objetivos o no, con base a los términos pactados¹².

No obstante, a través de un proceso conocido como "identificación, formulación, evaluación y gestión de proyectos", que se suele enmarcar en un concepto más amplio de "planeación" se aspira orientar la utilización adecuada de los escasos recursos buscando siempre objetivos de crecimiento económico y social¹³. De esta forma, se requiere mayor información sobre la rentabilidad (financiera, económica y social) de los proyectos e idear mecanismos que permitan establecer la combinación óptima de los recursos y al mismo tiempo, programar la inversión en función de dichas rentabilidades.

¹² GIDO, Jack; CLEMENTS, James. Administración de proyectos exitosos.3° ed. THOMSON. capítulo 1. Pág. 4-5.

¹³ MIRANDA MIRANDA, Juan José. GESTION DE PROYECTOS: IDENTIFICACION, FORMULACIÓN, EVALUACIÓN financiera, económica, social y ambiental.4°ed.

2.2 FASES DE LOS PROYECTOS

Los proyectos se desarrollan en una serie de fases o etapas que inician con la identificación de una necesidad, problema u oportunidad y culminan con la evaluación de los resultados obtenidos en cuanto a costos, fechas de entrega y calidad. Inicialmente, es necesario realizar la identificación clara y precisa del problema, necesidad u oportunidad, con el fin de mejorar la situación existente a partir de los cambios y ventajas que ofrezcan el inicio del proyecto.

En la Fase de Iniciación, se lleva a cabo el planteamiento de la idea principal del proyecto y se analizan las estrategias a utilizar para el desarrollo del proyecto, con base en los objetivos y los recursos necesarios para la ejecución de las actividades.

Posteriormente, en la Planificación y Diseño del proyecto se organiza la información obtenida en la fase anterior, considerando las prioridades del proyecto, los recursos físicos y económicos, el cronograma del proyecto y los costos necesarios para ejecutar cada una de las tareas que componen el proyecto.

Seguido a esto, en la Fase de Ejecución, se realizan las pruebas con el prototipo para validar la funcionalidad de la solución y luego se desarrollan las actividades planificadas anteriormente, teniendo en cuenta que la gestión de los recursos sea la adecuada. Esta fase comienza después de que se celebra un contrato o acuerdo entre el cliente y el contratista o equipo del proyecto, y termina cuando el objetivo del proyecto se logra y el cliente queda satisfecho con el trabajo porque se ha completado con calidad, dentro del presupuesto y a tiempo¹⁴.

El monitoreo y el seguimiento del trabajo realizado con la comparación del avance en la ejecución del mismo en contraste con lo planificado en un principio se lleva a cabo

¹⁴ GAITHER, Norman, FRAZIER, Greg, FRAIZER Greg coaut. Administración de producción y operaciones. 8° ed. Cengage Learning Editores,2000.

en la Fase de Control. Esta fase consiste en reunir datos de manera regular acerca del desempeño del proyecto al comparar el desempeño real con el desempeño planeado¹⁵. Además, incluye la toma de decisiones y el curso de acciones y correctivos, cuando los resultados se desvíen del plan de trabajo estipulado.

Finalmente, en la Evaluación del proyecto se evalúa el desempeño del proyecto en cuanto a los costos, beneficios, utilidades, nivel de satisfacción del cliente y si efectivamente se cumplieron las expectativas de estos¹⁶.

2.3 GESTIÓN CLÁSICA DE PROYECTOS (PERT /CPM)

A inicios del siglo XX, apareció el diagrama de barras desarrollado por Henry Gantt, el cual ayudó notablemente en los procedimientos de programación y control de los proyectos. Sin embargo, el problema de la administración de proyectos surgió con el proyecto de armamentos de Polaris, en 1958. Debido a la gran cantidad de componentes y subcomponentes juntos producidos por diversos fabricantes se necesitaba una nueva herramienta para programar y controlar el proyecto¹⁷. Se buscaba el control y la optimización de tiempos y costos mediante la planeación adecuada de las actividades involucradas, fue entonces a mediados del siglo pasado cuando surgieron paralelamente dos propuestas complementarias entre sí: El modelo PERT y la técnica CPM, las cuales permitieron un mayor control sobre proyectos de gran complejidad y con un alto grado de ingeniería.

El PERT (Evaluación de Programa y Técnica de Revisión) fue desarrollado por científicos de la oficina Naval de Proyectos Especiales: Booz, Allen y Hamilton y la División de Sistemas de Armamentos de la Corporación Lockheed Aircraft. Casi al mismo tiempo, la Compañía DuPont, junto con la División UNIVAC de la Remington Rand, desarrollaron el método de la ruta crítica (CPM) para controlar el mantenimiento

¹⁵ GAITHER, Norman, FRAZIER, Greg, FRAIZER Greg coaut. Administración de producción y operaciones. 8° ed. Cengage Learning Editores,2000.

¹⁶ GIDO, Jack; CLEMENTS James. Administración de proyectos exitosos. 3° ed. Editorial THOMSON capítulo 1. Pág. 9.

¹⁷ Tomado de : http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/pertcpm/

de proyectos de plantas químicas de DuPont¹⁸. Existen dos formas gráficas de representar proyectos, ampliamente divulgadas y utilizadas, como son: El diagrama de Gantt y las redes de nodos PERT/CPM. Las herramientas de programación basadas en las redes, como PERT y CPM, pueden emplearse como junto con los diagramas de Gantt o como reemplazo de esta.

Aunque el CPM conserva las mismas características de concepto y metodología que el PERT, y ambas técnicas persiguen un mismo objetivo consistente en ahorrar el mayor tiempo posible en la ejecución de un proyecto; la diferencia principal entre ambas técnicas cuantitativas de evaluación de proyectos radica en el método de estimación de tiempo de las actividades que componen el proyecto, pues mientras el PERT utiliza tiempos probabilísticos en proyectos que no se han ejecutado nunca o se han ejecutado pocas veces mientras que el CPM aplica tiempos determinísticos o conocidos, debido a que proyectos similares han sido ejecutados con el paso del tiempo.

El PERT es una técnica recomendada en la planeación y control, donde se presenten múltiples actividades o eventos estrechamente interrelacionados o interdependientes que se desarrollan en periodos variables¹⁹. El manejo de un proyecto con PERT-CPM se encuentra dividido en tres fases: Planeamiento, Programación y Control²⁰. La primera es la fase en la cual se divide un proyecto en actividades, se establece el tiempo necesario para ejecutarlas, se determinan las relaciones de precedencia entre ellas y se concluye con la elaboración del modelo del proyecto llamado Diagrama de Flechas o Red del Proyecto, por esto, la técnica está incluida dentro de las técnicas de redes.

¹⁸ROMERO José Antonio. Evaluación de Proyectos y Economía Matemática.2004.Tomado de : <http://www.gestiopolis.com/recursos2/documentos/fulldocs/eco/adproyectanto.htm>

¹⁹ CHIAVENATO, Idalberto. Introducción a la Teoría General de la administración. 5° ed. Bogota D.C: Editorial Mc Graw Hill, 1999. pág. 338

²⁰ OMAÑA Zoraida. Manual de Investigación de Operaciones. Universidad de Carabobo.

En la siguiente fase, o Programación se calculan los tiempos de ocurrencia de los eventos, los tiempos más tempranos y más tardes de iniciación y finalización de las actividades. Se calculan las holguras de tiempo disponible y se aíslan las Actividades Críticas, con holgura cero, que conformarán el Camino Crítico de la Red. Todo ello se muestra en los Programas de Tiempos de Ocurrencia de Eventos y de Ejecución de Actividades.

Finalmente, la etapa de Control corresponde a la etapa de supervisión ejecutada a las actividades que componen el proyecto, utilizando lo obtenido en etapas previas; es decir, el Diagrama de Flechas y el Programa de Tiempos de Ejecución de las Actividades, lo anterior, indica que no puede planearse y programarse sin realizar la supervisión necesaria que garantice el cumplimiento de lo establecido.

Por otro lado, y a pesar que el método PERT posee tres estimados de tiempo: (optimista, pesimista y normal), ante la dificultad de establecer con exactitud el tiempo de cada actividad, no es suficiente para definir una función de probabilidad y controlar las causas e implicaciones de la variabilidad de diferentes eventos. Por lo cual, es preciso observar que las actividades que conforman un proyecto no son necesariamente independientes entre sí, conllevando a que cualquier anotación sobre el comienzo y terminación de una actividad deberá contemplar no solamente la variabilidad asociada a la misma, sino también la correspondiente a las actividades precedentes²¹.

En general, estos métodos clásicos parten de la secuencia lógica en la realización de las actividades que forman un proyecto, y fueron diseñados para proporcionar diversos elementos de utilidad para los administradores del proyecto, uno de estos es el análisis de la “ruta crítica” o “camino crítico”, que se forma a partir de un diagrama de flechas o de red, y que corresponde al camino de mayor duración entre la fecha de inicio y finalización del proyecto. Cualquier actividad que se retrase en su realización sobre esta ruta crítica determina el atraso del proyecto, por esta razón surge la

²¹ MIRANDA Juan José .Teoría de las restricciones o cadena crítica. Tomado de :<http://iaap.wordpress.com/2007/09>

necesidad de diseñar un control en todas y cada una de las actividades que la componen.

2.4 TEORÍA DE RESTRICCIONES

La Teoría de Restricciones nació como solución a un problema de optimización de la producción creada por el Dr. Eli Goldratt, a principios de los 80's y desde entonces ha tenido aplicaciones exitosas en diversos ámbitos tales como el área de proyectos con su metodología Cadena Crítica que nace en los años 90 y la cual surge como una versión mejorada de la gestión clásica de proyectos.

La Teoría de Restricciones es una metodología científica que permite enfocar las soluciones a los problemas críticos de las empresas (sin importar su tamaño ó giro), para que éstas se acerquen a su meta mediante un proceso de mejora continua²². Esta teoría describe el mecanismo con el que cualquier sistema puede ser mejorado continuamente, enfocando este análisis de mejora en las restricciones del sistema, a través de la utilización del método socrático²³, mediante la lógica de la causa y efecto para entender los procesos y de esta manera encontrar soluciones óptimas. De hecho, la teoría de restricciones es considerada ante todo como una filosofía holística usualmente aplicada para manejar y mejorar una organización, y es aplicada para responder de forma lógica y sistemática a tres preguntas claves en el proceso de mejoramiento continuo: Qué cambiar, a qué cambiar y cómo causar el cambio.

La Teoría de Restricciones fomenta el desarrollo de la intuición personal y recurre a la aplicación de un método científico para la administración de organizaciones que deseen implementar el proceso de mejora continua, este proceso comienza con una clara definición de la meta de la organización, así como el establecimiento de

²² MORALES Oscar, ¿Qué es TOC? .Tomado de: <http://www.moralestoc.com/descargas/toc.pdf> . 29 de Marzo del 2009.

²³ El Método Socrático es una técnica de aprendizaje que data de hace 2000 años basada en el cuestionamiento de las realidades del hombre e inducirlo para que desarrolle las respuestas a sus propias preguntas.

parámetros de medición del desempeño, que estén directamente relacionados con la meta, para poder determinar su impacto en ésta.

Goldratt hace énfasis en realizar una similitud de su teoría con una cadena. De esta forma plantea que el eslabón más débil de esta será el que determine su “capacidad” como cadena. Ese eslabón débil es la restricción del sistema y es aquel que se debe reforzar, subordinando el resto del sistema a ese objetivo. Luego de reforzar ese eslabón, existirá otro que resultará ser el más débil del conjunto, y será el destinatario del nuevo esfuerzo de mejora lo que conlleva a un enfoque sistémico, permitiendo ejercer un control dentro de la variabilidad y la incertidumbre, enfocándose en pocos puntos los cuales representan el sistema²⁴.

Para la Teoría de restricciones, una restricción en una organización, es aquello que impide generar más beneficios. Dichas Restricciones Críticas pueden ser de dos tipos: Físicas o de Políticas.

Para el logro de la mejora continua en el caso de las restricciones físicas, la Teoría de Restricciones ha desarrollado un ciclo de cinco pasos simples que garantizan el cumplimiento de la meta²⁵, que comienzan con la identificación de la restricción en la cual es necesario encontrar el limitante para el objetivo global elegido. El paso siguiente a la identificación de la restricción es su análisis, en el cual se delimitan sus causas e impactos y se procede a buscar la manera adecuada de contrarrestar su efecto. Una tercera etapa es la subordinación del sistema a la restricción a través de la focalización de los esfuerzos hacia una solución concreta y puntual. Posteriormente se eleva la restricción con la ejecución de lo planeado para intentar contrarrestar la restricción. “Si en los pasos anteriores se ha roto alguna restricción, regresar al paso 1

²⁴ WOLFUS Pablo. Gestión de cartera de proyectos de software desde el punto de vista de teoría de restricciones y Cadena Crítica. Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires, 2008.

²⁵ MORALES Oscar, ¿Qué es TOC? <http://www.moralestoc.com/descargas/toc.pdf> tomado el día 29 de Marzo del 2009.

pero no permitir que la inercia, sea la causa de las restricciones en el sistema”²⁶. La idea es encontrar la nueva restricción y de esta manera conformar el proceso de mejora continua.

Por el contrario, para el caso de las restricciones de políticas, es fundamental el desarrollo de tres pasos con base en el Método de Pensamiento Científico, para encontrar las causas de los efectos que se observan en los sistemas:

- ¿Qué cambiar?. Es preciso, encontrar la causa raíz, que genera la mayoría de efectos indeseables, representados en los problemas de la empresa. Con el fin de dar solución a esta problemática se realizan análisis de los procesos, utilizando herramientas de pensamiento lógico propias de teoría de restricciones tales como: Nube del Conflicto Crónico, Árbol de La Realidad Actual. Para el logro de la definición del problema Raíz.
- ¿Hacia que cambiar? En este paso se procede a definir la estrategia a utilizar para generar la solución y de este modo atacar el problema raíz. Esta solución se debe definir en consenso y ser validada enfocándose a lograr la mejora deseada, a través de herramientas propias de teoría de restricciones tales como: Árbol de Realidad Futura, Rama Negativa.
- ¿Cómo inducir el cambio? Este proceso conlleva al desarrollo de las estrategias planteadas, conformando el equipo de trabajo, definiendo y coordinando las tareas y personas responsables, para lograr la mejora deseada en la organización, se utilizan las herramientas propias de teorías de restricciones tales como: Árbol de Prerrequisitos y de Transición.

2.5 CADENA CRÍTICA

²⁶ GOLDRATT, Eliyahu. La Meta: Un Proceso de Mejora Continua. 2° ed. Corregida. México: Ediciones Castillo, 1993. Pág. 369.

La metodología de gestión de proyectos conocida como “Cadena Crítica” o CCPM surge a finales de los años 90’ en el seno de la Teoría de Restricciones (TOC), y nace como respuesta a la problemática que se presenta en los proyectos la cual está descrita en tres variables; Tiempo de entrega, calidad y presupuesto; representando una alternativa a los métodos tradicionales.

En la gestión de proyectos la Cadena Crítica es la secuencia de procedencias y elementos terminales dependientes de recursos que evitan que un proyecto al que se le dan recursos limitados, pueda ser completado en un tiempo menor. Si los recursos de un proyecto estuviesen siempre disponibles en cantidades ilimitadas, entonces la Cadena Crítica de un proyecto sería igual a su Ruta Crítica²⁷.

La Ruta Crítica es la secuencia de los elementos terminales de la red de proyectos con la mayor duración entre ellos, determinando el tiempo más corto para completar el proyecto. Es así como, la duración de la ruta crítica determina la duración del proyecto entero, de tal forma que cualquier retraso en un elemento de la Ruta Crítica afecta la fecha de término del proyecto planeada inicialmente y al mismo tiempo, indica la carencia de holgura en la Ruta Crítica.

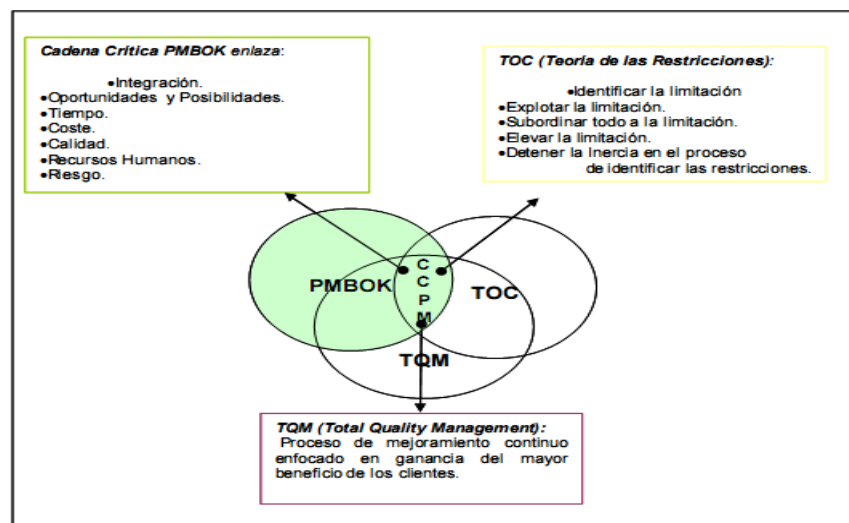
El análisis de la Cadena Crítica considera las limitaciones provocadas por los recursos al contemplar sus dependencias y sobrecargas, e identifica y utiliza con efectividad los recursos más cargados con el fin de sincronizar el proyecto. Así mismo, esta herramienta impacta sobre el proyecto en el costo, la calidad, el tiempo y los recursos humanos, facilitando la elaboración de un plan de trabajo con la menor incertidumbre posible y permitiendo una aproximación más real a la fecha de culminación del proyecto²⁸.

²⁷ Tomado de : http://es.wikipedia.org/wiki/Cadena_Cr%C3%ADtica

²⁸ DEPÓN T, Amándola L; GONZÁLEZ M. D.. Análisis Comparativo de los Métodos (CCPM) y (CPM) en la Dirección y Gestión De Proyectos. Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación UPV.

Son muchos los beneficios que perciben las empresas al implantar la Cadena Crítica en la gestión de sus proyectos, tales como: La capacidad de determinar plazos fiables, cumplimiento y reducción de los plazos de los proyectos, capacidad de sincronización de multiproyectos, confianza en las decisiones y compromisos del proyecto, focalización en los aspectos críticos del proyecto, planificaciones realistas que se cumplen, mejora en la comprensión de los requerimientos de recursos, criterios claros y homogéneos para la determinación de prioridades y para la asignación de recursos a las tareas, utilización eficiente de los recursos, minimización de las urgencias y eliminación de las creadas por el propio sistema de gestión, visibilidad permanente del estado del proyecto y detección temprana de problemas potenciales, control sobre todos los proyectos, homogeneización de criterios, procesos, instrumentos y lenguaje, utilización de un proceso de mejora estable y continua, y una mejora en la calidad de vida del equipo del proyecto²⁹.

Figura 1. Representación de la cadena crítica CCPM



Fuente: Análisis Comparativo De Los Métodos (CCPM) Y (CPM) En La Dirección Y Gestión De Proyectos. Amándola L.; Depón T.; González M. D.; Palacios E. Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación UPV

2.6 GESTIÓN DE PROYECTOS CON CCPM

²⁹ Beneficios CCPM. Tomado de: http://www.cumplirplazos.com/Beneficios_con_Cadena_Critica/4-7
 Hora:02:51 del 17 de septiembre de 2008

La administración de proyectos a través de la cadena crítica (CCPM por sus siglas en inglés), desarrollada por Eliyahu M. Goldratt, ha emergido en los últimos años como un nuevo enfoque para la administración de proyectos y está basada en métodos y algoritmos derivados de su Teoría de Restricciones. La idea de la CCPM fue presentada en 1997 en su libro *Critical Chain*. A la CCPM le ha sido adjudicado el logro de proyectos en un 10% a 50% más rápido y/o barato que el uso de métodos tradicionales (como el CPM, PERT, Gantt, etc.) desarrollados entre 1910 y 1960.

El CCPM plantea un modelo de gestión por medio del cual se solucionan los problemas que se presentan en la comunicación, definición de riesgos, coordinación, medición, planificación y programación los cuales inducen a que los proyectos no cumplan su objetivo³⁰. Dicho planteamiento considera diferentes aspectos del proyecto, entre los cuales se destacan su orientación a una meta específica, su concepción como sistema dinámico y abierto que requiere de entradas externas, su grado de incertidumbre como consecuencia de la complejidad propia de su funcionamiento y su lejanía de ser visualizado como un sistema lineal, al encontrar su razón de ser en las relaciones de causas y efectos.

2.6.1. Aplicación del método de Cadena Crítica

La gestión de proyectos por CCPM actúa en la fase de planeación, etapa en la que se intenta resolver tres fenómenos que afectan a los proyectos y que no son tenidos en cuenta por los anteriores métodos de planeación. Las recomendaciones o pautas para los procesos de planeación descritos por la teoría de restricciones son: Los comienzos tardíos, la estimación de las tareas y la solución de los conflictos entre los recursos.

En la programación tradicional con ruta crítica, las tareas están programadas lo antes como sea posible de la fecha de inicio del proyecto. En la planificación con Cadena Crítica, las tareas se programan lo más tarde posible basándose principalmente en el

³⁰ DEPÓN T, Amándola L; GONZÁLEZ M. D.. Análisis Comparativo de los Métodos (CCPM) y (CPM) en la Dirección y Gestión De Proyectos. Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación UPV.

cumplimiento de los plazos de entrega pactados. Existe una gran cantidad de beneficios asociados con el retraso del inicio del proyecto, entre los cuales se encuentran la reducción del WIP (Work in progress) trabajo en progreso lo cual permite que no se incurran en gastos antes de que sea necesario, así mismo, se propende por un enfoque prioritario en las actividades que hacen parte de la Cadena Critica.

La estimación de las tareas se convierte en uno de los factores que requieren cambios dentro de la Cadena Critica, el objetivo que se persigue es la eficacia de las tareas bajo cualquier circunstancia, para esto, es necesario que todos los miembros de la organización comprendan y tomen conciencia de que no se está tirando a la basura la seguridad, se asigna seguridad a las tareas que realmente la necesitan, en este caso aquellas que componen la Cadena Critica.

Los recursos que se utilizan en la realización de las tareas no pueden ser compartidos, es decir, no se deben utilizar al mismo tiempo en lugares diferentes, en el caso de presentarse, la productividad de este recurso se vería afectada y el recurso no terminara ninguna de las tareas asignadas en el tiempo estipulado.

Otro de los aportes de la cadena crítica a la gestión de proyectos se da en la etapa de ejecución con la herramienta de administración de Buffers.

Los *buffer* son colchones de tiempo cuyo fin es brindar una de una mayor fortaleza al proyecto de forma global, basado en el manejo adecuado de los tiempos de holgura.

Los buffers tienen diferentes funciones dependiendo de su objetivo, lo cual determinará su ubicación y duración. Se utilizan dos tipos de buffer:

- Buffer de proyecto: se ubica después de la última tarea del proyecto. Su objetivo es proteger el plazo de compromiso con el cliente frente a las alteraciones que puedan producirse en actividades pertenecientes a la cadena crítica.

- Buffer de alimentación: se ubican al final de un camino de actividades no crítico que desencadenan en las actividades de la cadena crítica. Su objetivo es proteger a la cadena crítica ante posibles alteraciones de actividades no críticas.

La aplicación de estos buffers implica trasladar el tiempo de incertidumbre o protección de las actividades, eliminando de las estimaciones y acumulando parte de ese tiempo en puntos clave del proyecto.

“Como primera medida para poder calcular el buffer de terminación del proyecto, **Goldratt** sugiere que la protección es la mitad de la estimación. En consecuencia, propone reducir todas las duraciones de las tareas a la mitad y sumar una parte de esa protección en *buffers* situados al final de un conjunto de tareas que pertenecen a la Cadena Crítica. De este modo, la protección ya no pertenece de manera individual sino a la cadena de tareas”.³¹

2.7 ETAPAS Y PASOS PARA ADAPTAR LA CADENA CRÍTICA

La manera de adaptar la metodología de gestión de proyectos con Cadena Crítica se realiza por medio de las siguientes etapas:

2.7.1 Elaboración del grafo

En la planeación se detalla el proyecto a ejecutar, es decir, se define el alcance de las actividades.

Luego se elabora una lista de actividades y su orden lógico de ejecución, predecesoras y sucesoras. Esta lista debe ser definida por los jefes de frentes y los supervisores mecánicos del presente proyecto.

Determinar la duración de las actividades.

³¹ Rivera Francisco Duran Alfonso artículo “Una reflexión sobre los fundamentos y aplicabilidad de Cadena Crítica en proyectos de ingeniería” Universidad Carlos III diciembre 2003

Simultáneo, a la asignación de tiempo, es necesaria la identificación de los recursos destinados a cada una de las tareas, con el fin de evitar incurrir en la programación de un recurso en tareas distintas al mismo de tiempo.

2.7.2 Identificación del Recurso más cargado

En este paso se establece el recurso con mayor carga de trabajo, que por lo general se encuentra realizando multitareas. Este proceso se puede realizar una vez elaborado la orden de trabajo donde se visualizan todos los recursos necesarios.

2.7.3 Eliminación de las multitareas

Para realizar este paso se deben eliminar las multitareas postergando las actividades que se encuentren en conflicto, y se reprograman las demás actividades con base a la programación de los recursos más cargados.

2.7.4 Identificación Cadena Crítica

Se Procede a la identificación de la cadena crítica que es el encadenamiento más largo de tareas dependientes considerando las dependencias entre los recursos. Para la identificación se debe determinar la limitación del sistema.

2.7.5 Calculo de amortiguadores del proyecto

Luego se debe calcular los amortiguadores del proyecto, llamados Buffer, que se colocan en puntos estratégicos. Buffer de Terminación se coloca al finalizarla la última actividad de la cadena crítica y se encarga de proteger la culminación de todo el proyecto. También se colocan en actividades predecesoras a actividades de la cadena crítica, con el fin de que el atraso de estas, no afecte el inicio de la cadena crítica, estos buffer son llamados de alimentación.

2.7.6 Control del proyecto

El siguiente paso no involucra un cambio en el mecanismo de planeación de los proyectos pero si en la ejecución. Sin embargo, el alcance para la toma de decisiones en el proceso de ejecución es una de las limitaciones del presente trabajo, por esta

razón solo se mencionaran los indicadores, es decir, la forma de priorizar los recursos en la sección 4.2.4

Los amortiguadores de terminación y de alimentación proveen un robusto mecanismo para establecer las prioridades. Cualquier retraso en una tarea que hace parte de la cadena crítica se traslada en un consumo tiempo del amortiguador de terminación. Cualquier retraso en una tarea que no hace parte de la cadena crítica se traslada en un consumo tiempo del amortiguador de alimentación. Cuando se ha consumido completamente el amortiguador de alimentación, la tarea retrasa comienza a consumir el amortiguador de terminación.

Para permitir un efectivo seguimiento al consumo de los amortiguadores, se deben reportan los avances acorde con las horas invertidas en una tarea.

3 CARACTERIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE PROYECTOS EN EL CONSORCIO CCHL COLUMBUS

3.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO COLUMBUS

3.1.1 Ubicación

Localizado en la zona industrial de Mamonal km 7 Antigua planta Álcalis, este lote limita por el norte con la planta Colclinker de Cementos Argos y con las instalaciones de Ecopetrol, por el sur con petroquímica por el este con la zona industrial de la candelaria y por el oeste con el océano atlántico.

3.1.2 Información general del Proyecto Columbus

Cliente:	Zona Franca Argos y/o Cementos Argos S.A.
Interventora:	Ingetec S.A.
Diseñador y Proveedor de equipos principales:	FL Smith.
Supervisión del montaje y puesta en marcha:	SLS Corporation.
Tipo de contrato:	Precios Unitarios Reajustables.
Fecha de inicio:	26 de Septiembre/07
Tiempo de ejecución:	Veintidós (22) meses contados a partir de la fecha del Acta de inicio.

3.1.3 Historia

Para el año 2007, surge la necesidad de Argos de aumentar la capacidad de producción en la Zona Norte de Colombia para exportar a los EE.UU. Con base en la demanda proyectada y a la oportunidad de mercado, buscando ocupar un papel líder como exportadores de cemento. Surgiendo la posibilidad de reducir los costos de operación en la planta Zona Norte y a la vez de liberar capacidad en el interior del país evitando movimiento de clinker y cemento a la costa.

Argos en su intención de satisfacer estas necesidades decide ampliar su planta, a través del *Proyecto Columbus*. El cual está definido como la ampliación de capacidad

de producción de Cementos Argos, por medio de la construcción y puesta en marcha de las líneas de producción N° 4 en la planta Cartagena.

Para poder lograr la construcción de una planta con estas características mencionadas, ARGOS invita a las firmas de todo el país para realizar una precalificación del grupo que licitara, en este momento se unen dos empresas importantes en el país como son Conconcreto y H.L Ingenieros para participar dicha licitación. Esta fue otorgada el Julio del 2007 al Consorcio CCHL Columbus, el cual se encuentra constituido como la unión temporal de dos empresas constructoras (Conconcreto y H.L. Ingenieros), especializadas en dos áreas diferentes, la construcción civil y la electromecánica respectivamente. El Consorcio es el encargado de la ejecución del montaje de la nueva línea de cemento para Argos.

El proyecto contempla la construcción de la línea N° 4, que tendrá una capacidad de 1'680.000 toneladas año de cemento.

El Consorcio CCHL Columbus deberá instalar los siguientes equipos para la puesta en marcha de las líneas de producción mencionadas anteriormente:

- Trituradora Primaria de 1000 TPH
- Banda transportadora de 7 km. de largo para materias primas, con una capacidad de 1800 TPH
- Salón de Pre-homogenización de 2 pilas de 40.000 Ton cada una
- Molino de crudo Vertical de 410 TPH
- Silo de Homogenización de 12.000 Ton
- Torre pre calentadora
- Horno y Enfriador de 5000 TPD
- 2 silos de clinker de 37.000 Ton cada uno

- Molino de carbón de 35 TPH.
- 2 molinos de cementos de 150 TPH cada uno.
- 2 Stacker y reclamadores.

3.1.4 Misión

“Diseño, Construcción, Montaje y puesta en marcha de una planta de cemento en Cartagena Bolívar”³²

3.1.5 Visión

“Entregar en Septiembre del 2009 la planta línea 4 de ARGOS en funcionamiento en condiciones adecuadas para el cliente y en condiciones económicas aceptables para las empresas Consorciadas”.³³

3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS Y METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla el funcionamiento del área de montaje mecánico, a través de la descripción de los procesos y las responsabilidades de los cargos involucrados en la ejecución de las actividades.

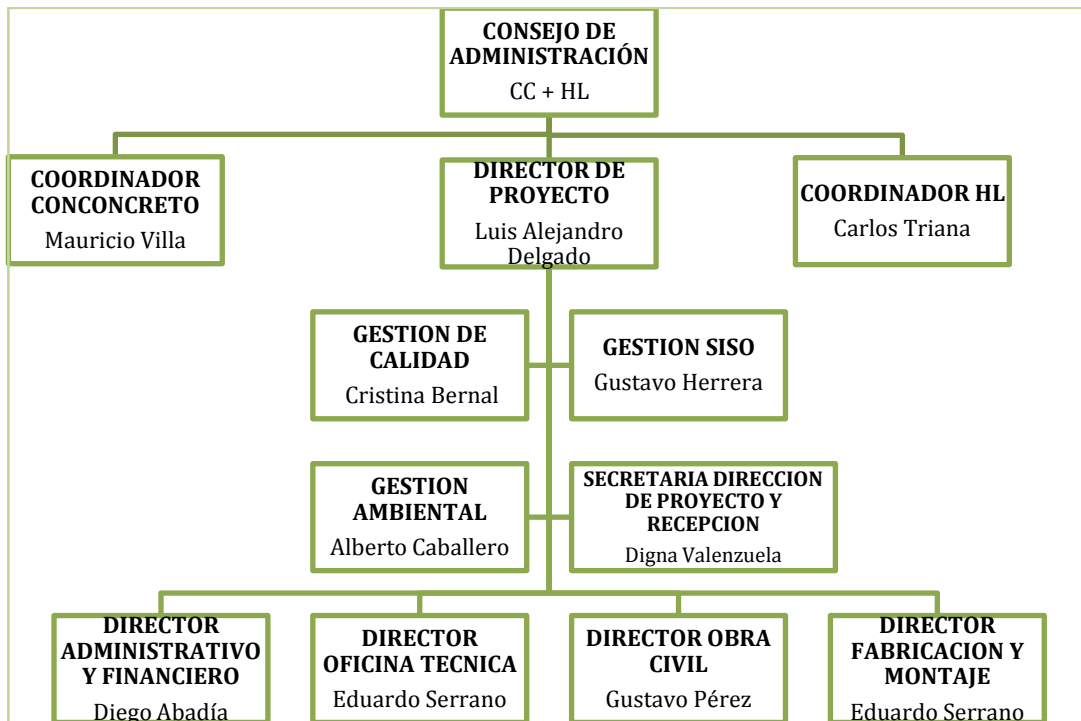
3.2.1 Descripción del área de montaje

La estructura organizacional general del proyecto Columbus se muestra en la figura 2, sin embargo es el área de montaje mecánico el objeto de estudio. La figura 3 muestra el organigrama de ésta área.

Figura 2. Organigrama general del proyecto Columbus

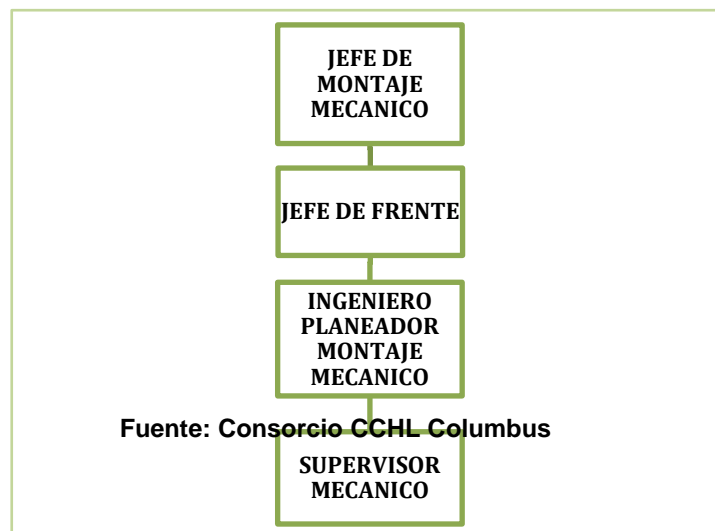
³² Plan de calidad del Consorcio CC-HL Columbus. Consorcio CC-HL Columbus. 2 octubre 2008, pag1

³³ ibid. pag2



Fuente: Consorcio CCHL Columbus

Figura 3. Niveles jerárquico del área de montaje mecánico



Fuente: Consorcio CCHL Columbus

A continuación se describen las principales funciones y responsabilidades de cada uno de los cargos del área de montaje mecánico³⁴:

Jefe de Montaje Mecánico

Es encargado de la realización de las siguientes actividades dentro del proyecto en general:

- Planear y dirigir las actividades del Montaje a su cargo para que se ejecuten de acuerdo con los requisitos de calidad, procedimientos y objetivos del proyecto.
- Informar a la gerencia del proyecto sobre cambios en el alcance, plazo, precio y calidad que el cliente solicite o que sean incluidos por factores ajenos.
- Seguimiento y control sobre los recursos de mano de obra empleados en cada actividad y el avance diario de las mismas.
- Revisar y aprobar las ordenes de trabajo para la ejecución de actividades y requerimientos de materiales.
- Contratación de mano de obra.
- Identificar y registrar los problemas en obra relacionados con el desarrollo de su disciplina, para realizar acciones preventivas y correctivas pertinentes junto con la gerencia del proyecto.
- Posee la autoridad de suspender cualquier actividad que no cumpla con los procedimientos y especificaciones contractuales y/o técnicas establecidas.

Jefe de Frente

Es el encargado de la realización las siguientes actividades dentro del área asignada:

³⁴ Consorcio CC-HL Columbus, Anexo 1. Organigrama del área de montaje del proyecto Columbus. Área de calidad. 2007.

- Planear las necesidades de materiales y equipos necesarios, de acuerdo a la programación, cumpliendo con las especificaciones técnicas de construcción.
- Asignar la ejecución de labores y programación de trabajo a los supervisores en campo a su cargo.
- Dirigir la ejecución de las actividades del proceso constructivo elegido para la obra en campo, y hacer la supervisión constante del cumplimiento de lo planeado.
- Liberar las etapas constructivas de cada una de las actividades continuar a la etapa siguiente dejando como constancia de las liberaciones la autorización en las listas de chequeo correspondientes.
- Organizar el personal obrero en campo, distribuyéndolo por sub-frentes de trabajo y asignándolo a tareas específicas según el programa semanal de trabajo aprobado.

Ingeniero Planeador de Montaje

Es el encargado de la realización las siguientes actividades dentro del área asignada:

- Clasificar y recibir la información del área o frente de trabajo.
- Coordinar la logística en lo relacionado a recursos (Materiales, equipos, herramientas) necesarios para la realización de cada actividad contemplada en el programa detallado de trabajo (PDT).
- Coordinar con los jefes de frente y supervisores el programa detallado de trabajo (PDT).
- Apoyar en la realización de los distintos procedimientos de montaje.
- Hacer monitoreo, seguimiento y control detallado de la información actualizada o pendiente referente a su área y con base en la comparación de los listados de partes y requisiciones para fabricaciones.
- Apoyar en la revisión geométrica y de coincidencia de equipos mecánicos con la obra civil.
- Realizar la revisión de cambios en el diseño entre dos versiones.

Supervisor de Montaje Mecánico

- Estudiar los planos correspondientes para cada actividad.
- Supervisar que las ordenes de trabajo y labores a su cargo se ejecuten de acuerdo con los requisitos de calidad y procedimientos documentados.
- Realizar el reporte diario de actividades.
- Administrar los recursos disponibles para la ejecución de las órdenes de trabajo.
- Informar al Jefe de frente sobre los problemas presentados durante la ejecución de los trabajos, que afecten los requisitos de calidad o el cumplimiento de objetivos y sus causas.
- Controlar y dirigir al personal en cargado de la ejecución de los trabajos en campo

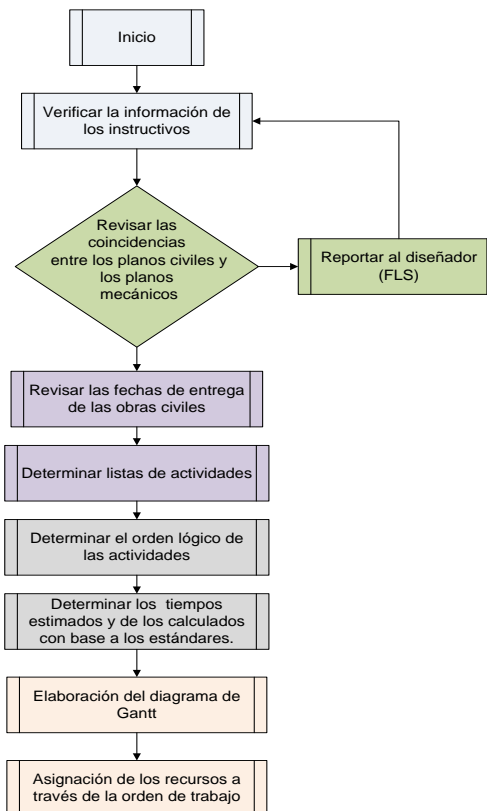
Los niveles de autoridad y responsabilidad de cada cargo, y como estos contribuyen a los objetivos del proyecto, son claros y permiten fluidez en el proceso de ejecución. A continuación se analiza la forma de planificar.

3.2.2 Proceso de planeación

Para identificar las practicas empleadas en la planificación, administración y evaluación de las actividades, es fundamental analizar cada una estas y la manera como contribuyen al logro de los objetivos. Los ingenieros planeadores y los jefes de frentes, fueron entrevistados acerca de las actividades de planeación en las diferentes áreas del proyecto.

De acuerdo con el jefe de frente de Montaje Mecánico, el diagrama de flujo que muestra el proceso de planificación es el siguiente:

Figura 4. Proceso de planeación de las áreas de Montaje



Fuente: Autores del trabajo

La secuencia de las actividades necesarias dentro del proceso de planeación del área de montaje son:

1. Verificación de la información consignada en los instructivos de FLS³⁵, evaluando las dimensiones y tolerancias del equipo, así como las especificaciones técnicas y procedimientos de operación. Otra información que se verifica son los planos de los equipos de montaje, es indispensable cotejar la información de los planos civiles y los planos de montaje con la estructura fabricada, con el fin de revisar la coincidencia de estos y evitar problemas futuros.
2. Para realizar el programa detallado de trabajo se deben conocer las fechas de entrega de los equipos importados y de fabricación local, así mismo como las de la

³⁵ FLSmith es el principal proveedor de equipos y servicios a industrias de cemento y minerales a nivel mundial

obra civil para de esta manera poder realizar un programa eficiente en cuanto a tiempos y costos.

3. Para cada área se cuenta con manuales de ensamble y protocolos de entregas, al realizar la planeación se deben conocer y tener en cuenta todos los procedimientos.
4. Listar las actividades a ejecutar de forma detallada, combinando experiencia y conocimiento específico de los equipos a instalar. Crear una secuencia lógica para mayor facilidad de manejo de la información y realizar el diagrama o red de actividades establecidas en una determinada continuidad ayuda a definir e integrar acciones oportunamente, asegurando así el desarrollo del proyecto con optimización del consumo de tiempo.
5. Los tiempos asignados a las actividades corresponden, en su mayoría, a los estándares que posee la empresa sobre proyectos en el montaje de plantas de producción. Estos índices son datos ponderados de proyectos anteriores, basados en rendimientos observados, los cuales son el resultado del control a las actividades que ejecuta la empresa. Los datos miden los tiempos de trabajo de las cuadrillas de montaje, son evaluados y compilados en informes de avance y producción, para luego introducirse en la base de datos general.

La evaluación de los índices se toma de acuerdo a los kilogramos de equipo o estructura montados por cada hora hombre consumida para dicho fin. La base principal para la asignación de los tiempos son los índices históricos, aunque existen factores externos que pueden afectar de manera considerable los estándares establecidos como lo son: la estacionalidad, localización y consecución de mano de obra.

El criterio de aumento o disminución de los índices lo decide el ingeniero Jefe de Frente de acuerdo con las distribuciones de probabilidad de los datos históricos, para los caso en que no se tienen datos, es decir, cuando se desarrolla un proyecto

por primera vez en algún lugar se mantienen los estándares más bajos del rendimiento intentando minimizar los riesgos.

Para el montaje mecánico de los equipos de las naves de almacenamiento, los tiempos fueron desarrollados de dos maneras, para ciertas actividades se tomaron basados en los estándares de HL Ingenieros, y sin ningún tipo de aumento a los rendimientos, debido a que la empresa conoce la zona de desarrollo del trabajo. Otras actividades fueron estimadas por el jefe de frente y el supervisor del área basados en su experiencia.

6. Después de estimar y analizar el rendimiento y tiempos de las actividades a ejecutar, se utiliza el programa Microsoft Project®, para sistematizar el proceso y sea aprobado por el jefe de montaje mecánico y la Interventoría.
7. En cuanto a los costos del proyecto después de calculado las horas hombres por cuadrilla se estima el costo de hora cuadrilla con base a los salarios y los equipos a utilizar, con el fin de realizar el presupuesto del área y llevar un control sobre estos dineros.

3.2.3 Planeación de los recursos a utilizar

Para poder realizar la planeación de los recursos a utilizar se debe elaborar una orden de trabajo, la cual consiste en:

1. Definir y clasificar las actividades, para ello el programador de obra suministra semanalmente al jefe de montaje mecánico el programa de obra, detallado por semanas o quincenal las actividades a iniciar próximamente.
2. Para realizar la planeación el Programador de Obra, el Jefe de Frente del área involucrada y los Ingenieros Planeadores de Montaje, revisan el programa de obra a iniciar, analizan y clarifican el alcance real de las actividades listadas. El asegurador de la Calidad (QA/QC) suministra al equipo la información sobre las especificaciones técnicas consideradas para las actividades en cuestión y prepara

el panorama de riesgos por actividad. El área ambiental elabora los riesgos ambientales que podrían ocurrir.

3. En la elaboración de la orden de trabajo el supervisor del área, el Jefe de Frente y el Ingeniero Planeador de Montaje diligencian el formato de registro de orden de trabajo. Las cantidades de los recursos necesarios para las actividades a desarrollar deben justificarse a través de documentos de cálculo, aprobadas por el jefe de Montaje Mecánico e incluidas en el formato de anexo de orden de trabajo. La oficina técnica suministra las actividades a ejecutar en el periodo siguiente, y en conjunto se asigna personal, herramientas, equipos, materiales y apoyo a la seguridad industrial. Se define también cuales son las actividades críticas a controlar.
4. El programador de obra, Jefe de frente, Ingeniero Planeador de Montaje y el Asegurador de la Calidad(QA/QC) alistan la información técnica requerida, personal, materiales, equipos y demás recursos e insumos relacionados en la orden de trabajo y en el instructivo específico de la actividad, con el objetivo de visualizar la disponibilidad para la fecha programada. El aseguramiento de la disponibilidad de los recursos e insumos suministrados se realiza a través del área de compras.
5. La orden de trabajo y el instructivo de actividades críticas desarrollado deberán ser divulgados y explicados al personal involucrado en la ejecución de las actividades programadas, y los documentos para asegurar el control de las actividades críticas deberán quedar expuestos en un sitio visible.
6. El personal de campo aplica la orden de trabajo, a la vez que calidad hace seguimiento y verifica contra el instructivo específico elaborado, la conformidad de las actividades ejecutadas y registra los resultados en los protocolos o registros de calidad definidos.

3.2.4 Control de avance del programa detallado de trabajo

Para el control de avance se le presenta al Programador de obra, el progreso por frente y actividad, a través de informes diarios los cuales son reportados por los supervisores de área.

Luego de recibida la información del campo, se ingresa a los cuadros de control para así actualizar el programa el avance de proyecto.

Se debe actualizar las fechas de inicio y finalización de actividades, así como el consumo de los recursos por actividad. Cuando se detecta un desplazamiento de una fecha crítica (fases esenciales, fechas límite o cualquier otro hito relevante), se informa mediante comentario al Programa Detallado de Trabajo (PDT).

De igual manera se monitorean los recursos de mano de obra empleados en las actividades para medir el rendimiento de cada uno de estos, expresado en kilos ejecutados semanalmente sobre las horas hombres destinadas para las actividades.

Se compila la información para análisis y presentación de informes al cliente y la junta directiva, describiendo las principales actividades ejecutadas, análisis de las actividades de ruta crítica y acciones recomendadas. Se identifican las horas hombres improductivas durante el periodo, curva de avance previsto contra avance ejecutado, se elaboran comentarios indicando cuales hitos del Cliente no han sido cumplidos y que hayan impactado los tiempos de ejecución de las actividades del Consorcio, y se analizan histograma de h-h previstas contra h-h gastadas, histograma de h-equipo previstas contra h-equipo gastadas.

3.2.5 Análisis de la metodología

El Consorcio CCHL Columbus utiliza la metodología de Ruta Critica, considerando solo la dependencia entre tareas con base a las duraciones de éstas, y se limita a programar tan temprano como sea posible.

El uso de la metodología de CPM hace que los tiempos de las tareas sean programados teniendo en cuenta las peores situaciones; a la mayoría de tareas se le asignan o contemplan un margen de tiempo que es utilizado como seguridad de manera individual. En la planeación del proyecto Columbus la estimación de los tiempos corresponde al Jefe de Frente y el Supervisor, determinando la duración de

algunas actividades con base a su experiencia, agregando un tiempo de rezago como seguridad para cualquier imprevisto que se pueda presentar. Otras actividades son calculadas con base a rendimientos históricos de la empresa en proyectos anteriores previendo un mayor grado de exactitud al calcular los tiempos.

El control de avance mide el rendimiento diario por actividad, orientándose en el progreso de las tareas de manera individual, enfocados en objetivos particulares y no en el objetivo general como lo es la fecha de finalización del proyecto. Cabe resaltar, que hay un mayor grado de importancia en el monitoreo de las actividades que hacen parte de la Ruta Crítica.

En la planeación del Consorcio CCHL Columbus no existe ningún tipo de ejercicio que permita identificar la multitareas, constituyéndose en una de las falencias más notables. Se organiza la duración de las tareas y las precedencia sin analizar los recursos; en principio el Programador, el Jefe de Frente y el Supervisor planean las actividades, 15 días antes de la ejecución, después el Ingeniero Planeador de Montaje en compañía del Jefe de Frente proporcionan los recursos a utilizar en las tareas, elaborando las ordenes de trabajo dos o tres semanas más tarde de haber realizado las programaciones. Esto debería ejecutarse al instante de realizar la programación para que no se presenten conflictos entre los recursos y que no ocurran problemas con los inicios de actividades, evitando la terminación a destiempo del proyecto.

4 COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS TRADICIONALES DE PLANEACIÓN DE PROYECTOS CON CADENA CRÍTICA.

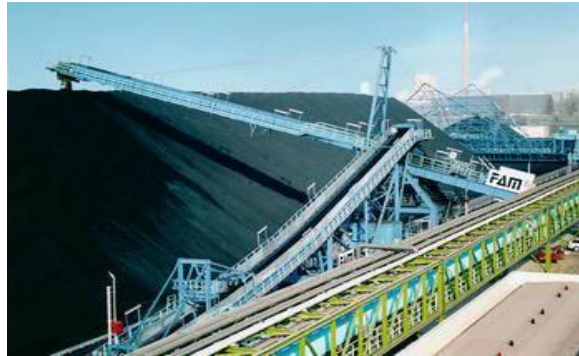
En este capítulo se desarrollará la aplicación de la metodología de gestión de proyectos con Cadena Critica al montaje mecánico de los equipos del proyecto Columbus línea 4 de Zona Franca Argos. Inicialmente se describen las actividades para el montaje de las naves, concluyendo con la Ruta Critica, para luego planear las actividades aplicando el esquema de Cadena Critica y comparar las diferencias con la metodología clásica.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PARA EL MONTAJE MECÁNICO DE LOS EQUIPOS

Los elementos a ensamblar son conocidos como Stacker, utilizados para el apilamiento de material proveniente de explotaciones mineras y procesos industriales. La imagen 1 muestra un Stacker ensamblado y en funcionamiento, con características similares a los equipos a instalar en el proyecto Columbus línea 4 de Zona Franca

Argos, con la diferencia de que los materiales no estarán al aire libre, estarán cubiertos porque el proceso requiere que estén lo más secos posibles.

Imagen 1. Stacker



Fuente: <http://www.fam.de/english/References/Metallurgy/detail>.

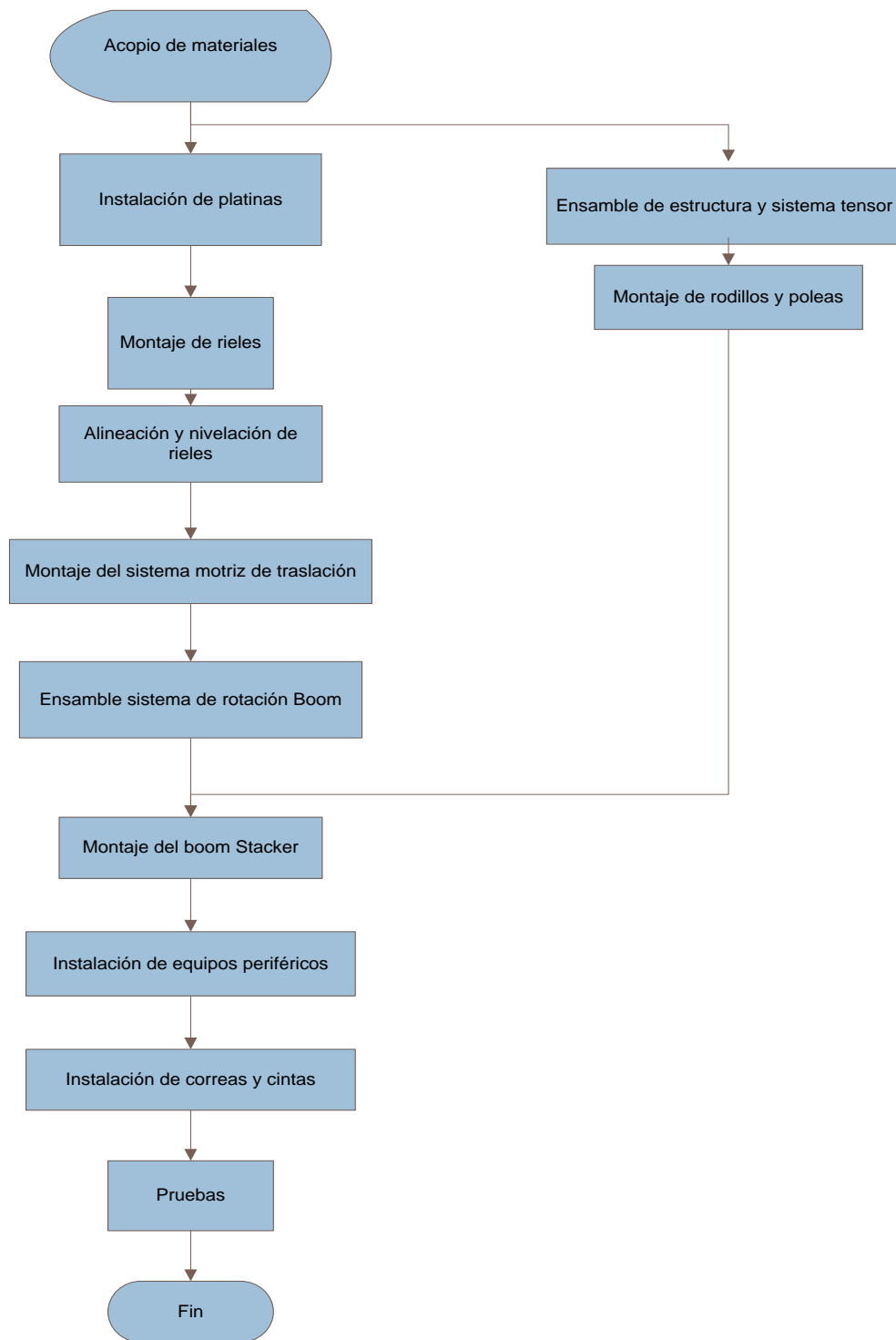
Los elementos que se almacenarán con los equipos son: Caliza y Carbón mineral. La caliza es extraída de la Cantera Santana ubicada a 7 km de distancia de la planta en cercanías del municipio de Turbaco.

Las reservas de carbón de la empresa se encuentran en la Mina del Hatillo, y éstas son transportadas por barcazas a través del Río Magdalena, descargadas en el muelle de propiedad de la empresa y luego por medio de bandas es enviado hasta las Naves de Almacenamiento.

El proyecto establece el montaje de 2 equipos. El primero es la instalación del Stacker 131.ST200 ubicado en la nave de caliza, el segundo es el Stacker 231.ST200 ubicado en la nave de carbón.

Para la construcción de los equipos mencionados están involucrados las actividades de acopio, el izado de las piezas, aplicación de soldadura, nivelación, alineación, pernado y pruebas para la entrega final al cliente. A continuación se describen las actividades que hacen parte del programa detallado de trabajo:

Figura 5. Diagrama de flujo de la instalación de Stacker



Fuente: autores del trabajo

4.1.1 Acopio de materiales y equipos en el área de montaje

Estas actividades se realizan con ayuda de grúas o montacargas. Se cargan las piezas sobre cama alta o cama baja y se trasladan desde las áreas de almacenaje hasta los frentes de trabajo donde se pre ensamblan. Este proceso se cumple igualmente para el traslado de estructuras, rodillos, tolvas, equipos del Stacker, equipos de soldadura, herramientas de ayuda, entre otros.

4.1.2 Instalación de platinas

Se determina geométricamente la localización de las platinas de nivelación, para ser colocadas sobre la base civil con el fin de lograr que los rieles queden sobre el mismo eje, luego son unidas entre sí por juntas de soldadura.

4.1.3 Montaje líneas de riel

Se realiza el montaje de los ejes, se colocan las secciones y estas se unen mediante grapas especiales diseñadas.

Para la Instalación de Platinas y Montajes de Rieles se da una situación particular, estas dos actividades presentan un traslapo³⁶ entre ellas, debido a que una vez instalados el 66%³⁷ de las Instalaciones de Platinas puede comenzar el Montaje de Rieles, esto se presenta en la montaje de ambos Stacker.

4.1.4 Alineación y nivelación de rieles

Se realiza con la ayuda de los equipos topográficos y la referencias de los planos para garantizar una correcta ubicación del equipo según sus ejes.

4.1.5 Ensamble sistema de Rotación Boom³⁸

En un área contigua a donde se realizará el montaje definitivo del Stacker, se acordona con cinta el área utilizada para el ensamble, cumpliendo con las normas seguridad industrial.

³⁶ Traslapar: Unir dos elementos montando una parte del elemento sobre la otra. Tomado de Glosario.com

³⁷ Porcentaje obtenido del grafico 6 en la pagina 49 capitulo 4

³⁸ Boom: Brazo del Stacker

Con la ayuda de una grúa y equipos menores, sobre polines en el piso, se ensambla la primera sección, se nivela y se procede a ensamblar la segunda y tercera sección del Boom. Este ensamble se realiza por medio de tornillos.

Una vez alineada y atornillada la estructura del Boom, se procede a ensamblar los soportes de pasarelas, barandas derechas e izquierda. Posteriormente se atornilla y se aplica soldadura donde se requiera y por último se hacen los retoques de pintura

4.1.6 Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación

En esta actividad se realiza el ensamble de los elementos móviles como son las ruedas, ejes, las cajas estructurales o elementos estructurales. Se alinean los motores, frenos y sistemas hidráulicos.

4.1.7 Ensamble de la estructura y sistema tensor

Se ensambla el sistema tensor, es decir, el montaje de los elementos estructurales que le dan estabilidad al boom, el cual está compuesto por una torrecilla y tubería, pernada entre sí.

4.1.8 Montajes de los rodillos y poleas

Se acoplan sobre el boom los rodillos, compuestos de una artesa con tres de estos que soporta el caucho y el material. Una de las poleas es la trasmisora de la potencia de los motores a la banda. Se instalan los soportes de rodillos, teniendo en cuenta que cumplan con la alineación y nivelación.

Para estas dos actividades también se presenta un traslapeo donde la actividad de Montaje de Rodillos y Poleas puede iniciar después de haberse completado el 60% del Ensamble de la Estructura y Sistema Tensor

4.1.9 Montaje de boom del Stacker sobre el péndulo de soporte

Utilizando una Grúa de capacidad de 80t, se procede a izar todo el conjunto del Stacker y se lleva hasta su posición final en la base ó péndulo de soporte.

4.1.10 Instalación de equipos periféricos (Tripper Car)

En otra área contigua al lugar de montaje se procede al ensamble del Tripper. Con una grúa, se ensamblan las partes de la celosía³⁹, luego se instalan los sistemas tensores. De igual forma se ensamblan las pasarelas y barandas para el montaje de los rodillos y soportes de la banda. Por último se instala el sistema motriz y la banda del equipo.

4.1.11 Instalación de correas y cintas

Las correas y cintas son colocadas sobre la banda, con la ayuda de grúas, se cortan y se realiza las pegas necesarias con silicona.

4.1.12 Pruebas

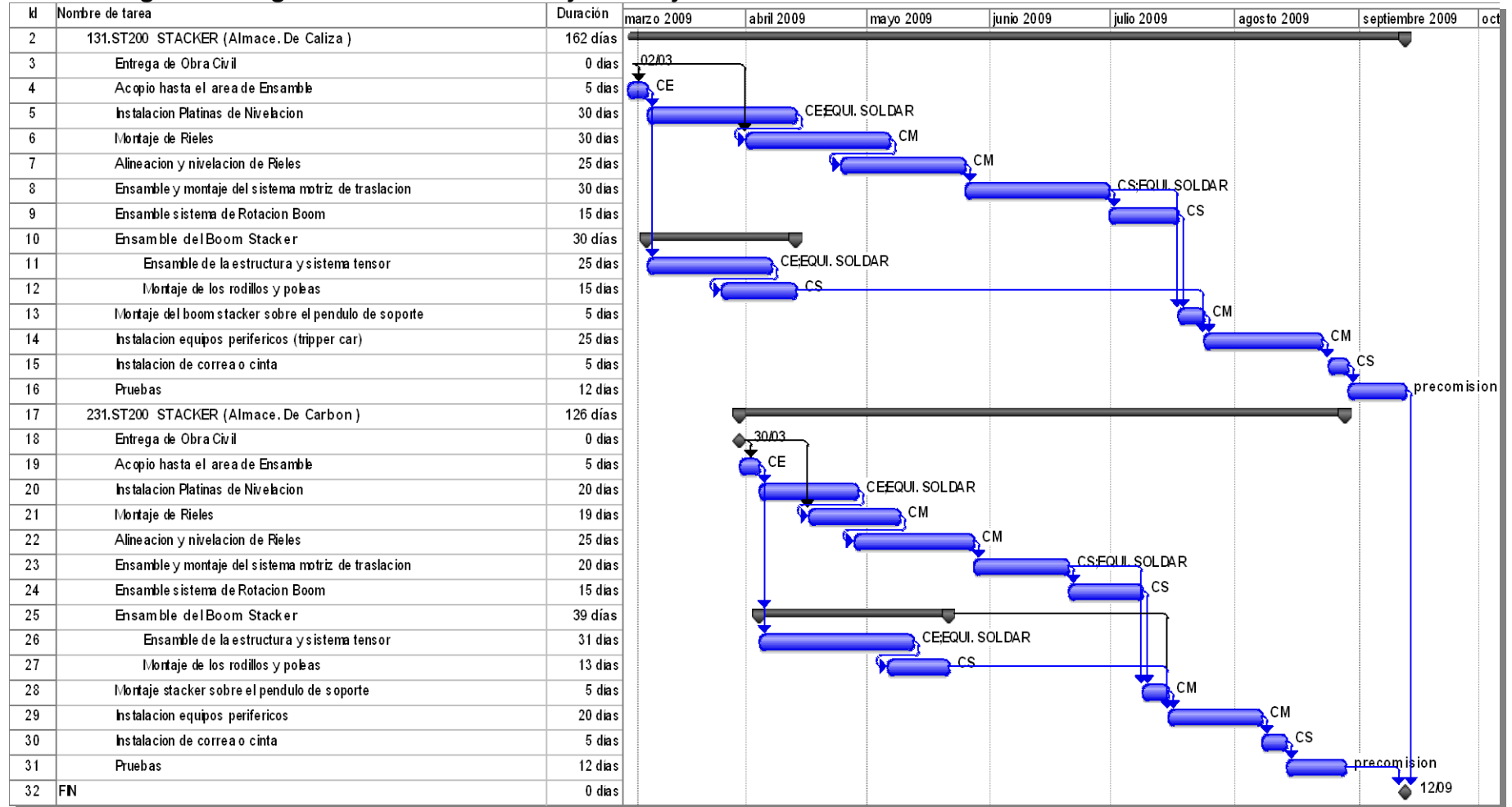
Se realizan pruebas de arranque del equipo y verificación del correcto funcionamiento.

En la figura 5 se observa las actividades mencionadas para la instalación de los equipos en las naves de almacenamiento

El programa describe las actividades del montaje de 2 equipos en las naves de almacenamiento, el primero es la instalación del Stacker 131.ST200 ubicado en la nave de caliza con una duración de 162 días, el segundo es el Stacker 231.ST200 ubicado en la nave de carbón con una duración de 126 días, este tiene un menor tamaño por ende el tiempo de instalación es menor. Cada uno de estos montajes inicia con la entrega de la obra civil el día 02 de Marzo del 2009 y culminan con las pruebas de los equipos instalados el día 12 de Septiembre del 2009 como se puede observar en la figura 6.

³⁹ Celosía: es una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos

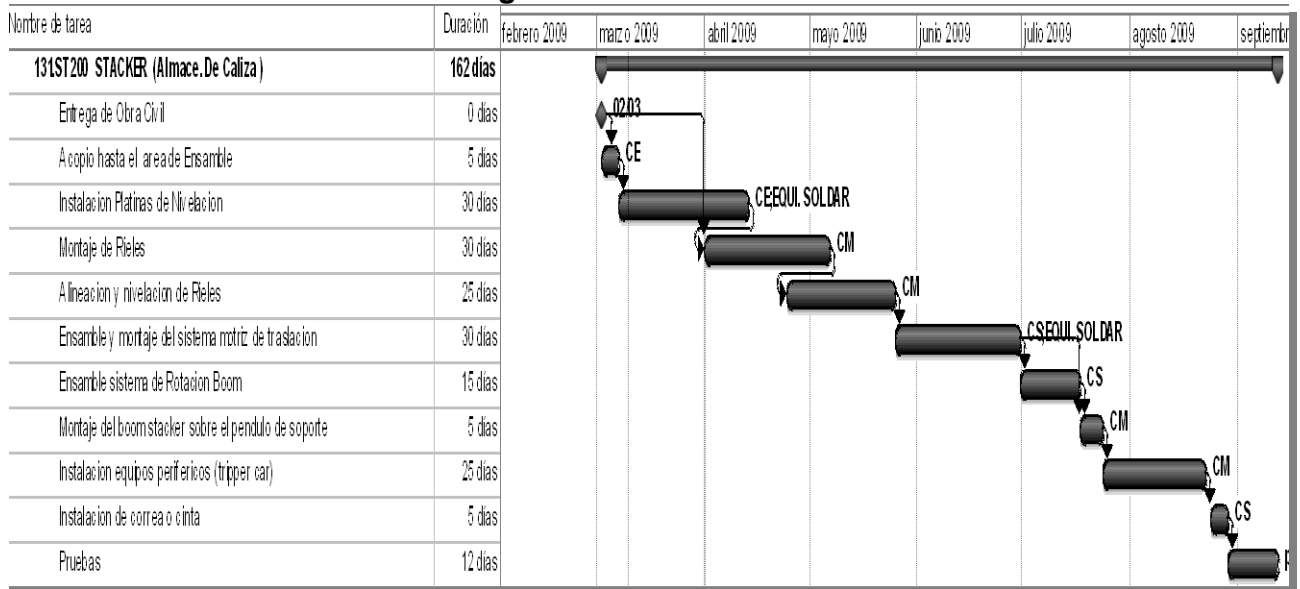
Figura 6. Programa detallado de trabajo montaje de las naves de almacenamiento con recursos



Fuente: Autores del trabajo

La ruta crítica no contempla la asignación de los recursos, sin embargo la importancia del método esta en la estimación del tiempo en que termina el proyecto, debido a que analiza las actividades sin holgura. (Ver figura 7)

Figura 7. Ruta Crítica



Fuente: Autores del trabajo

Las actividades que hacen parte de la ruta crítica son las siguientes: entrega de la obra civil, acopio hasta el área del ensamble, instalación platinas de nivelación, montaje de rieles, alineación y nivelación de rieles, ensamble y montaje del sistema motriz de traslación, ensamble sistema de rotación Boom, montaje del boom stacker sobre péndulo de soporte, instalación equipos periféricos, instalación de correa o cinta y pruebas.

La mayoría de las actividades son secuenciales, esto aumenta el riesgo de atraso en las actividades incumpliendo el plazo de entrega. Además la gerencia del proyecto programa que ambos equipos se instalan simultáneamente y según lo observado en la figura anterior.

A continuación se inicia la planificación con el método de cadena crítica, se identificara cuál es el recurso más cargado y de esta forma se propondrán mejoras en tiempos y programación.

4.2 CONSTRUCCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN CON CADENA CRÍTICA

A continuación se realizará la identificación del recurso más cargado, por medio de la programación y personal asignado para las actividades de montaje mecánico.

4.2.1 Identificación de recurso más cargado

Para identificar el recurso más cargado se analizaron las actividades descritas; acopio de materiales y equipos en el área de montaje, instalación de platinas, montaje líneas de riel, alineación y nivelación de rieles, ensamble sistema de rotación boom, ensamble y montaje del sistema motriz de translación, ensamble de la estructura del sistema tensor.

Los recursos utilizados en el montaje del los stacker en las naves de almacenamiento se dividen en dos grupos: la mano de obra empleada, la cual está organizadas en cuadrillas especializadas en actividades específicas y los equipos necesarios para la ejecución de las actividades.

En cuanto a mano de obra se identificaron 3 tipos de cuadrillas requeridas para la realización de las actividades:

❖ Cuadrilla de estructura: La cual está conformada por los siguientes cargos:

- 1 capataz
- 1 oficial
- 1 soldador 1A
- ayudantes

Se utilizan para el acopio, ensamble y montaje de estructura metálica

❖ Cuadrilla de montaje: La cual está conformada por los siguientes cargos:

- 1 oficial 1 A
- 1 oficial
- 1 soldador
- ayudantes

Se utiliza para ensamble y montaje de equipos

❖ Cuadrilla de especializada: La cual está conformada por los siguientes cargos :

- 1 Mecánico alineador
- 1 oficial 1 A
- 1 soldador 1A
- ayudantes

Se utiliza para el montaje de equipos de alta precisión

❖ Cuadrilla de Precomisión: para las pruebas y entrega de equipos se arma un equipo está conformado por:

- 1 Mecánico 1 A
- 1 Electricista instrumentista
- 1 oficial
- 1 ayudante

La Cuadrilla de Precomisión se encarga de verificar que el equipo cumpla con los protocolos requeridos y realizar las pruebas en vacíos corroborando el funcionamiento de este.

Se cuenta con la disponibilidad de 30 personas, distribuidas en seis cuadrillas, tres de ellas dirigidas para el montaje del Stacker de la nave de caliza, una por cada especialidad mencionada, y tres en el Stacker de la nave de carbón.

Para las pruebas y debido a que se requiere mano de obra especializada, la disponibilidad de ésta, es de una cuadrilla para ambos Stacker, y debido al tiempo de duración de las actividades

En cuanto a equipos se cuentan con máquinas de soldar, Grúas de 20 t y 80 t.

En la asignación de los recursos a cada actividad se encontró que la cuadrilla de montaje es utilizada en cuatro veces en cada Stacker, la cuadrilla de estructuras tres veces en cada Stacker, la cuadrilla especializada cuatro veces en cada Stacker, el

precomision una vez en cada Stacker, el equipo de soldar se presenta tres veces en cada Stacker.

La variable que permitió la identificación del recurso más cargado fue la duración de estos recursos en la realización de las actividades.

Se observa en las tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 la utilización de los recursos por actividad y su duración. Se puede identificar el recurso más cargado para cada Stacker.

Las figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13 muestran la programación de las cuadrillas por especialidad.

Tabla 1. Actividades realizadas por las cuadrillas de Especializada en el Stacker de caliza

Actividad	Duración (días)
Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación	30
Ensamble sistema de Rotación Boom	15
Montaje de los rodillos y poleas	15
Instalación de correa o cinta	5
Total	65

Fuente: Autores del trabajo

Figura 8. Programación de la cuadrilla especializada en el stacker de caliza



Fuente: Autores del trabajo

Tabla 2. Actividades realizadas por las cuadrillas de Especializada en el Stacker de carbón

Actividad	Duración (días)
Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación	20
Ensamble sistema de Rotación Boom	15
Montaje de los rodillos y poleas	13
Instalación de correa o cinta	5
Total	53

Fuente: Autores del trabajo

Figura 9. Programación de la cuadrilla especializada en el stacker de carbón



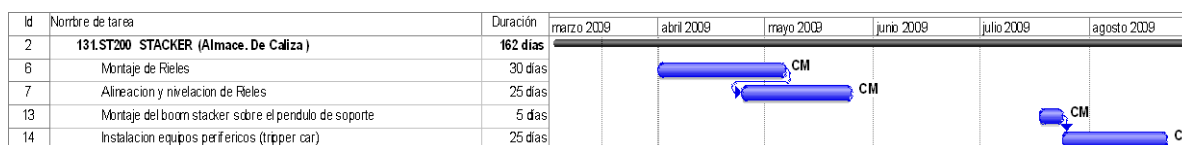
Fuente: Autores del trabajo

Tabla 3. Actividades realizadas por las cuadrillas de Montaje para Stacker de caliza

Actividad	Duración (días)
Montaje de Rieles	30
Alineación y nivelación de Rieles	25
Montaje del boom Stacker sobre el péndulo de soporte	5
Instalación equipos periféricos (Tripper car)	25
Total	85

Fuente: Autores del trabajo

Figura 10. Programación de la cuadrilla de montaje en el stacker de caliza



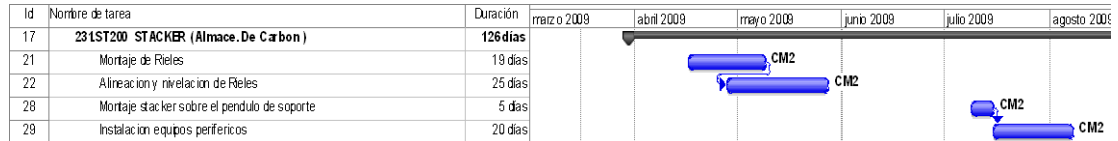
Fuente: Autores del trabajo

Tabla 4. Actividades realizadas por las cuadrillas de Montaje para Stacker de carbón.

Actividad	Duración (días)
Montaje de Rieles	19
Alineación y nivelación de Rieles	25
Montaje del boom Stacker sobre el péndulo de soporte	5
Instalación equipos periféricos (Tripper car)	20
Total	69

Fuente: Autores del trabajo

Figura 11. Programación de la cuadrilla montaje en el stacker de carbón



Fuente: Autores del trabajo

Tabla 5. Actividades realizadas por las cuadrillas de Estructura en el Stacker de caliza

Actividad	Duración (días)
Acopio hasta el área de Ensamble	5
Instalación Platinas de Nivelación	30
Ensamble de la estructura y sistema tensor	25
Total	60

Fuente: Autores del trabajo

Figura 12. Programación de la cuadrilla de estructura en el stacker de caliza



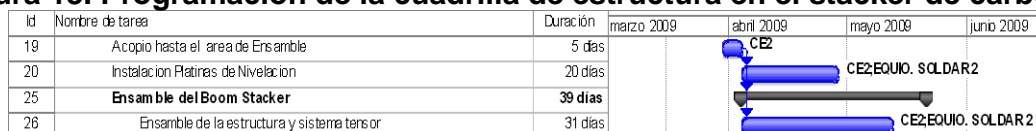
Fuente: Autores del trabajo

Tabla 6. Actividades realizadas por las cuadrillas de Estructura en el Stacker de carbón

Actividad	Duración (días)
Acopio hasta el área de Ensamble	5
Instalación Platinas de Nivelación	20
Ensamble de la estructura y sistema tensor	31
Total	56

Fuente: Autores del trabajo

Figura 13. Programación de la cuadrilla de estructura en el stacker de carbón



Fuente: Autores del trabajo

Tabla 7. Resumen del uso de los recursos

Cuadrilla	Duración total (días)	
	Stacker carbón	Stacker caliza
Cuadrilla Especializada	53	65
Cuadrilla de Montaje	69	85
Cuadrilla de Estructura	56	60

Fuente: Autores del trabajo

El recurso más cargado para el Stacker de la nave de caliza es la cuadrilla de montaje con una duración de 85 días, debido que es utilizado en 4 actividades. Ver tabla 7.

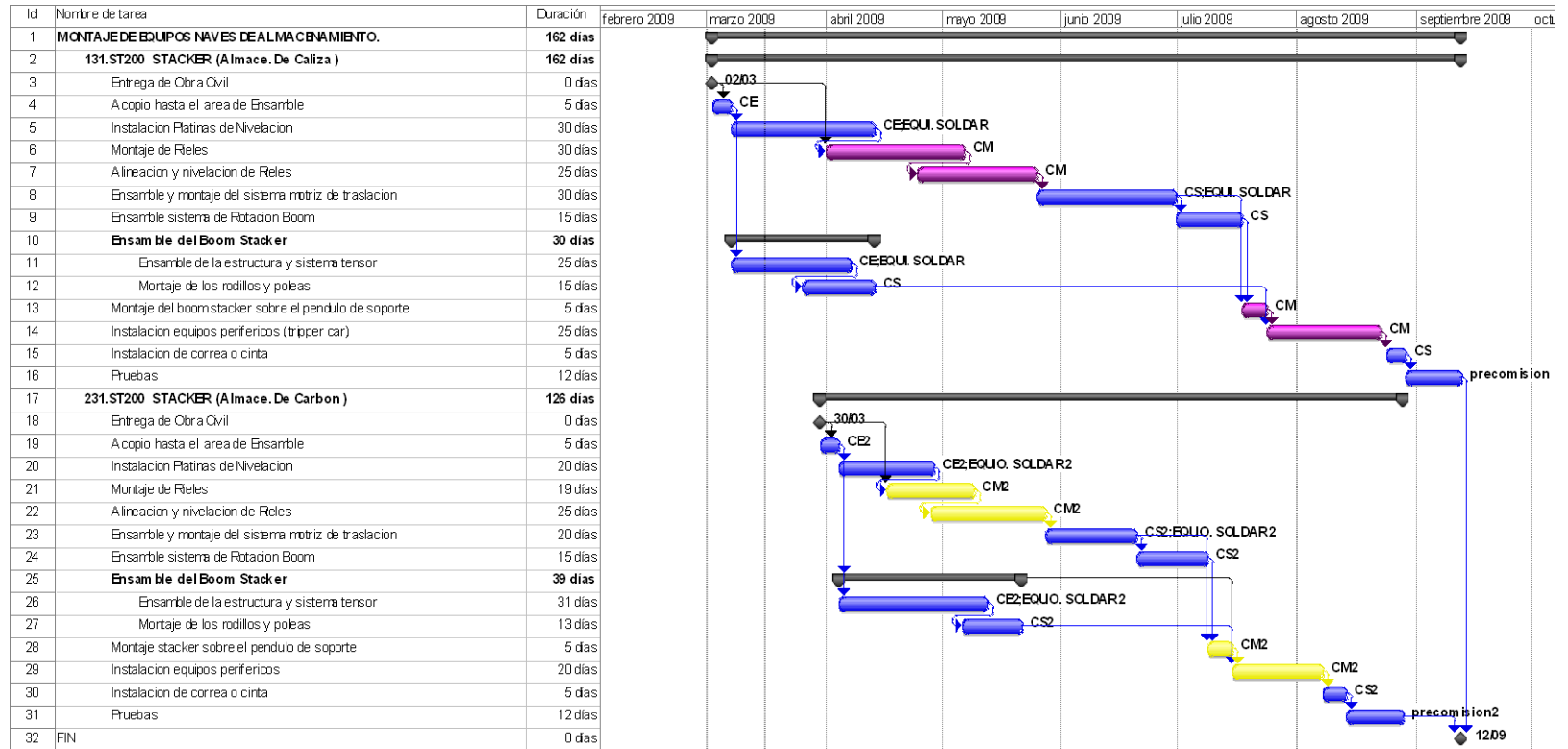
Para el Stacker de la nave de carbón el recurso más cargado es también la cuadrilla de montaje con una duración de 69 días, la cual participa en 4 actividades del total de estas como se evidencia en la tabla 4 y figura 11.

Las grúas no fueron tenidas en cuenta debido a que el tiempo de izaje de las piezas no es representativo comparando con el tiempo total de la actividad que se va a realizar. Para los demás recursos, se evidencia en el programa detallado de trabajo,

que el tiempo de utilización de la Cuadrilla de Montaje es mayor en comparación con las demás cuadrillas para ambos Stacker.

La programación de las actividades y recursos se puede observar de forma agregada en las figuras 14 y 15.

Figura 14. Identificación de recurso más cargado



Fuente: Autores del trabajo

Como se observa en la figura 14, el programa detallado de trabajo presenta un fenómeno llamado Multitareas, esto conlleva a cambios continuos de trabajo, generando consecuencias en el rendimiento por las adaptaciones continuas, conflictos en las prioridades e imposibilitando la terminación en la fecha prometida de entrega. La mano de obra disponible para realización del montaje de los equipos de las naves de almacenamiento son seis cuadrillas dos de cada especialidad, generando conflictos en las prioridades de estas.

Los recursos que se encuentra en conflicto en el montaje del Stacker de la nave caliza son la cuadrilla de montaje, entre las actividades de montaje de rieles y la alineación y nivelación de rieles, utilizando ambos la misma cuadrilla.

Existen otros recursos en multitareas, tales como la Cuadrilla de Estructura que generaba conflicto entre las actividades de instalación de platinas y ensamble de la estructura y sistema tensor. Se le dio prioridad a la cuadrilla de montaje por ser el recurso más cargado, postergando primero el inicio de alineación y nivelación con respecto al montaje de rieles y luego, el ensamble de la estructura y sistema tensor con respecto a la instalación de platinas. De esta manera se realiza la programación del trabajo de los recursos teniendo en cuenta sus limitaciones de capacidad.

4.2.2 Identificación de la Cadena Crítica

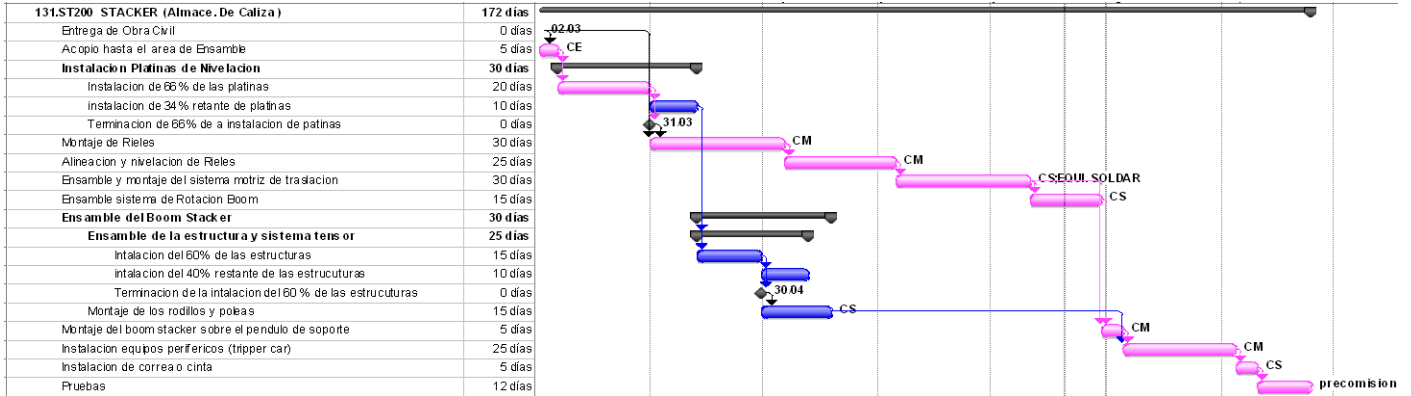
La programación con CCPM tienen como objetivo fundamental lograr que los proyectos se terminen a tiempo, dentro del presupuesto y con las especificaciones y calidades establecidas. Esto se obtiene a través de la manera como CCPM maneja la incertidumbre, elemento presente en todo proyecto.

Luego de identificado y escalonado el recurso más cargado se procede a identificar la Cadena Crítica que conforma el proyecto, la cual está compuesta por la cadena más larga de tareas dependientes, considerando las dependencia entre los recursos. Ver figura 15

Las actividades que conforman la cadena crítica del Stacker 131ST200 son: acopio hasta el área de ensamble, instalación de platinas de nivelación, montaje de rieles,

alineación y nivelación de rieles, ensamble y montaje del sistema de motriz de translación, ensamble del sistema de rotación boom, montaje del boom sobre el péndulo de soporte, instalación de equipos periféricos (Tripper car).

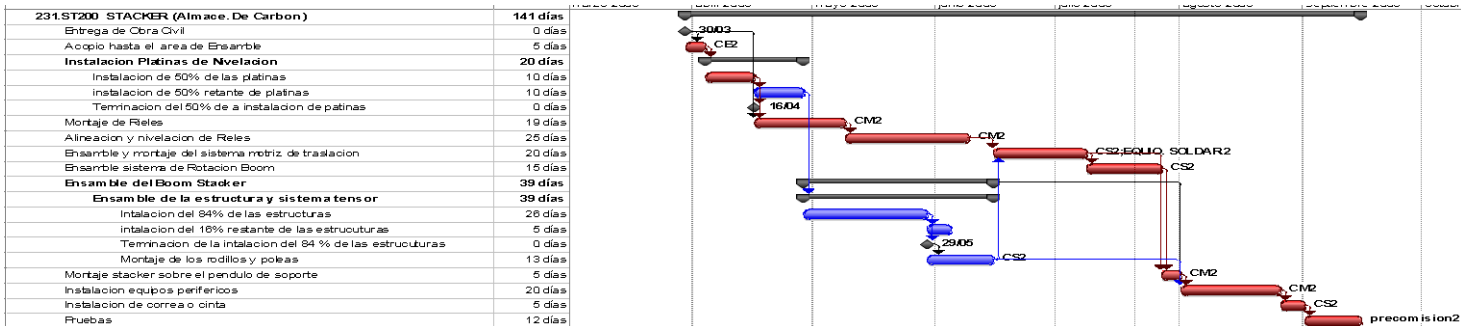
Figura 15. Cadena Crítica para el Stacker de caliza



Fuente: Autores del trabajo

Para el Stacker 231ST200 las actividades que hacen parte de la cadena crítica son: montaje de rieles alineación y nivelación de rieles, ensamble y montaje del sistema de motriz de translación, ensamble del sistema de rotación boom, montaje del boom sobre el péndulo de soporte, instalación de equipos periféricos. Ver figura 16.

Figura 16. Cadena Crítica para el Stacker de carbón



Fuente: Autores del trabajo

Una vez identificada la Cadena Crítica de ambos Stacker se procede a la administración de los Buffers.

4.2.3 Administración de buffers

La forma tradicional como se planean los proyectos es asignando la fecha de terminación de cada actividad, agregando tiempos de holgura, de acuerdo con la incertidumbre. Sin embargo, esta no resulta ser la mejor forma puesto que se compromete el avance integrado del proyecto.

Para reducir los tiempos a la mitad, según lo propuesto por Goldratt para la creación de los buffers, se debió analizar cada una de las duraciones de las actividades de la cadena crítica. Los tiempos para las actividades se determinaron de dos maneras, la duración de algunas fueron estimadas con base a la experiencia del ingeniero jefe de frente y el supervisor, y en otras los tiempos se establecieron con base en datos estadísticos de la empresa en montajes similares.

Las actividades con tiempos estimados de acuerdo a la experiencia están afectadas por la percepción del factor humano, debido a que el criterio es la sobreestimación de los tiempos para evitar incumplimiento en las actividades por factores inciertos. En estas actividades es posible la reducción de tiempos y utilizar la incertidumbre para crear los buffers.

Las sobre estimaciones colocadas por el Jefe de Frente y el Supervisor en cada una de las actividades que no fueron calculados sus tiempos con base al rendimiento estándar, para esto el criterio que utilizaron estas personas fue la complejidad de la actividad y los recursos necesarios para realizarla y con base en este criterio calcularon la duración de los tiempos agregándole colchones a estas.

Los tiempos calculados con base a los rendimientos estadísticos, no se pueden modificar, debido a que son datos reales ejecutados en proyectos anteriores. Es decir, están basados en funciones de probabilidad, a las cuales se les introduce parámetros del proyecto. Además por motivos de confidencialidad, no fue posible acceder a información detallada sobre los componentes estocásticos y optimización usados por el Consorcio. Estos tiempos históricos no fueron suministrados debido a ser información confidencial, sin embargo la empresa entregó los rendimientos estándares de

kilogramos sobre horas hombre de esta que son citados en cada una de las actividades estándares descritas a continuación que fueron la base para el cálculo de la duración de las actividades de tiempos estándares.

Las actividades de tiempos estándares son Ensamble de la estructura y sistema tensor que tiene un rendimiento de 16 Kg\H-h, Montaje de los rodillos y poleas que tiene un rendimiento de 2.5 hrs/unid rodillo y de 5 hrs/unid poleas, Instalación equipos periféricos que tiene un rendimiento de 23 Kg\H-h, Instalación de correa o cinta que tiene un rendimiento de 5mts\Hrs

A continuación se describe el análisis que se realizó en compañía del Jefe de frente, el cual determino cuales actividades estimadas y no estimadas de los Stacker de las naves de almacenamiento y como fueron definidos estos tiempos, de acuerdo al diagrama de flujo y al programa detallado de trabajo que están representados en las Figuras 4 y 5 respectivamente .

Nave de caliza 131ST200

- Acopio hasta el área de Ensamble: Tiene una duración de 5 días, este tiempo fue estimado ya que depende de la disponibilidad de los equipos para el traslado y de la facilidad ubicación de los elementos en las bodegas.
- Instalación Platinas de Nivelación: Tiene una duración de 30 días, este tiempo fue estimado debido que las platinas de nivelación tienen una longitud total de 600 metros cada platina es de 6 m, se deberán instalar 100 platinas y se estima que se colocan 3 platinas al día, este tiempo aplica para su instalación, nivelación y alineación.
- Montaje de Rieles: Tiene una duración de 30 días, este tiempo fue estimado, debido a que los rieles tienen una longitud total de 600 metros cada riel es de 12 m se deberán instalar 50, y se estima que se colocaran alrededor de 1,6 rieles por día. Incluye grapas, extensiones elementos de fijación.

- Alineación y nivelación de Rieles: Tiene una duración de 30 días este tiempo fue estimado debido a que esta actividad depende de la calidad del trabajo anterior y es un colchón para asegurar que los rieles hayan quedado bien instalados.
- Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación: Tiene una duración de 30 días se estima de acuerdo a la cantidad de motores frenos ruedas y la complejidad del sistema, para este caso los motores son 12 y el sistema de ensamble de las ruedas y la parte estructural se considera bastante complejo.
- Ensamble sistema de Rotación Boom: Tienen una duración de 15 días, este tiempo se estimo de acuerdo a la cantidad de actuadores, motores, cajas hidráulicas y la complejidad del sistema, para este caso el sistema de ensamble es bastante complejo debido a la gran importancia de esta sección, para el correcto funcionamiento de la maquina.
- La actividad del Ensamble del Boom Stacker tiene una duración de 30 días se subdivide en dos actividades:
 - a) Ensamble de la estructura y sistema tensor, tiene una duración de 25 días, este tiempo fue calculado con base a los rendimientos de la siguiente manera: el peso de la estructura y del sistema tensor es de 20586 Kg el rendimiento estándar es de 16 Kg/H-h por lo cual se necesitaran 1.286,63 H-h y estas son divididas entre 5 personas que conforman la cuadrilla entonces son 257,33 horas totales y como se trabajan 10 horas/día los días requeridos para desarrollar la actividad son 25,33.
 - b) Montaje de los rodillos y poleas. Tiene una duración de 15 días, este tiempo fue calculado con base a los rendimientos de la siguiente manera: según los planos de montaje se deberán instalar 49 rodillos y 4 poleas, los rendimientos estándares son de 2.5 hrs/unid y de 5 hrs/unid respectivamente para un total de 142,50 horas totales para la instalaciones de los rodillos y poleas, como se

laboran 10 horas por día se requieren de 14.25 días para la instalación de estos.

- Montaje Stacker sobre el péndulo de soporte: Tiene una duración de 5 días, este tiempo fue estimado, ya que depende de la correcta planeación, disponibilidad de equipos (grúas) y facilidad de empalme con las partes ya ensambladas.
- Instalación equipos periféricos: Tiene una duración de 25 días, este tiempo fue calculado de acuerdo con el rendimiento estándar de la siguiente manera: el peso de los equipos es de 28.540Kg, el rendimiento estándar es de 23Kg/H-H, las horas hombres totales son de 1240,87y estas son divididas entre 5 personas que conforman la cuadrilla para un total de 248,87 horas, como se laboran 10 horas al día se requieren de 24,87 días para la instalación de estos.
- Instalación de correa o cinta: Tiene una duración de 5 días, se calcularon de acuerdo a los rendimientos estándares de la siguiente manera: el boom principal tiene una longitud de 43.38m , la longitud del caucho requerido es de 95,43m y los elementos periféricos tienen una longitud de 30,73m y es necesario instalar 67,62m de caucho, se necesita un día por cada pegue o unión del caucho, para este caso se necesitan dos pegues uno en el boom principal y otro en los periféricos, y el rendimiento que se tiene para este tipo de actividad es de 5 metros por hora, los cinco días se obtienen de sumar la longitud total de caucho a instalar dividido en el rendimiento, dando como resultado las horas totales, a esto se le suman los dos días necesarios para los pegues.
- Pruebas: Tiene una duración de 12 días , este tiempo fue estimado debido a que no existe la forma de estandarizarlo, pues dependen de muchas variables, calidad de los trabajos anteriores, instalaciones eléctricas, alineaciones, nivelaciones, y los protocolos exigidos por el fabricante.

Nave de carbón 231.ST200

- Acopio hasta el área de Ensamble: Tiene una duración de 5 días, este tiempo fue estimado ya que depende de la disponibilidad de los equipos para el traslado y de la facilidad ubicación de los elementos en las bodegas.
- Instalación Platinas de Nivelación: Tiene una duración de 20 días, este tiempo fue estimado debido que las platinas de nivelación tienen una longitud total de 350 metros, cada platina es de 6 m se deben instalar 60 platinas se estima que se colocan alrededor 3 platinas por día en su instalación, nivelación y alineación.
- Montaje de Rieles: Tiene una duración de 19 días, este tiempo fue estimado, debido a que los rieles tienen una longitud total de 350 metros, cada riel es de 12 m y se deben instalar 30 se estima que cada riel se demora alrededor de 1,6 días en su instalación, nivelación y alineación. Incluye grapas, extensiones elementos de fijación.
- Alineación y nivelación de Rieles: Tiene una duración de 25 días este tiempo fue estimado debido a que esta actividad depende de la calidad del trabajo anterior y es un colchón para asegurar que los rieles hayan quedado bien instalados.
- Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación: Tiene una duración de 20 días se estima de acuerdo a la cantidad de motores frenos ruedas y la complejidad del sistema, para este caso los motores son 8 y el sistema de ensamble de las ruedas y la parte estructural se considera bastante complejo.
- Ensamble sistema de Rotación Boom: Tienen una duración de 15 días , este tiempo se estimo de acuerdo a la cantidad de actuadores, motores, cajas hidráulicas y la complejidad del sistema, para este caso el sistema de ensamble es bastante complejo debido a la gran importancia de esta sección, para el correcto funcionamiento de la maquina.

- La actividad del Ensamble del Boom Stacker tiene una duración de 39 días se subdivide en dos actividades como son:
 - a) Ensamble de la estructura y sistema tensor: Tiene una duración de 31 días, este tiempo fue calculado con base a los rendimientos de la siguiente manera: el peso de la estructura y del sistema tensor es de 24756,6 Kg el rendimiento estándar es de 16 Kg/H-h por lo cual se necesitaran 1.547,29 H-h y estas son divididas entre 5 personas que conforman la cuadrilla entonces son 309,46 horas totales y como se trabajan 10 horas/día los días requeridos para desarrollar la actividad son 30,95.
 - b) Montaje de los rodillos y poleas. Tiene una duración de 13 días, este tiempo fue calculado con base a los rendimientos de la siguiente manera: según los planos de montaje se deberán instalar 41 rodillos y 4 poleas, los rendimientos estándares son de 2.5 hrs/unid y de 5 hrs/unid respectivamente para un total de 122,50 horas totales para la instalaciones de los rodillos y poleas, como se laboran 10 horas por día se requieren de 12.25 días para la instalación de estos.
- Montaje Stacker sobre el péndulo de soporte: Tiene una duración de 5 días, este tiempo fue estimado, ya que depende de la correcta planeación, disponibilidad de equipos (grúas) y facilidad de empalme con las partes ya ensambladas.
- Instalación equipos periféricos: Tiene una duración de 20 días, este tiempo fue calculado de acuerdo con el rendimiento estándar de la siguiente manera: el peso de los equipos es de 22.027Kg, el rendimiento estándar es de 23Kg/H-H, las horas hombres totales son de 957,70y estas son divididas entre 5 personas que conforman la cuadrilla para un total de 191,54 horas, como se laboran 10 horas al día se requieren de 19,15 días para la instalación de estos.

- Instalación de correa: tiene una duración de 5 días, este tiempo fue calculado de acuerdo a los rendimientos estándares de la siguiente manera: el boom principal tiene una longitud de 43.38m , la longitud del caucho requerido es de 95,43m y los elementos periféricos tienen una longitud de 30,73m y es necesario instalar 67,62m de caucho, se necesita un día por cada pegue o unión del caucho, para este caso se necesitan dos pegues uno en el boom principal y otro en los periféricos, y el rendimiento que se tiene para este tipo de actividad es de 5 metros por hora, los cinco días se obtienen de sumar la longitud total de caucho a instalar dividido en el rendimiento, dando como resultado las horas totales, a esto se le suman los dos días necesarios para los pegues.
- Pruebas: Tiene una duración de 12 días , este tiempo fue estimado debido a que no existe la forma de estandarizarlo, pues dependen de muchas variables, calidad de los trabajos anteriores, instalaciones eléctricas, alineaciones, nivelaciones, y los protocolos exigidos por el fabricante.

4.2.3.1 Calculo del Buffer de Terminación

Después de analizar las actividades estimadas y no estimadas de los Stacker de las naves de almacenamiento de acuerdo al diagrama de flujo y al programa detallado de trabajo, se procede a reducir a la mitad las estimaciones de las actividades que pertenezcan a la Cadena Critica.

Como se describió anteriormente las actividades estimadas poseen colchones de seguridad, según el Jefe de Frente, para asegurar la terminación de la actividad y prever cual tipo de imprevistos durante la realización de esta, razones por las cuales se pueden reducir estos tiempos, estas actividades fueron reducidas al 50 % debido a que Goldratt lo propone al aplicar la metodología de Gestión de Proyectos con Cadena Critica.

Basados en esta información se cortan los tiempos de las siguientes actividades en un 50 %: Acopio hasta el área de Ensamble, Instalación Platinas de Nivelación, Montaje

de Rieles, Alineación y nivelación de Rieles, Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación, Ensamble sistema de Rotación Boom, Montaje del boom Stacker sobre el péndulo de soporte y Pruebas para el Stacker de la nave de caliza.

Como todas estas actividades pertenecen a la cadena crítica, la mitad de ese tiempo recortado es trasladado al final del proyecto para crear el Buffer de Terminación asegurando la fecha de entrega.

De esta forma al Stacker de Caliza se le asigna un buffer de terminación con duración de 38 días, el cual es el resultado de la suma de tiempos de la protección quitada por actividad.

Este Buffer se ubicará al finalizar la última actividad del proyecto que son las pruebas del 131.ST200 Stacker almacenamiento de Caliza.

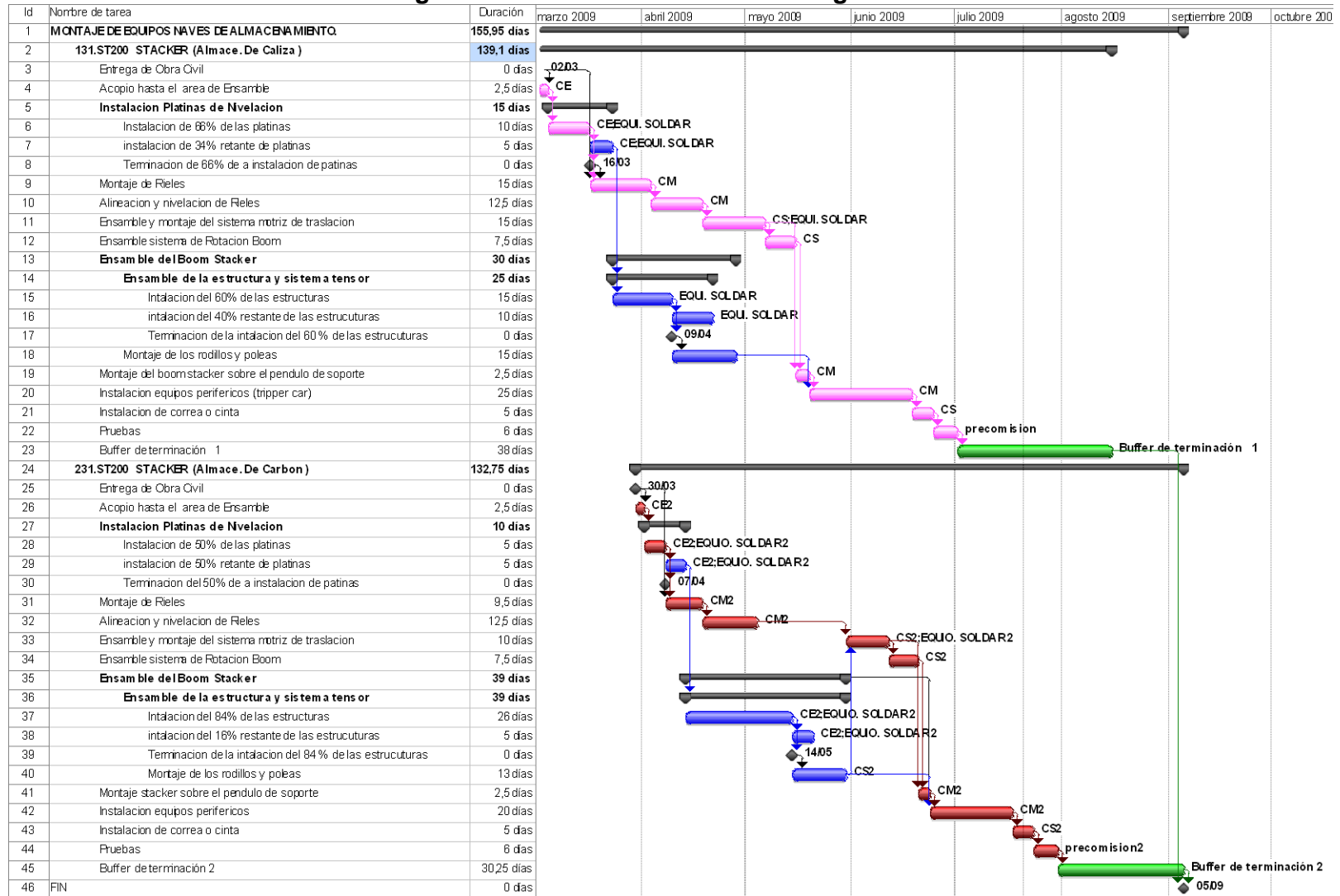
Para el Stacker de almacenamiento de carbón se recortan las actividades; Acopio hasta el área de Ensamble, Instalación Platinas de Nivelación, Montaje de Rieles, Alineación y nivelación de Rieles, Ensamble y montaje del sistema motriz de traslación, Ensamble sistema de Rotación Boom, Montaje del boom Stacker sobre el péndulo de soporte y Pruebas para el Stacker de la nave de carbón, y se coloca la mitad de la protección recortada a final de las actividades del Stacker de la nave de carbón este buffer tiene una duración de 30.25 días de duración.

La metodología para el recorte de los tiempos fue la descrita por Goldratt en gestión de proyectos con Cadena Crítica, la cual se desarrollada paso a paso al realizar el ejercicio comparativo

4.2.3.2 Calculo del buffer de alimentación

Con respecto al buffer de alimentación no es posible calcularlo debido a que las actividades no críticas son tiempos fijos que no se pueden recortar para crear este colchón de seguridad al final de la cadena no crítica. La cadena crítica propuesta se puede observar en la figura 17.

Figura 17. Cadena Crítica con amortiguadores



Fuente: Autores del trabajo

4.2.4 Control: indicadores para la priorización de recursos

Para permitir un efectivo seguimiento al consumo de los amortiguadores, se deben reportar los avances acorde con las horas invertidas $Kg/(H-h)$ o $(H-h)$ en una tarea, analizando si el proyecto se está ejecutando de acuerdo con lo planificado, y de esta forma tomar decisiones sobre la marcha en la asignación de recursos, es decir, priorizar recursos.

La prioridad se establece con base en dos criterios: primero de acuerdo a que tipo de amortiguador se esté consumiendo y segundo el porcentaje de amortiguador que se esté consumiendo:

1. Una tarea localizada en una cadena que ha comenzado a consumir un amortiguador de terminación siempre tiene mayor prioridad que una tarea localizada en una cadena que está consumiendo un amortiguador de alimentación.
2. Una tarea tiene mayor prioridad cuando un más alto porcentaje del amortiguador se ha consumido al final de su cadena⁴⁰

⁴⁰ MARUN Jaime EN MINOR DE TEORIA DE RESTRICCIONES (1ª:2008: Cartagena) Memorias del modulo Toc Cartagena Bolívar

5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En la programación suministrada por el Consorcio CCHL Columbus se estiman 162 días de ejecución del proyecto, el cual se compone de montaje del Stacker de la nave de caliza con una duración de 162 días y la nave de carbón de 126 días.

5.1 Diseño de Escenarios Para la Planeación con Cadena Crítica

Con objeto de evaluar los resultados de la implementación de la Cadena Crítica para la administración de proyecto se proponen tres escenarios los cuales se compararan contra la propuesta planteada inicialmente por el consorcio CCHL Columbus, los escenarios son los siguientes:

Escenario pesimista: Donde la terminación del proyecto se ve reflejada en la utilización al 100% del Buffer de terminación.

Escenario Optimista: En este escenario la duración del proyecto es la duración de la Cadena Crítica, en donde no se utiliza ningún porcentaje del Buffer de Terminación.

Escenario Promedio: En este escenario se tomaron los escenarios optimista y pesimistas y se promediaron para obtener un punto medio entre estos, utilizando sola la mitad del Buffer de Terminación.

5.2 Resultados Obtenidos Para Cada Escenario

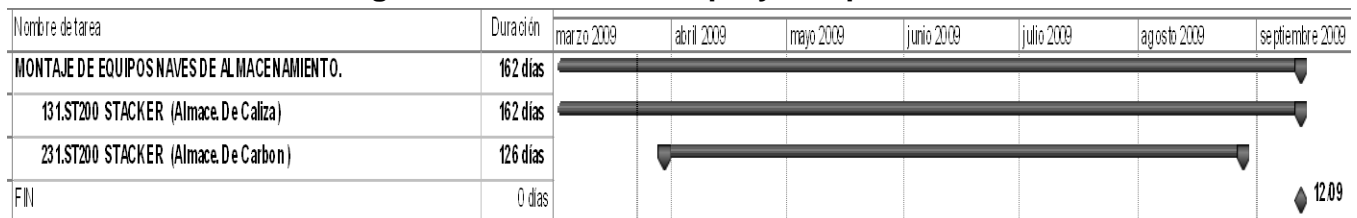
Planteado los escenarios que se explicaron anteriormente, se evalúan contra la propuesta del Consorcio CCHL Columbus y se demuestran los resultados que se obtienen de estos.

5.2.1 Escenario Pesimista

Empleando el método de Cadena Crítica para la planificación en el montaje de los dos Stacker, en un escenario pesimista, en el cual se presentan condiciones adversas y con el consumo de todo el buffer de terminación, la diferencia en tiempo es de 4% (ver tabla 8), debido a que la reducción del tiempo total es en promedio de 156 días, para el montaje del Stacker de la nave de caliza se obtuvo una duración de 139 días y 132 días para la nave de carbón.

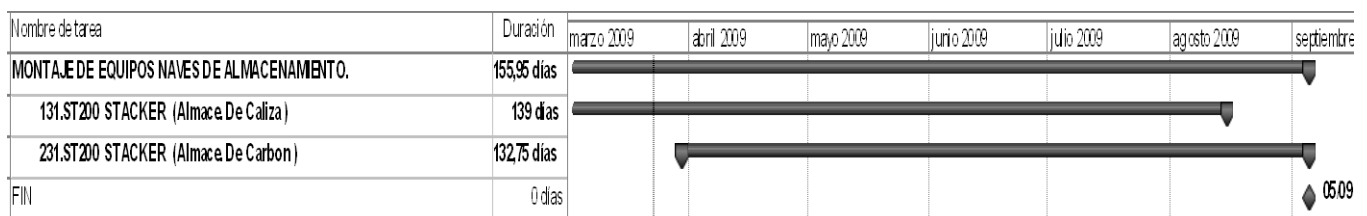
Los resultados obtenidos en el ejercicio del método de Cadena Crítica aplicado al proyecto en el Consorcio CCHL Columbus, se muestran en las figuras 19 y 20:

Figura 188. Duración del proyecto por el Consorcio



Fuente: Autores del trabajo

Figura 199. Duración del proyecto propuesta Escenario Pesimista



Fuente: Autores del trabajo

Tabla 8. Comparación de los tiempos para propuesta de CCPM pesimista

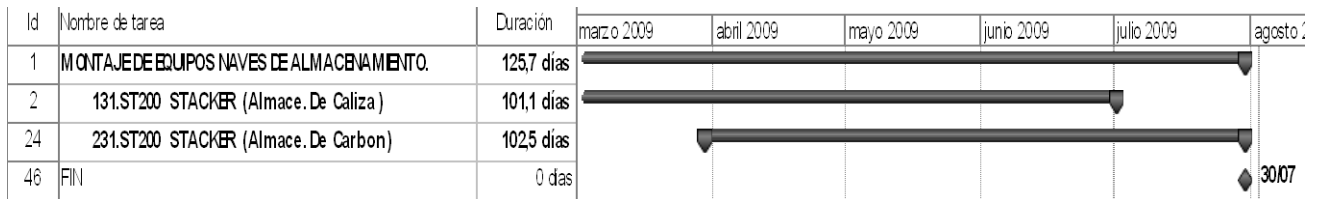
Actividad	Consorcio (Días)	CCPM (Días)	Diferencia (Días)	%
Montaje Stacker Caliza	162	139	23	14
Montaje Stacker Carbón	126	132	-6	-5
Proyecto de Montaje de stacker (Pesimista)	162	156	6	4

Fuente: Autores del trabajo

5.2.2 Escenario Optimista

Empleando el método de Cadena Critica para la planificación en el montaje de los dos Stacker, en un escenario optimista, donde no se consuman los buffer, el tiempo total se reduce de 162 a 125.7 días en promedio, es decir, existe un ahorro del 22% (Ver tabla 9) en el tiempo de ejecución si se realiza el análisis de las restricciones.

Figura 20. Duración del proyecto propuesta Escenario Optimista



Fuentes: autores del trabajo

Tabla 9. Comparación de los tiempos para propuesta de CCPM optimista

Actividad	Consortio (Días)	CCPM (Días)	Diferencia (Días)	%
Montaje Stacker Caliza	162	101	61	38
Montaje Stacker Carbón	126	102.5	23.5	19
Proyecto de Montaje de Stacker (Optimista)	162	125.7	36.3	22

Fuente: Autores del trabajo

5.2.3 Escenario Promedio

Empleando el método de Cadena Critica para la planificación en el montaje de los dos Stacker, en un escenario promedio, donde se consume la mitad del buffer de terminación el tiempo total se reduce de 162 a 140.83 días en promedio, es decir existe un ahorro del 13%(Ver tabla 10)

Figura 21. Duración del proyecto propuesta Escenario Promedio

Id	Nombre de tarea	Duración	2009					
			marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto
1	MONTAJE DE EQUIPOS NAVES DE ALMACENAMIENTO	140,83 días	[Barra de Gantt que cubre desde marzo hasta agosto]					
2	131.ST200 STACKER (Almace. De Caliza)	120,1 días	[Barra de Gantt que cubre desde marzo hasta julio]					
24	231.ST200 STACKER (Almace. De Carbon)	117,63 días	[Barra de Gantt que cubre desde abril hasta agosto]					
46	FIN	0 días	[Barra de Gantt que termina en agosto]					

Fuente: Autores del Trabajo

Tabla 10. Comparación de los tiempos para propuesta de CCPM promedio

Actividad	Consorcio (Días)	CCPM (Días)	Diferencia (Días)	%
Montaje Stacker Caliza	162	120.1	41.9	26
Montaje Stacker Carbón	126	117.63	8.37	7
Proyecto de Montaje de stacker (Promedio)	162	140.83	21.17	13

Fuente: Autores del trabajo

Aunque hubo un incremento en la duración de las actividades del Stacker de la nave de carbón en el escenario pesimista, en general la planeación del proyecto no se afectó, este incremento se debe a la eliminación de las multitareas y a la duración de las actividades no estimadas, las cuales no pueden ser reducidas según las restricciones encontradas. Por otro lado, alrededor del 33% del tiempo planeado con cadena crítica, se utiliza como un colchón de seguridad en el Buffer de Terminación para asegurar la fecha de terminación del proyecto.

Otra de los beneficios que se obtienen al programar con base al recurso más cargado, consiste en que se elimina el ambiente de planeación multitarea, es decir, se excluye el uso del mismo recurso en una o más actividades simultáneamente, tal y como se muestra en la sección 4.2.1. donde se evidencia la utilización de la cuadrilla de montaje como el recurso más cargado, existe gran probabilidad de que las actividades y los montajes de los Stacker no cumplan con las fechas establecidas si se planifica sin tener en cuenta la restricciones de los recursos.

De acuerdo con la planificación realizada por el Consorcio, la cuadrilla de montaje tiene una duración de 85 días y es usado en las actividades de: montaje de rieles, alineación y nivelación de rieles, montaje del boom y instalación de equipos periféricos. Esta programación hace de la cuadrilla de montaje el recurso más cargado para el Stacker de la nave caliza. Sin embargo, para este mismo Stacker, el estudio

de las restricciones permite que las actividades se reduzcan en 50%, con excepción de la actividad ensamble del boom Stacker. Como consecuencia se obtiene una disminución de 23 días en la totalidad de las actividades.

De esta forma se optimiza y la reducción del tiempo permite la programación, sin multitareas, de la cuadrilla de montaje entre los Stackers, además sin estar por fuera de las fechas de cumplimiento.

Los recursos que se encuentra en conflicto en el montaje del Stacker de la nave de carbón son la cuadrilla de montaje, entre las actividades de montaje de rieles y la alineación y nivelación de rieles, utilizando ambos la misma cuadrilla. El uso de la cuadrilla de montaje está estimado en 69 días, en la nave de carbón, por el Consorcio; no obstante, este recurso es reprogramado evitando la situación multitarea, como se muestra en la sección 4.2.4. Por esta razón se obtiene un incremento de 7 días en la totalidad del tiempo estimado para el ensamble del Stacker cumpliendo aún con las fechas de entrega sin que por esto se incremente la duración total del proyecto.

Al contrario de la planificación de tiempo de holgura por actividad, se estima que para el montaje del Stacker de almacenamiento de caliza la holgura en promedio es de 38 días en conjunto con todas las actividades. Para el Stacker de almacenamiento de carbón el tiempo de holgura es en promedio de 30,25 días.

Como se evidenció en los tres escenarios analizados, la propuesta planteada Gestión de Proyectos con Cadena Critica representa una disminución en tiempo de ejecución de las actividades con respecto a la planteada en el Consorcio CCHL Columbus.

5.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA PROPUESTA A LA LUZ DE LOS AVANCES DEL PROYECTO

Adicional a la comparación de los tiempos según la metodología de planificación del proyecto, se hizo un análisis más detallado de las tasas de rendimiento actuales. Se solicitaron los pesos que se encuentran en los Summary List del diseñador de los equipos, cada uno de estos pesos fue dividido entre los rendimientos para calcular las

Horas Hombres necesarias y luego con la cantidad de mano de obra disponible (tres cuadrillas para cada Stacker, compuesta cada una por 15 personas).

Luego de este cálculo, se evidenció una tasa actual de rendimiento es de 11kg/H-H⁴¹, la cual es considerada baja para cumplir con las fechas de terminación establecidas a partir de la planeación suministrada. En este sentido, no se daría cumplimiento a la entrega de los Stacker en la fecha que el Consorcio ha previsto; por esta razón, se realizó el ejercicio de calcular la fecha estimada de terminación con base a los rendimientos.

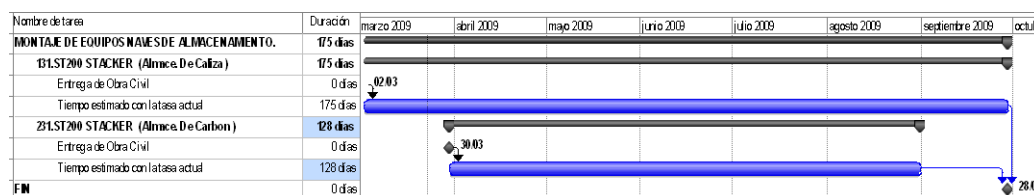
En cada montaje se obtienen las horas totales para la instalación de los equipos; como se disponen de diez horas al día, se calculan los días necesarios, arrojando los siguientes resultados: 175 días para la instalación del Stacker de la nave de caliza y de 128 días para la instalación del Stacker de la nave de carbón. Los datos se muestran en la tabla 8 y el grafico 20.

Tabla 11. Cálculo de estimación de tiempos con el nuevo rendimiento

Equipo	131.ST200 STACKER (Almacenamiento De Caliza)	231.ST200 STACKER (Almacenamiento De Carbón)
Peso	289437KG	211823KG
Rendimiento actual	11KG/H-H	11KG/H-H
Horas hombres	26312,45455H-H	19256,63636H-H
Horas totales	1754,163636H	1283,775758H
N° de días	175,4163636 DÍAS	128,3775758 DÍAS

Fuente: Autores del trabajo

Figura 22. Estimación de la terminación del proyecto con los rendimientos actuales



Fuente: Autores del trabajo

⁴¹ Suministrado por el programador del Consorcio CCHL COLUMBUS

La terminación, después del análisis por tasas de rendimiento del proyecto, duraría 175 días, es decir 13 días adicionales a lo inicialmente planeado.

Tabla 12. Comparación de los resultados con rendimiento actual en escenario pesimista

Actividad	Consortio (Días)	CCPM (Días)	Diferencia (Días)	%
Montaje Stacker Caliza	175	139	36	21
Montaje Stacker Carbón	128	132	-4	-3
Proyecto de Montaje de Stacker (Pesimista)	175	156	19	11

Fuente autores del proyecto

Al comparar este resultado con la metodología de Cadena Critica se observa que la fecha de terminación está estimada en 156 días para el escenario pesimista. Se evidencia una reducción de 19 días, esto corresponde 11% del tiempo total. (Ver tabla 12)

Tabla 13. Comparación de los resultados con rendimiento actual en escenario optimista

Actividad	Consortio (Días)	CCPM (Días)	Diferencia (Días)	%
Montaje Stacker Caliza	175	101	74	42
Montaje Stacker Carbón	128	102.5	25.5	20
Proyecto de Montaje de Stacker (Optimista)	175	125.7	49.3	28

Fuente autores del proyecto

Al comparar este resultado con la metodología de Cadena Critica se observa que la fecha de terminación está estimada en 125.7 días para el escenario pesimista. Se evidencia una reducción de 49.3 días, esto corresponde 28% del tiempo total. (Ver tabla 13)

Tabla 14. Comparación de los resultados con rendimiento actual en escenario promedio

Actividad	Consortio (Días)	CCPM (Días)	Diferencia (Días)	%
Montaje Stacker Caliza	175	120.1	54.9	31
Montaje Stacker Carbón	128	117.63	10.37	8
Proyecto de Montaje de Stacker (Promedio)	175	140.83	34.17	20

Fuente autores del proyecto

Al comparar este resultado de la planeación inicial del Consorcio CCHL Columbus con la metodología de Cadena Crítica se observa que la fecha de terminación está estimada en 140.83 días para el escenario pesimista. Se evidencia una reducción de 34.17 días, esto corresponde 20% del tiempo total. (Ver tabla 14)

Teniendo en cuenta que el resultado del proyecto, a parte de la calidad del trabajo realizado se mide con el costo, es decir, al finalizar cada proyecto se evalúa el costo contra la producción y se compara con el presupuesto realizado. El Consorcio CCHL Columbus aplicando la programación por Cadena Crítica podría ser más eficiente, reduciendo sus tiempos de ejecución, los cuales también se trasladarían a los costos e inversiones.

5.4 CALCULO DE LAS ECONOMIAS LOGRADAS AL APLICAR LA PROPUESTA

Se puede analizar como ahorros posibles, para el Consorcio, el tiempo de ejecución con la tasa actual de avance contra la planificación con la metodología de Cadena Crítica (Ver tabla 16), es decir, comparar los costos de la situación actual con respecto al uso de la metodología en los diferentes escenarios planteados (optimista, pesimista y promedio).

En este sentido, la optimización en tiempos, por el uso de la Cadena Crítica, pudo llevar al proyecto aún menor consumo de recursos que pueden ser expresados en términos monetarios. La disminución en tiempos, genera menores costos de mano de obra, equipos y administración.

Tabla 15. Tabla resumen de los escenarios analizados aplicando Cadena Critica

Actividad	Consortio (Días)	CCPM (Días)	Diferencia (Días)	% Comparación tasa actual	% Comparación planeación inicial
Proyecto de Montaje de Stacker (Pesimista)	175	156	19	11	4
Proyecto de Montaje de Stacker (Optimista)	175	125.7	49.3	28	22
Proyecto de Montaje de Stacker (Promedio)	175	140.83	34.17	20	13

Fuente autores del proyecto

Para la estimación de los costos el Consorcio CCHL Columbus suministro el listado de tarifas de personal y equipos y con base a estos datos se procedió a la obtención de las siguientes tablas (Ver tabla 17, 18,19), donde se relacionan los costos que se pueden ahorrar con la disminución del tiempo en función de los días, aplicando Gestión de proyectos con Cadena Critica y teniendo en cuenta los diferentes escenarios planteados.

Tabla 16. Ahorros con Cadena Crítica (escenario pesimista)

RECURSO	No.	DIAS	COSTO DIA	COSTO TOTAL
GRUA CAP. 80 TON	1	19	\$ 3.604.368	\$ 68.482.984
SUPERVISOR	1	19	\$ 406.240	\$ 7.718.560
CAPATAZ 1	1	19	\$ 213.589	\$ 4.058.186
OFICIAL 1ª	2	19	\$ 174.196	\$ 6.619.452
OFICIAL 1	2	19	\$ 128.875	\$ 4.897.264
SOLDADOR 1ª	2	19	\$ 210.240	\$ 7.989.120
SOLDADOR 1	1	19	\$ 129.987	\$ 2.469.753
AYUDANTE 1	8	19	\$ 95.834	\$ 14.566.838
OPERADOR EQUIPO PESADO	1	19	\$ 128.153	\$ 2.434.901
COORDINADOR DE BODEGA	1	19	\$ 254.054	\$ 4.827.026
CAJA CONEXIONADO 4 TOMA 440V - 4 TOMA 110V	1	19	\$ 3.374	\$ 64.111
DIFERENCIAL CAP. 1 TON.	2	19	\$ 3.335	\$ 126.737
DIFERENCIAL CAP. 5 TON.	2	19	\$ 9.295	\$ 353.223
EQUIPO DE OXICORTE	3	19	\$ 6.119	\$ 348.764
EQUIPO SOLDAR 250 AMPS	1	19	\$ 10.405	\$ 197.686
EQUIPO SOLDAR 600 AMPS	2	19	\$ 26.031	\$ 989.177

RECURSO	No.	DIAS	COSTO DIA	COSTO TOTAL
ESLINGA DE 4 RAMALES POR 7 MTS 1"	1	19	\$ 10.361	\$ 196.860
ESTROBO 6X25 FW PREF PRD A POLY 2" X 6 MTS	4	19	\$ 9.394	\$ 713.918
GRILLETE DE 2"	4	19	\$ 4.629	\$ 351.776
HORNO CALENTAR SOLDADURA CAP 5 KLS.	2	19	\$ 1.136	\$ 43.183
JUEGO DE LLAVES COPA DE IMPACTO EN PULGADAS 7/16" A 1 1/2"	3	19	\$ 4.324	\$ 246.457
JUEGO LLAVES MIXTA HASTA 1 1/4"	3	19	\$ 5.867	\$ 334.409
MOTOR TOOL	1	19	\$ 10.976	\$ 208.545
MULTIPLICADOR DE TORQUE 1 A 6 3200 L/P	1	19	\$ 30.712	\$ 583.532
NIVEL PRESICION	1	19	\$ 6.486	\$ 123.241
NIVEL MEDIA PRESICION	2	19	\$ 3.634	\$ 138.087
POLEA DE >= 6" SENCILLA	3	19	\$ 2.156	\$ 122.900
PULIDORA MOD. 4052	4	19	\$ 9.257	\$ 703.524
REGLA DE NIVELACION	3	19	\$ 4.709	\$ 268.424
TALADRO MANUAL 3/4"	2	19	\$ 17.588	\$ 668.353
SECCIONES ANDAMIO	20	19	\$ 1.689	\$ 641.641
TALADRO MAGNETICO 1 1/4"	1	19	\$ 38.530	\$ 732.072
TORCOMETRO CUADRANTE 1/2" CAP 250 LBS.	2	19	\$ 5.629	\$ 213.900
			TOTAL	\$ 132.434.605

Fuente: Autores del trabajo

Los costos del personal incluyen todos los parafiscales, además de la alimentación, transporte y demás beneficios que tienen las contrataciones realizadas por el Consorcio.

Cabe anotar que el ahorro evaluado en la tabla 16, en un escenario pesimista, es solo para costo directo, y que para un proyecto de aproximadamente 6 meses. Con una reducción de 19 días, los ahorros en costos para el proyecto son en promedio de 132 millones de pesos.

Empleando el método de Cadena Crítica para la planificación en el montaje de los dos Stacker, en un escenario optimista, con una reducción de 49.3, los ahorros en costos para el proyecto son en promedio de 343 millones de pesos (Ver tabla 17).

Tabla 17. Ahorros con Cadena Crítica (escenario optimista)

RECURSO	No.	DIAS	COSTO DIA	COSTO TOTAL
GRUA CAP. 80 TON	1	49,3	\$ 3.604.368	\$ 177.695.321
SUPERVISOR	1	49,3	\$ 406.240	\$ 20.027.632
CAPATAZ 1	1	49,3	\$ 213.589	\$ 10.529.925
OFICIAL 1A	2	49,3	\$ 174.196	\$ 17.175.737
OFICIAL 1	2	49,3	\$ 128.875	\$ 12.707.111
SOLDADOR 1A	2	49,3	\$ 210.240	\$ 20.729.665
SOLDADOR 1	1	49,3	\$ 129.987	\$ 6.408.358
AYUDANTE 1	8	49,3	\$ 95.834	\$ 37.797.112
OPERADOR EQUIPO PESADO	1	49,3	\$ 128.153	\$ 6.317.928
COORDINADOR DE BODEGA	1	49,3	\$ 254.054	\$ 12.524.862
CAJA CONEXIONADO 4 TOMA 440V - 4 TOMA 110V	1	49,3	\$ 3.374	\$ 166.352
DIFERENCIAL CAP. 1 TON.	2	49,3	\$ 3.335	\$ 328.850
DIFERENCIAL CAP. 5 TON.	2	49,3	\$ 9.295	\$ 916.520
EQUIPO DE OXICORTE	3	49,3	\$ 6.119	\$ 904.950
EQUIPO SOLDAR 250 AMPS	1	49,3	\$ 10.405	\$ 512.944
EQUIPO SOLDAR 600 AMPS	2	49,3	\$ 26.031	\$ 2.566.655
ESLINGA DE 4 RAMALES POR 7 MTS 1"	1	49,3	\$ 10.361	\$ 510.800
ESTROBO 6X25 FW PREF PRD A POLY 2" X 6 MTS	4	49,3	\$ 9.394	\$ 1.852.430
GRILLETE DE 2"	4	49,3	\$ 4.629	\$ 912.766
HORNO CALENTAR SOLDADURA CAP 5 KLS.	2	49,3	\$ 1.136	\$ 112.048
JUEGO DE LLAVES COPA DE IMPACTO EN PULGADAS 7/16" A 1 1/2"	3	49,3	\$ 4.324	\$ 639.491
JUEGO LLAVES MIXTA HASTA 1 1/4"	3	49,3	\$ 5.867	\$ 867.703
MOTOR TOOL	1	49,3	\$ 10.976	\$ 541.118
MULTIPLICADOR DE TORQUE 1 A 6 3200 L/P	1	49,3	\$ 30.712	\$ 1.514.112
NIVEL PRESICION	1	49,3	\$ 6.486	\$ 319.777
NIVEL MEDIA PRESICION	2	49,3	\$ 3.634	\$ 358.299
POLEA DE >= 6" SENCILLA	3	49,3	\$ 2.156	\$ 318.893
PULIDORA MOD. 4052	4	49,3	\$ 9.257	\$ 1.825.460
REGLA DE NIVELACION	3	49,3	\$ 4.709	\$ 696.490
TALADRO MANUAL 3/4"	2	49,3	\$ 17.588	\$ 1.734.200

SECCIONES ANDAMIO	20	49,3	\$ 1.689	\$ 1.664.890
TALADRO MAGNETICO 1 1/4"	1	49,3	\$ 38.530	\$ 1.899.533
TORCOMETRO CUADRANTE 1/2" CAP 250 LBS.	2	49,3	\$ 5.629	\$ 555.015
TOTAL			\$	343.632.948

Fuente: Autores del trabajo

Empleando el método de Cadena Crítica para la planificación en el montaje de los dos Stacker, en un escenario promedio, con una reducción de 34.17 días, los ahorros en costos para el proyecto son en promedio de 238 millones de pesos (Ver tabla 18).

Tabla 18. Ahorros con Cadena Crítica (escenario promedio)

RECURSO	No.	DIAS	COSTO DIA	COSTO TOTAL
GRUA CAP. 80 TON	1	34,17	\$ 3.604.368	\$ 123.161.240
SUPERVISOR	1	34,17	\$ 406.240	\$ 13.881.221
CAPATAZ 1	1	34,17	\$ 213.589	\$ 7.298.327
OFICIAL 1A	2	34,17	\$ 174.196	\$ 11.904.562
OFICIAL 1	2	34,17	\$ 128.875	\$ 8.807.342
SOLDADOR 1A	2	34,17	\$ 210.240	\$ 14.367.802
SOLDADOR 1	1	34,17	\$ 129.987	\$ 4.441.655
AYUDANTE 1	8	34,17	\$ 95.834	\$ 26.197.309
OPERADOR EQUIPO PESADO	1	34,17	\$ 128.153	\$ 4.378.978
COORDINADOR DE BODEGA	1	34,17	\$ 254.054	\$ 8.681.025
CAJA CONEXIONADO 4 TOMA 440V - 4 TOMA 110V	1	34,17	\$ 3.374	\$ 115.299
DIFERENCIAL CAP. 1 TON.	2	34,17	\$ 3.335	\$ 227.927
DIFERENCIAL CAP. 5 TON.	2	34,17	\$ 9.295	\$ 635.243
EQUIPO DE OXICORTE	3	34,17	\$ 6.119	\$ 627.224
EQUIPO SOLDAR 250 AMPS	1	34,17	\$ 10.405	\$ 355.523
EQUIPO SOLDAR 600 AMPS	2	34,17	\$ 26.031	\$ 1.778.957
ESLINGA DE 4 RAMALES POR 7 MTS 1"	1	34,17	\$ 10.361	\$ 354.037
ESTROBO 6X25 FW PREF PRD A POLY 2" X 6 MTS	4	34,17	\$ 9.394	\$ 1.283.926
GRILLETE DE 2"	4	34,17	\$ 4.629	\$ 632.641
HORNO CALENTAR SOLDADURA CAP 5 KLS.	2	34,17	\$ 1.136	\$ 77.661
JUEGO DE LLAVES COPA DE IMPACTO EN PULGADAS 7/16" A 1 1/2"	3	34,17	\$ 4.324	\$ 443.234
JUEGO LLAVES MIXTA HASTA 1 1/4"	3	34,17	\$ 5.867	\$ 601.408
MOTOR TOOL	1	34,17	\$ 10.976	\$ 375.051
MULTIPLICADOR DE TORQUE 1 A 6 3200 L/P	1	34,17	\$ 30.712	\$ 1.049.436

NIVEL PRECISION	1	34,17	\$	6.486	\$	221.639
NIVEL MEDIA PRECISION	2	34,17	\$	3.634	\$	248.338
POLEA DE >= 6" SENCILLA	3	34,17	\$	2.156	\$	221.026
PULIDORA MOD. 4052	4	34,17	\$	9.257	\$	1.265.233
REGLA DE NIVELACION	3	34,17	\$	4.709	\$	482.740
TALADRO MANUAL 3/4"	2	34,17	\$	17.588	\$	1.201.980
SECCIONES ANDAMIO	20	34,17	\$	1.689	\$	1.153.941
TALADRO MAGNETICO 1 1/4"	1	34,17	\$	38.530	\$	1.316.573
TORCOMETRO CUADRANTE 1/2" CAP 250 LBS.	2	34,17	\$	5.629	\$	384.683
TOTAL					\$	238.173.181

Fuente: Autores del trabajo

Además de estos ahorros en algunos tipos de contratos existen bonificaciones por terminar en menor tiempo del presupuestado, generalmente estas bonificaciones son por día, al igual que las multas por terminar después del tiempo, para el proyecto total las multas están por arriba de los 140 millones de pesos diarios, y las bonificaciones alrededor de los 180 millones.

Luego de realizado el ejercicio comparativo entre la planeación del Consorcio con la tasa actual de rendimiento y la aplicación de gestión de proyectos con Cadena Critica se evidencia el ahorro en días y economía en el presupuesto, analizando tres escenarios como son pesimista, optimista y promedio; en cada uno de estos se observan disminuciones entre 11 y 28 % en comparación con la tasa actual del proyecto y en dinero entre 132.434.605 y 343.632.948 millones.

6. CONCLUSIONES

- Los procesos de planeación y ejecución del montaje de los equipos mecánicos (Stacker) en las naves de almacenamiento de caliza y carbón mineral del Consorcio CCHL Columbus línea 4 de Zona Franca Argos se desarrollan a través de la metodología de Ruta Crítica, considerando solo la dependencia entre tareas con base a las duraciones de éstas, sin tener en cuenta los recursos; de esta manera se pueden planearse de forma más eficiente, aumentando la fiabilidad en la entrega por medio del análisis de la Teoría de Restricciones. Para ello se debe establecer un ambiente de proyecto global a través del aprovechamiento de los recursos, la creación de un entorno altamente efectivo por medio del comportamiento humano, la focalización de los recursos sobre el objetivo del proyecto y sus elementos.
- Empleando el método de Cadena Crítica para la planificación inicial en el montaje de los dos Stacker, en un escenario optimista, donde no se consuman los Buffer, el tiempo total se reduce de 162 a 125.7 días, es decir, existe un ahorro del 22% en el tiempo de ejecución si se realiza el análisis de las restricciones. Sin embargo, en un escenario pesimista en el cual se presentan condiciones adversas, la diferencia en tiempo es de 4%, debido a que la reducción del tiempo

total es de 162 a 156 días y en un escenario promedio, donde se consume la mitad del Buffer la diferencia en tiempo del 13%, debido a que la reducción del tiempo es de 162 a 121,17 días.

- La estimación del montaje, por tasa de rendimientos, de los equipos mecánicos en las naves de almacenamiento de caliza y carbón es de 175 días, es decir 13 días adicionales a lo inicialmente planeado según el Consorcio CCHL Columbus. Sin embargo, al compararlo con la metodología de Cadena Crítica en un escenario pesimista donde el proyecto se desarrolle en 156 días, se observa se presenta una variación de 19 días y un ahorro en dinero de \$ 132.434.605, concluyendo a que aun así es posible mejorar los tiempos de entrega calculados en un 11%.
- Se ha podido demostrar que la gestión de proyectos con CCPM permite alcanzar un desarrollo del proyecto teniendo en cuenta los escenarios planteados como son pesimista, optimista y promedio; al ser esta implementada podría asegurar el cumplimiento de la fecha de entrega del proyecto, generando una ventaja competitiva en el sector de la construcción y montaje electromecánico.