

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PARA ENERGIZACIÓN DE GRÚAS DE PATIO RTG UTILIZANDO UN BRAZO AUTOMÁTICO



IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PARA ENERGIZACIÓN DE GRÚAS DE PATIO
RTG UTILIZANDO UN BRAZO AUTOMÁTICO.

YERLIN ANDRES TOBON RIOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS
INDUSTRIALES
CARTAGENA DE INDIAS
2013

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PARA ENERGIZACIÓN DE GRÚAS DE PATIO
RTG UTILIZANDO UN BRAZO AUTOMÁTICO.

YERLIN ANDRES TOBON RIOS

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

DIRECTORES
DR. JORGE ELIECER DUQUE PARDO
DR. JOSE LUIS VILLA RAMIREZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS
INDUSTRIALES
CARTAGENA DE INDIAS
2013

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. RESUMEN -----	9
1.1 RESUMEN EJECUTIVO -----	9
1.2 SUMMARY -----	10
2. INTRODUCCIÓN -----	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	12
4. DELIMITACIÓN -----	13
4.1 ESPACIAL -----	13
4.2 DEMOGRÁFICA -----	13
4.3 TEMPORAL -----	13
4.4 TEMÁTICA -----	13
5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN -----	14
5.1 GENERAL -----	14
5.2 ESPECÍFICOS -----	14
6. JUSTIFICACIÓN -----	15
7. MARCO REFERENCIAL -----	16
7.1 MARCO TEÓRICO -----	16
7.2 MARCO LEGAL -----	22
8. DISEÑO METODOLÓGICO -----	23
9. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGIZACIÓN -----	25
9.1 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO. -----	25
9.1.1 Selección de Cableado en Media Tensión. -----	26
9.1.2 Selección de Subestación Eléctrica en Media Tensión. -----	26
9.1.3 Selección de cableado en baja tensión. -----	26
9.1.4 Selección de Protecciones. -----	26
9.2 DISEÑO SISTEMA METALMECÁNICO Y CIVIL DEL RIEL CONDUCTOR. -----	27
9.2.1 Diseño de Base de Concreto Según Especificaciones. -----	28
9.2.2 Diseño de la estructura en hierro de la base de concreto según especificaciones del terreno donde se realizará el montaje. -----	28
9.2.3 Características de los Postes Metálicos -----	29
9.2.4 Especificaciones del Perfil Guía -----	30
9.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DEL BRAZO -----	30
9.3.1 Estructura del Brazo Automático -----	30
9.3.1.1 Carro Colector -----	31
9.3.1.2 Unidad Horizontal -----	31

9.3.1.3 Unidad Vertical	32
9.3.1.4 Características Generales del Brazo Automático	33
9.3.2 Sistema de Automatización	33
9.3.3 Estructura de Comunicación	35
10. BENEFICIOS ESPERADOS	37
10.1 BENEFICIOS AMBIENTALES	37
10.2 BENEFICIOS ECONÓMICOS	37
10.2.1 Costos Estimados	37
10.2.2 Costos Totales RTG Diesel	39
10.2.3 Costos Totales RTG Eléctrico	40
10.2.4 Ahorro Obtenido con la Implementación del Sistema en un RTG	41
10.2.5 Flujo de Efectivo (Cash Flow)	42
11. CONCLUSIONES	43
12. RECOMENDACIONES	44
13. BIBLIOGRAFÍA	45
14. ANEXOS	46

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA OPERACIÓN DE UN PUERTO MARÍTIMO	16
FIGURA 2. GRÚA RTG.....	17
FIGURA 3. SISTEMA DE ENERGIZACIÓN POR CABLE REEL.....	18
FIGURA 4. SISTEMA DE ENERGIZACIÓN POR BRAZO AUTOMÁTICO	20
FIGURA 5. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ENERGIZACIÓN POR BRAZO AUTOMÁTICO	21
FIGURA 6. EDT POR PRODUCTOS.....	24
FIGURA 7. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	25
FIGURA 8. RIEL CONDUCTOR	27
FIGURA 9. MOMENTOS Y FUERZAS QUE SE PRESENTAN EN LA ESTRUCTURA	27
FIGURA 10. BASE DE CONCRETO.....	28
FIGURA 11. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA EN HIERRO DE LA BASE DE CONCRETO	28
FIGURA 12. CARACTERÍSTICAS DE LOS POSTES METÁLICOS	29
FIGURA 13. ESPECIFICACIONES DEL PERFIL GUÍA	30
FIGURA 14. BRAZO AUTOMÁTICO	30
FIGURA 15. CARRO COLECTOR.....	31
FIGURA 16. UNIDAD HORIZONTAL.....	31
FIGURA 17. UNIDAD VERTICAL	32
FIGURA 18. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BRAZO AUTOMÁTICO	33
FIGURA 19. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	34
FIGURA 20. ESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN	35
FIGURA 21. SOLUCIÓN GENERAL DE ENERGIZACIÓN DE RTG	36

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. COSTOS ESTIMADOS DE LA INVERSIÓN	38
TABLA 2. COSTOS TOTALES RTG DIESEL	39
TABLA 3. COSTOS TOTALES RTG ELÉCTRICO.....	40
TABLA 4. AHORRO OBTENIDO CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN UN RTG	41
TABLA 5. FLUJO DE EFECTIVO	42

ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. ANÁLISIS DE RIESGOS	46
ANEXO 2. CAPACITACIÓN OPERADORES.....	47

1. RESUMEN

1.1 Resumen Ejecutivo

El conjunto de equipos conformado por las grúas de patio RTG, es uno de los que mayor impacto económico y ambiental genera al Terminal de Contenedores de Cartagena, debido al alto consumo de combustible diesel, los altos costos de mantenimiento, las grandes emisiones de particulados a la atmósfera y la contaminación auditiva que producen.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente proyecto busca generar una alternativa de energización para las grúas RTG mediante la utilización de energía eléctrica, considerando que éste es un recurso más limpio y económico que el combustible diesel; la cual permita no sólo disminuir costos de operación y mantenimiento, sino también el alto impacto ambiental y auditivo que afecta a la comunidad.

Una vez revisadas las alternativas de energización ofrecidas en el mercado, cable reel y brazo automático, se procede a realizar el diseño y montaje del sistema eléctrico, de la obra metalmecánica y civil, la automatización e instalación de la solución seleccionada y los ajustes requeridos para una perfecta adaptación con el sistema actual del terminal.

Para terminar y con el fin de ofrecer un completo panorama técnico, ambiental y financiero del proyecto, se realiza un análisis comparativo de los beneficios que éste ofrece a nivel ambiental y económico.

1.2 Summary

The set of equipment composed of the RTG cranes, is one of the greatest economic and environmental impact generated by Cartagena Container Terminal due to high diesel fuel consumption, high maintenance costs, large emissions to particulate air and noise pollution that they produce.

Considering the above, this project seeks to create an alternative for RTG cranes using electricity, considering that this is a more clean and economical than diesel fuel, which allows not only to reduce operating costs and maintenance, but also the high environmental impact and affecting hearing community.

Having reviewed the alternatives offered in the market about E-RTG or Electrical RTG, cable reel and automatic arm, we proceed to perform the design and electrical installation, metallurgical and civil work, automation and installation of the selected solution and the settings required for a perfect fit with the actual system terminal.

Finally and in order to offer a complete technical, environmental and financial picture of the project, a comparative analysis of the benefits environmental and economic level is performed

2. INTRODUCCIÓN

Es de gran importancia para la Terminal de Contenedores de Cartagena estar siempre a la vanguardia de las innovaciones tecnológicas que se realizan a nivel mundial con el fin de optimizar la operación portuaria y para sus colaboradores poder llevar al ámbito laboral los diversos conocimientos adquiridos mediante su preparación académica.

Las grúas de patio RTG son los equipos que mayor impacto a nivel económico, operativo y ambiental representan para la Terminal de Contenedores de Cartagena, la cual actualmente cuenta con 24 de éstos equipos en su terminal de Contecar y 31 en la terminal de Manga. La energización de estos equipos se realiza a través de combustible diesel, principal generador de los altos costos de operación y mantenimiento y el alto impacto ambiental percibido por la comunidad en general.

El objetivo principal de este proyecto es entonces, implementar un sistema para la energización de grúas de patio RTG utilizando un brazo automático, alimentado a través de energía eléctrica, por ser éste un recurso más económico y limpio. Para esto se elabora una EDT por productos, que permite realizar el diseño y montaje del sistema mediante un ordenado y detallado seguimiento y control a todas las fases de éste. Las fases del proyecto expuestas en el presente documento son:

- 1. Diseño del Sistema Eléctrico**
- 2. Diseño de la Obra Metalmecánica**
- 3. Diseño de la Obra Civil**
- 4. Características del Sistema de Automatización – Brazo Automático**
- 5. Acoplamiento y Comunicación con el Sistema Actual**
- 6. Análisis de Beneficios Ambientales y Económicos Esperados**

Se busca entonces con el presente proyecto proporcionar un análisis completo que permita una exitosa innovación tecnológica al Terminal de Contenedores de Cartagena.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo principal de toda organización es alcanzar un óptimo rendimiento del capital invertido; a través de un crecimiento continuo de la misma, un adecuado manejo de la estructura de costos, la minimización de sus gastos y la eficaz utilización de sus recursos. Las empresas requieren conocer el estado de su negocio y la manera de hacer más eficiente su desempeño económico, estos objetivos no se logran sin un adecuado conocimiento de la forma como se está desempeñando la empresa y en este caso puntual como están funcionando los equipos.

Es papel de la Superintendencia de Equipos Portuarios buscar que las condiciones anteriormente mencionadas se lleven a cabo, a través de la generación de estrategias y planes de acción, que ejecutados desde las diferentes áreas, contribuyan a la utilización eficiente de los recursos. Un aspecto importante a tener en cuenta, es la búsqueda de un óptimo funcionamiento de los equipos, que permita a la empresa disminuir los costos operacionales y de mantenimiento, implementando tecnologías existentes pero innovando en la forma de utilización teniendo en cuenta la operación portuaria de cada terminal.

Un sistema de electrificación para Grúas de Patio, le permite a la empresa, definir su plan de acción en cuanto al manejo de hidrocarburos, de tal manera que sirve como soporte a la gerencia para la toma de decisiones que implican movimiento de capital en sistemas de potencia en media tensión, cambiando así la estructura de gastos de la organización.

Si tomamos en cuenta los avances tecnológicos y desarrollo de cada uno de los sistemas eléctricos utilizados en Europa y Asia para la energización de grúas de patio RTG, con el fin de disminuir el impacto económico generado por los altos costos del combustible, y como complemento a los constantes esfuerzos que hace el Terminal de Contenedores de Cartagena para lograr ser un puerto con un desarrollo ambiental ejemplar, disminuyendo la generación de monóxido de carbono y la contaminación auditiva, hacen de la implementación de un sistema para energización de grúas de patio utilizando un brazo automático, un importante desarrollo para el avance de los terminales portuarios de Latinoamérica y en especial para la optimización de recursos del Puerto de Cartagena.

4. DELIMITACIÓN

El estudio requiere una delimitación para alcanzar resultados concretos y así lograr los objetivos propuestos, desde los siguientes aspectos:

4.1 Espacial

Forma parte del estudio la empresa Terminal de Contenedores de Cartagena ubicada en la Ciudad de Cartagena de Indias en el Km. 1 Vía Mamonal

4.2 Demográfica

Se tomará la información de fuentes tanto primarias como secundarias, conformadas por los datos suministrados por la superintendencia de equipos portuarios y las empresas contratistas y textos relacionados con las características del sistema a implementar.

4.3 Temporal

El proyecto se llevará a cabo entre los meses de enero y octubre del año 2013

4.4 Temática

Los temas a abordar están enmarcados en los sistemas eléctricos que se utilizan actualmente en el mundo para la energización de grúas RTG, encaminados a generar una solución óptima que permita llevar a cabo la operación del puerto minimizando el impacto económico y ambiental.

5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 General

Implementar un sistema para energización de grúas de patio RTG utilizando un brazo automático.

5.2 Específicos

- Implementar y construir el sistema eléctrico para alimentación del riel conductor, incluyendo diseño eléctrico de subestación y cableado para conexión.
- Implementar las estrategias de control necesarias para la integración con el sistema existente y desarrollar los cambios necesarios en el software de supervisión y control existente en los equipos, teniendo en cuenta la instrumentación implementada en cada sistema garantizando siempre la confiabilidad y seguridad en el control del equipo.
- Implementar los cambios en el sistema de comunicación necesarios para el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas.
- Preparar las capacitaciones de personal basadas en el manual de mantenimiento y operación del sistema instalado.
- Comparar los resultados económicos de la implementación del sistema eléctrico con el actual sistema de generación a través de motor diesel, determinando los beneficios y aspectos negativos a nivel de operatividad la utilización del sistema.
- Socializar los resultados obtenidos con la Superintendencia de Equipos Portuarios.

6. JUSTIFICACIÓN

El principal objetivo de toda organización es poder llevar a cabo su actividad integrando factores tan importantes como el continuo crecimiento de sus operaciones, la minimización de costos y gastos, la óptima utilización de los recursos, la protección de sus colaboradores, el medio ambiente y el entorno en general; buscando en todo momento el máximo rendimiento del capital invertido. Éste objetivo no es ajeno al Terminal de Contenedores de Cartagena y es responsabilidad de la Superintendencia de Equipos Portuarios generar las estrategias y planes de acción, que contribuyan al cumplimiento del mismo.

Es por esto que a través de este proyecto se busca presentar a la Superintendencia de Equipos Portuarios una alternativa de energización para las grúas de patio RTG, considerando que la energización a través de combustible diesel como se viene realizando actualmente presenta una serie de inconvenientes y aspectos negativos, que afectan directamente el aspecto financiero y el responsable desarrollo ambiental del terminal, los más significativos a saber son:

1. **Alto consumo de combustible diesel.** Más del 50% del combustible adquirido por el terminal, es utilizado para la energización de estos equipos, lo que incrementa el costo de operación debido al alto costo de éste.
2. **Altos costos de mantenimiento preventivo y correctivo.** El costo del mantenimiento realizado al grupo motor – generador equivale aproximadamente al 70% del mantenimiento total realizado a una grúa RTG.
3. **Disponibilidad y confiabilidad del equipo.** Aproximadamente el 60% de las fallas presentadas en una grúa RTG durante su operación normal se generan en el motor impactando directamente los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.
4. **Alta contaminación ambiental y auditiva.** Altas emisiones de CO₂ a la atmósfera, aproximadamente entre 350 y 400 toneladas en un año de trabajo, así como material particulado. Alta generación de ruido al momento de la combustión afectando tanto al personal de la organización como a la comunidad en general, quienes ya presentan quejas relacionadas con este tema.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1 Marco Teórico

En un terminal marítimo para manipulación de carga en contenedores se requiere de una serie de equipos para llevar a cabo la operación (Ver Figura 1), consistente en el cargue y descargue de contenedores desde la motonave al camión y de éste a su punto de almacenamiento final en patio y viceversa; así como el cargue y descargue de los contenedores que salen o ingresan al terminal.



Figura 1. Equipos Requeridos para la Operación de un Puerto Marítimo

La grúa STS (Ship to Shore), es una grúa pórtico montada sobre carriles, diseñada para realizar las maniobras de cargue y descargue de contenedores de motonave a camión y viceversa.

Una grúa de patio RTG (Ruber Tired Gantry – Figura 2), es una grúa pórtico móvil sobre neumáticos de caucho que se desplaza a través de pistas, éste es un equipo imprescindible para la operación portuaria, dado que es seguro, eficiente, robusto y preciso; su sencillo manejo y la disminución de tiempos de apilamiento hacen que para el Terminal de Contenedores de Cartagena sea un equipo de gran importancia en la operación, al punto de contar con 55 RTG en la actualidad.



Figura 2. Grúa RTG

Las grúas de patio RTG obtienen su energía mediante un motor diesel acoplado a un generador, el voltaje de generación es 440 V y mediante variadores de velocidad y un sistema de control automático realiza los tres movimientos básicos, Hoist, Trolley y Gantry. Todos los movimientos se controlan desde la cabina del operador la cual está sujeta al trolley y se mueve siempre con la carga proporcionando al operador una buena visión de las operaciones en todo momento.

En términos de operación y mantenimiento se tiene que el consumo de combustible de los motores es en promedio 4,9 gal/hora, lo cual representa que estos equipos consumen más del 50% del combustible total utilizado en el terminal. En cuanto a gastos en mantenimiento preventivo y correctivo del grupo motor-generador estos equivalen en promedio al 70% del mantenimiento total realizado al equipo y aproximadamente el 60% de las fallas que se presentan en el equipo, durante su operación normal se generan en el motor, afectando los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.

Una gran desventaja de las grúas RTG es su alto impacto ambiental, la emisión de CO₂ a la atmósfera y la contaminación auditiva generada por el sistema de generación produce inconvenientes con la comunidad, afectando además la operación en horarios nocturnos.

Con el fin de minimizar el alto impacto económico, operativo y ambiental que acarrea el sistema actual de energización de las grúas RTG se han desarrollado a nivel mundial dos sistemas de conexión eléctrica a saber:

Sistema de Energización por Cable Reel



Figura 3. Sistema de Energización por Cable Reel

El sistema de Cable Reel para RTG funciona como un elemento que se conecta y se desconecta a la red eléctrica para obtener el suministro de energía, en lugar de un motor diesel y un generador que es el sistema usual de los equipos. El cable de alimentación puede variar dependiendo la longitud de cable que se quiera y depende básicamente de las condiciones de trabajo de cada terminal, se debe de tener en cuenta aspectos como el peso del cable y la máxima tensión que puede soportar el cable.

El cable normalmente se almacena en un carrete ubicado en el RTG, y para ello se utilizan diferentes tecnologías a la hora de realizar el enrollamiento y

desenrollamiento del cable, aunque esto puede variar dependiendo los fabricantes de los RTG y los fabricantes que suministran los enrolladores.

El Cable Reel utilizado en las grúas RTG suelen utilizar diferentes niveles de tensión, desde media tensión (13200V) como se realiza en la Ship To Shore (STS), hasta voltajes de 440V en baja tensión, es necesario aclarar que el nivel de tensión implica cambios en las áreas de los conductores y a su vez en la distancia máxima de cableado que se puede tener en el equipo.

En el desarrollo de la tecnología en el mundo se han visto las siguientes características:

- Alto grado de flexibilidad con una interfaz lógica fácil de usar.
- Inversión en infraestructura mínima requerida
- En el caso de un fallo técnico, el tiempo de inactividad es reducido al mínimo y se refiere solo al equipo en falla.
- Bajo coste de mantenimiento
- Conexión y desconexión manual.
- El sistema se puede adaptar a la fuente de alimentación ya sea en alto voltaje o en bajo voltaje.
- Seguridad para todos los tipos de conexión eléctrica.

Sistema de Energización a través de Brazo Automático



Figura 4. Sistema de Energización por Brazo Automático

El sistema eléctrico para un RTG también se puede desarrollar a través de una barra conductora, esta solución le permite al RTG ser accionado a través de un colector y utilizar el grupo motor generador solo en caso de requerir el cambio de módulo. En las técnicas a través de barraje conductor se encuentran actualmente dos tipos de conexiones, la conexión manual en la cual un operario debe conectar el equipo mediante un plug al barraje principal y la segunda mediante un brazo telescópico que se conecta y se desconecta automáticamente al riel conductor.

El sistema consiste en unas barras conductoras las cuales están montadas sobre un perfil de acero que se soporta en bases metálicas, las cuales cuentan con una base de concreto que dependiendo de las características del terminal pueden ir sobre puestas en el piso o ancladas al suelo. La energía eléctrica es transferida al RTG a través de un carro colector el cual cuenta con el dimensionamiento para transferir la potencia requerida desde las barras hasta el equipo.

El sistema de barras tiene la versatilidad para trabajar con diferentes niveles de tensión, siempre y cuando se garantice que se realice en baja tensión, es decir, con tensiones inferiores a 1 kV, la corriente máxima de las barras es de 1000 A,

dando la posibilidad de operar con más de un equipo sobre el mismo riel optimizando las operaciones portuarias y demostrando la versatilidad del sistema.

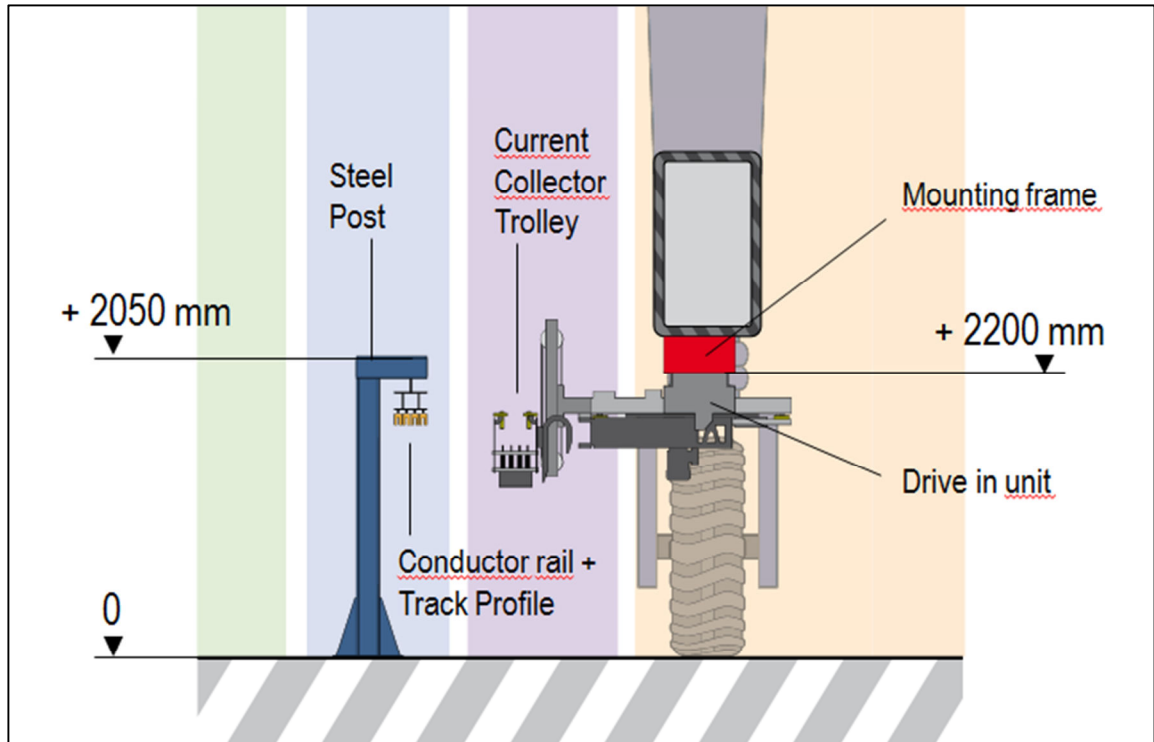


Figura 5. Elementos del Sistema de Energización por Brazo Automático

La estructura de acero que sostiene las barras conductoras se pueden instalar en varias alturas predeterminadas lo que garantiza un sistema seguro para las personas que trabajan al interior del terminal y de los operadores de equipos que transitan en la zona.

En el desarrollo de la tecnología en el mundo se han destacado las siguientes características:

- Fácil integración con los sistemas actuales
- Permite la instalación de scanners para el auto steering del RTG.
- Bajo costo de mantenimiento
- Conexión y desconexión automática o manual.
- El sistema se puede adaptar a la fuente de alimentación en bajo voltaje.
- La conexión eléctrica puede realizarse en cualquier lugar del barraje.
- Sistema seguro teniendo en cuenta su ubicación.

7.2 Marco Legal

Para el diseño y montaje del sistema de energización para RTG a. través de un brazo automático se deben tener en cuenta las siguientes normas:

➤ RETIE. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

Este reglamento fija condiciones técnicas que garanticen la seguridad en los procesos de generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica en todo el territorio nacional. Esta norma es de obligatorio cumplimiento y es regulada por la norma NTC 2050 “Código Eléctrico Colombiano”.

El objetivo fundamental del reglamento es establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y por consiguiente, la preservación del medio ambiente, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctricos, a partir del cumplimiento de los requisitos civiles mecánicos y de fabricación de equipos.

Este reglamento aplica para todas las instalaciones de corriente alterna y continua, públicas o privadas, como también aplica para todos los profesionales que ejercen la electrotecnia y para los productores o importadores de materiales eléctricos ya sean de origen nacional o extranjero.

Para garantizar el cumplimiento de este reglamento, la norma establece la adopción de la certificación de conformidad de los productos de inspección y certificación de conformidad de las instalaciones.

➤ NTC 2050. Código Eléctrico Colombiano

Código que materializa las necesidades nacionales en aspectos de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones, basadas en parámetros aplicados y validados mundialmente, los cuales garantizan al usuario una utilización segura y confiable de las instalaciones eléctricas. Por otro lado, propende por la racionalización de la energía, obedeciendo a la necesidad imperiosa de preservar sus fuentes, como uno de los objetivos medioambientales que se deben lograr para evitar su agotamiento.

➤ IEC 60204 - 32.

Seguridad de las máquinas - Equipo eléctrico de las máquinas - Parte 32: Requisitos para las máquinas de elevación

8. DISEÑO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo de una manera secuencial y ordenada el diseño y montaje del sistema de energización para la grúa RTG en el Terminal de Contenedores de Cartagena, se tuvo en cuenta la EDT por productos mostrada en la figura 6, la cual permitió realizar un detallado seguimiento y control a todas las fases del proyecto.

Adicionalmente se realizó un análisis de riesgos que permitió visualizar en cada etapa del proyecto cuáles eran los puntos críticos que podrían poner en riesgo el desarrollo del diseño y montaje del sistema de acuerdo a lo planeado, el cual se puede visualizar en el anexo 1.

Por último y no menos importante, con el fin de socializar y capacitar a los operarios de las grúas, se realizó una capacitación expuesta en el anexo 2.

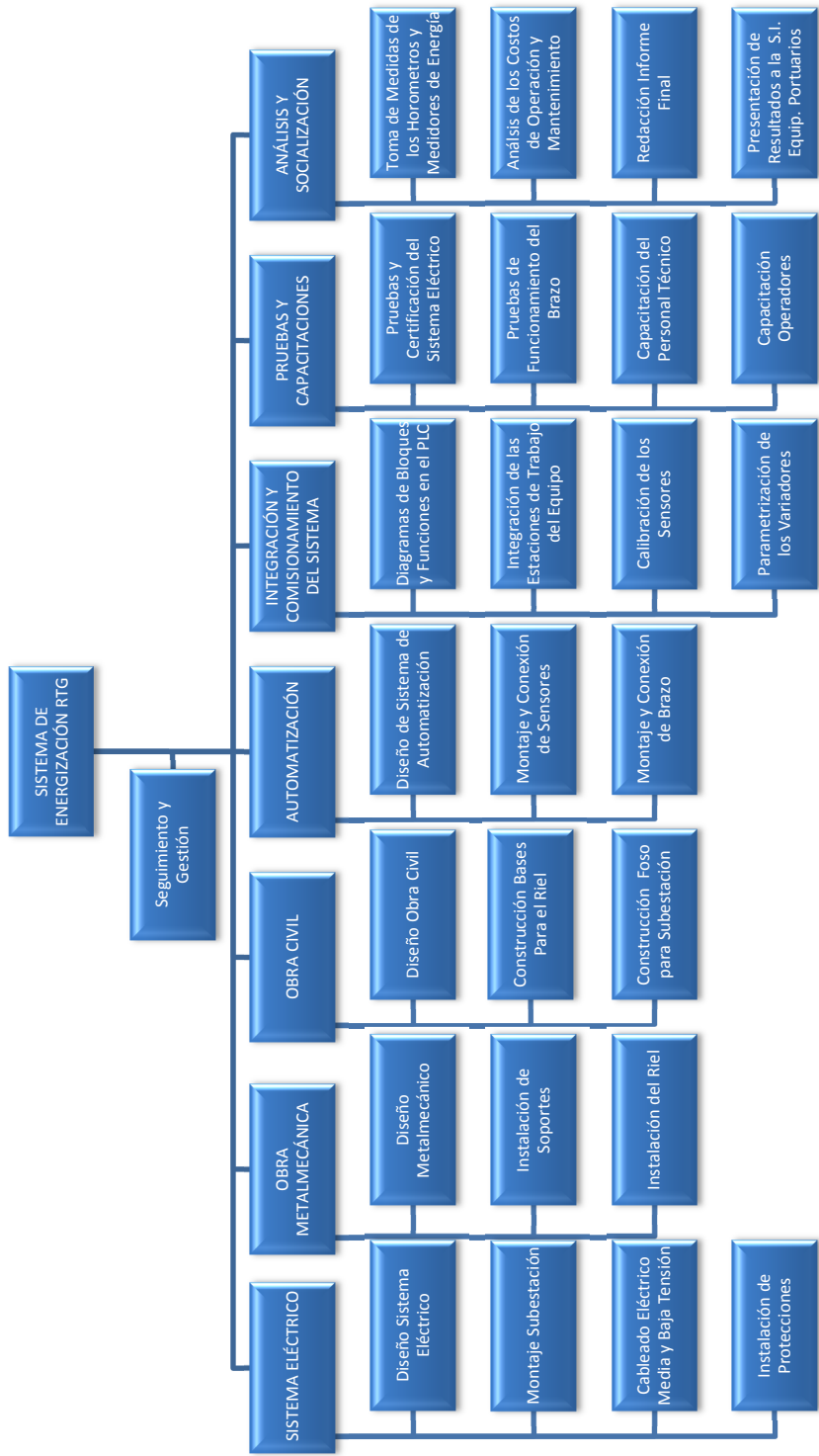


Figura 6. EDT por Productos

9. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGIZACIÓN

9.1 Diseño del Sistema Eléctrico.

El consumo eléctrico de un RTG está determinado por el transformador ubicado en el equipo, cuya capacidad es 335 KVA, con un voltaje de 13200/900 V, con base en este consumo máximo se realizaron todos los cálculos necesarios.

En la operación de equipos portuarios la estructura de un módulo da la oportunidad de integrar en un mismo instante hasta tres RTG, lo que hace que la capacidad máxima por módulo este determinada por 1005 KVA; como base para el cálculo de la subestación a utilizar y del sistema de cableado eléctrico necesario para energización del barraje se trabaja con un factor de diversidad de 0,8.

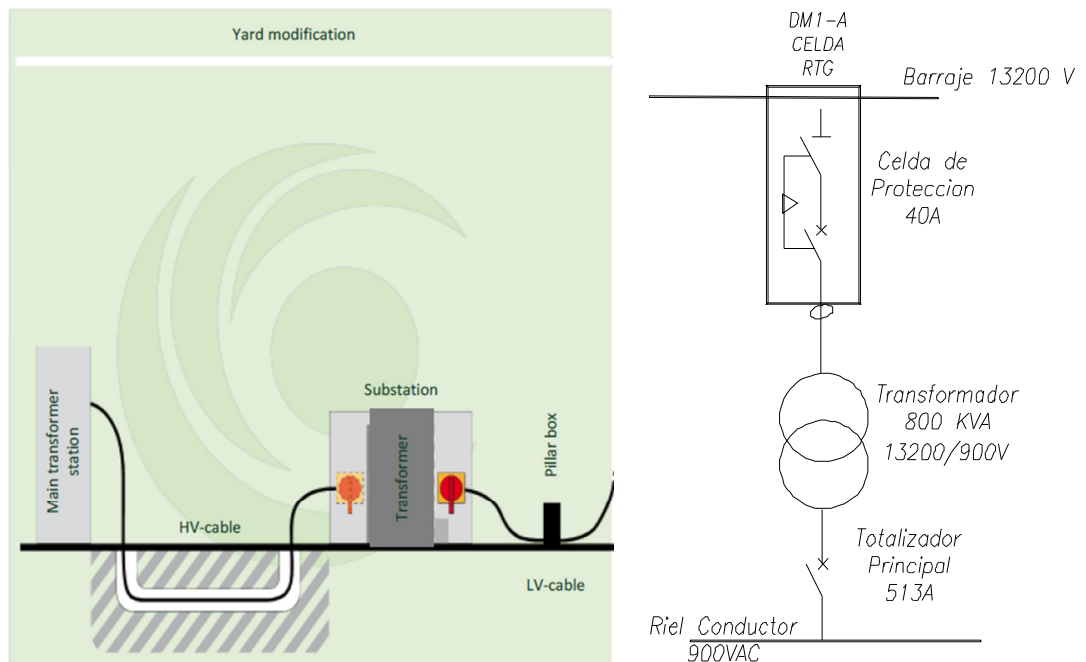


Figura 7. Subestación Eléctrica

9.1.1 Selección de Cableado en Media Tensión.

- Capacidad Instalada: 800 KVA
- Corriente Nominal en media tensión 13,2 KV: 34,99A
- Calibre Conductor seleccionado según NTC 2050: Conductor Calibre No 2 AWG (Cap. máx. 125A)
- Tipo de Cable seleccionado: Cable Monopolar Calibre No2 / 15 KV, 90 C, al 133%

9.1.2 Selección de Subestación Eléctrica en Media Tensión.

Tomando como base la ubicación del sistema al interior del puerto y teniendo en cuenta el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE en el artículo 29, la subestación a instalar es una subestación tipo pedestal, la cual debe construirse realizando las consideraciones que la ley exige para el montaje y construcción de subestaciones de este tipo.

- Carga Instalada en cada RTG: 335 KVA
- Cantidad Máxima de RTG por Modulo: 3 RTG
- Factor de diversidad según operación de equipos: 0,8
- Capacidad seleccionada de Transformador: 800 KVA
- Tipo de transformador: 800 KVA 13200/900V Dyn5

9.1.3 Selección de cableado en baja tensión.

- Capacidad Instalada: 800 kVA
- Corriente Nominal en baja tensión 900 V: 513,21 A
- Calibre Conductor seleccionado según NTC 2050: Conductor Calibre No 2x350 MCM por fase.
- Tipo de Cable seleccionado: Cable THHN Calibre No 350 MCM / 1 kV, 90 C.

El tendido de la acometida se debe realizar sobre bandeja portacable desde el transformador al tablero de protecciones.

9.1.4 Selección de Protecciones.

Protección en Media Tensión: Celda de protección con seccionador de operación bajo carga con relé de protección ajustado en 40 A.

Protección en Baja Tensión: Tablero con totalizador de 1,2 kV, 16 kA, In 800 A, parametrizado según corriente máxima de trabajo de 513A.

9.2 Diseño Sistema Metalmecánico y Civil del Riel Conductor.

El riel conductor está dispuesto en paralelo con la pista del RTG, este consiste básicamente de tres partes importantes: las bases en concreto, los postes metálicos y el perfil metálico donde está instalado el sistema eléctrico.

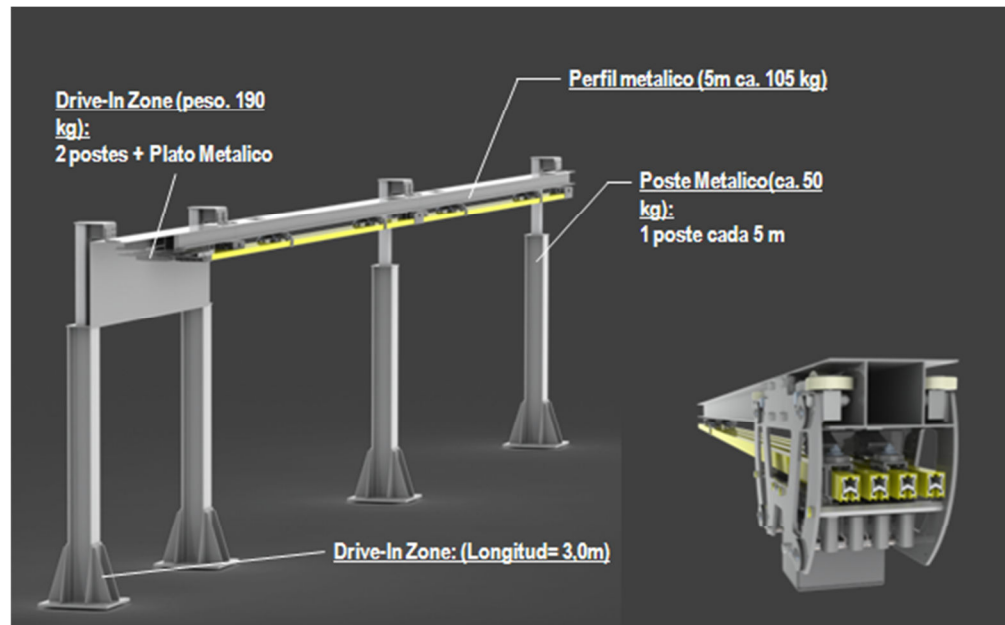


Figura 8. Riel Conductor

Teniendo en cuenta los esfuerzos a los cuales están sometidos los diferentes elementos al realizar el movimiento de la conexión eléctrica del brazo, se realiza el cálculo de las bases y los soportes según el siguiente análisis.

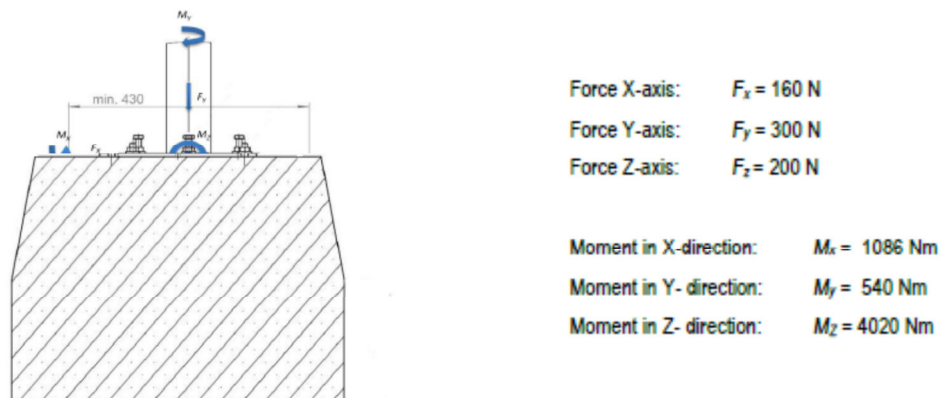


Figura 9. Momentos y Fuerzas que se Presentan en la Estructura

9.2.1 Diseño de Base de Concreto Según Especificaciones.

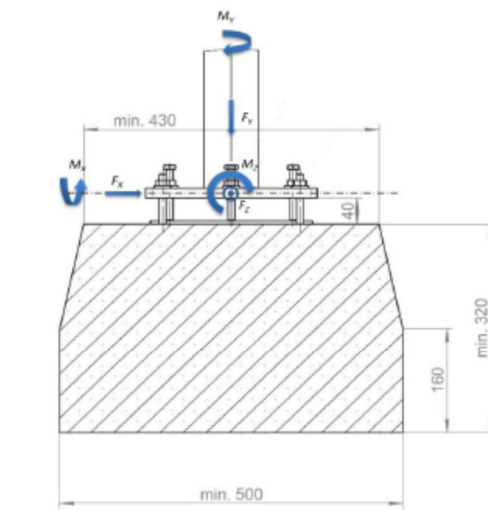


Figura 10. Base de Concreto

La calidad del concreto debe ser C20/C25 acorde con la norma DIN 1045

9.2.2 Diseño de la estructura en hierro de la base de concreto según especificaciones del terreno donde se realizará el montaje.

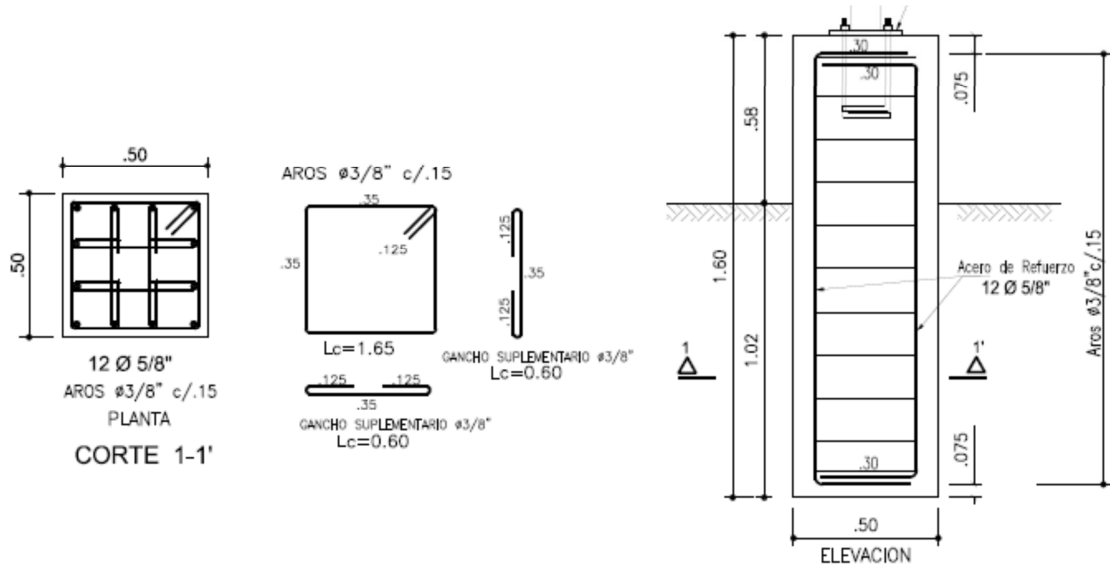


Figura 11. Diseño de la Estructura en Hierro de la Base de Concreto

9.2.3 Características de los Postes Metálicos

Los postes deben ser galvanizados en caliente con las medidas mostradas en la figura 12 y deben ser soportados con sus tuercas manejando un torque de 47 Nm.

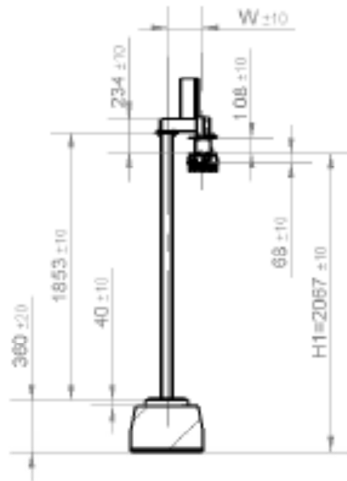


Figura 12. Características de los Postes Metálicos

9.2.4 Especificaciones del Perfil Guía

El riel conductor se ubica sobre un perfil que sirve de guía al brazo eléctrico al momento de realizar los movimientos, el cual tiene las siguientes características, diseñadas según los esfuerzos a los que está expuesto el equipo.

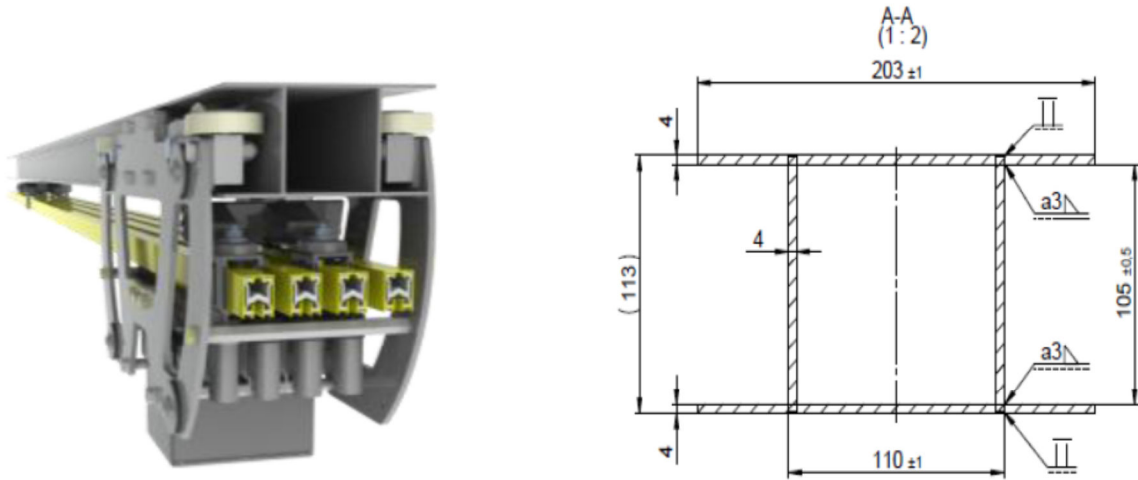


Figura 13. Especificaciones del Perfil Guía

9.3 Diseño del Sistema de Automatización del Brazo

9.3.1 Estructura del Brazo Automático

Una de las partes más importantes del sistema y en el cual se centra el desarrollo de la automatización del equipo es el brazo automático, el cual está compuesto por un carro colector, una unidad horizontal y una unidad vertical.

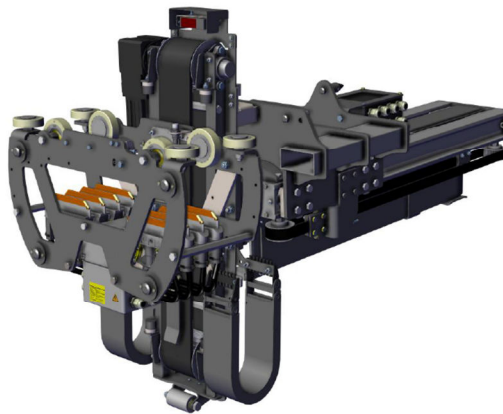
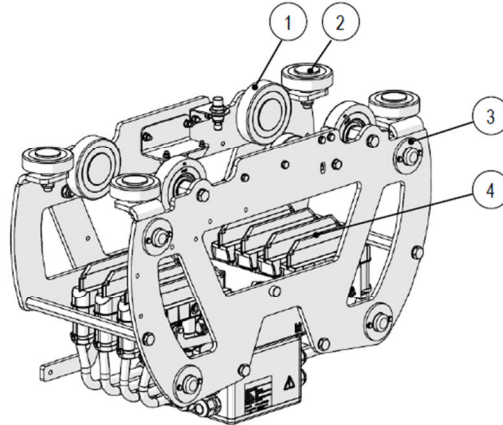


Figura 14. Brazo Automático

9.3.1.1 Carro Colector

Se muestra en la figura 15 y contiene los colectores que hacen contacto con el barraje energizado, es el encargado de realizar el contacto físico y la transferencia de corriente entre el la red eléctrica y el RTG. A continuación se detallan cada una de las partes

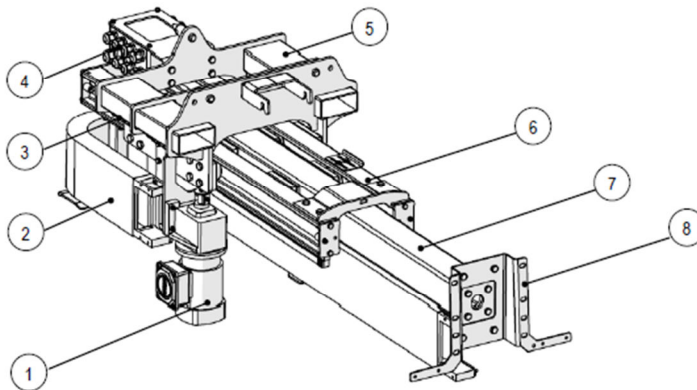


Ítem	Descripción
1	Rueda Principal
2	Rueda Guía
3	Parte Deslizante
4	Colectores de Corriente

Figura 15. Carro Colector

9.3.1.2 Unidad Horizontal

Este módulo va montado a la estructura del RTG y se encarga de dar el movimiento horizontal para la entrada y salida del brazo, la máxima longitud a la cual puede salir es de 1500mm.

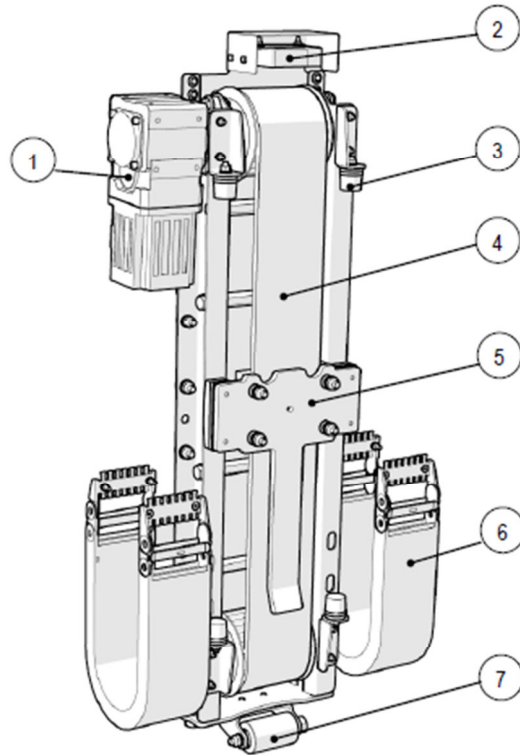


Ítem	Descripción
1	Motor de Engranaje
2	Cadena Portacable
3	Caja para Sensores
4	Caja de Conexiones
5	Base o Soporte
6	Extensión Exterior
7	Extensión Interior
8	Plato de Conexión

Figura 16. Unidad Horizontal

9.3.1.3 Unidad Vertical

El accionamiento vertical está atornillado a la parte delantera de la unidad horizontal. Esta unidad proporciona el movimiento vertical necesario durante la conexión y desconexión al riel, además la compensación vertical necesaria para el movimiento del equipo y la ubicación de los contenedores en el módulo.



Ítem	Descripción
1	Servo Motor
2	Sensor Laser
3	Tope
4	Correa Dentada
5	Plato de Conexión
6	Cadena Portacables
7	Rueda de Presión

Figura 17. Unidad Vertical

9.3.1.4 Características Generales del Brazo Automático

- Máxima Carrera: 1500 mm
- Tolerancia de Compensación Horizontal: 300 mm
- Tolerancia de Compensación Vertical: 235 mm
- Voltaje de Entrada: 380 – 690 VAC / 50 – 60 Hz
- Máxima Potencia Transmitida por Unidad: 359 KW
- Máxima Velocidad del Gantry: 135 m/min
- Peso: 350 Kg

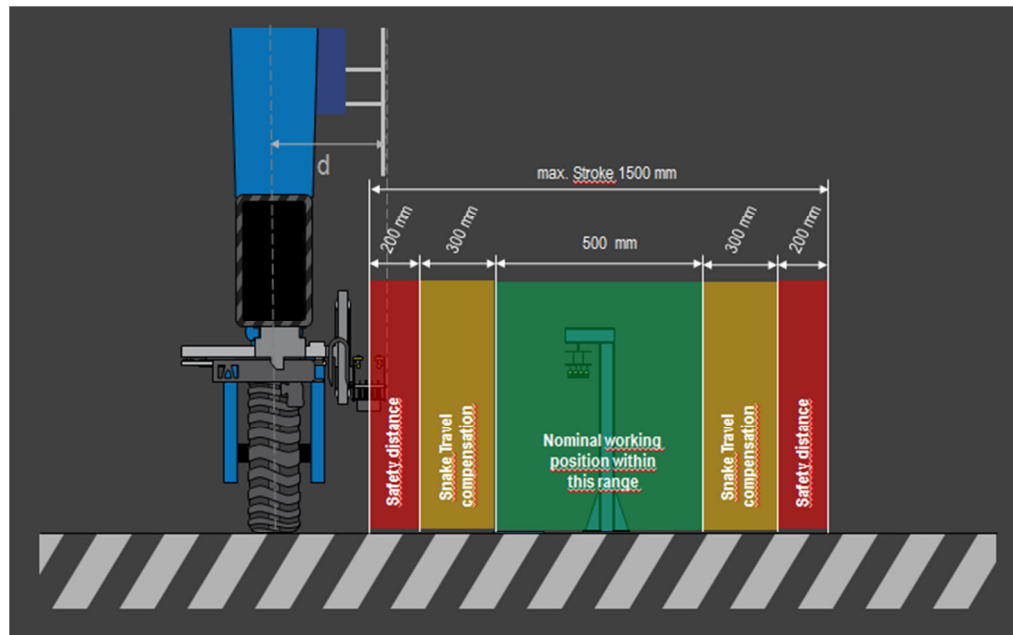
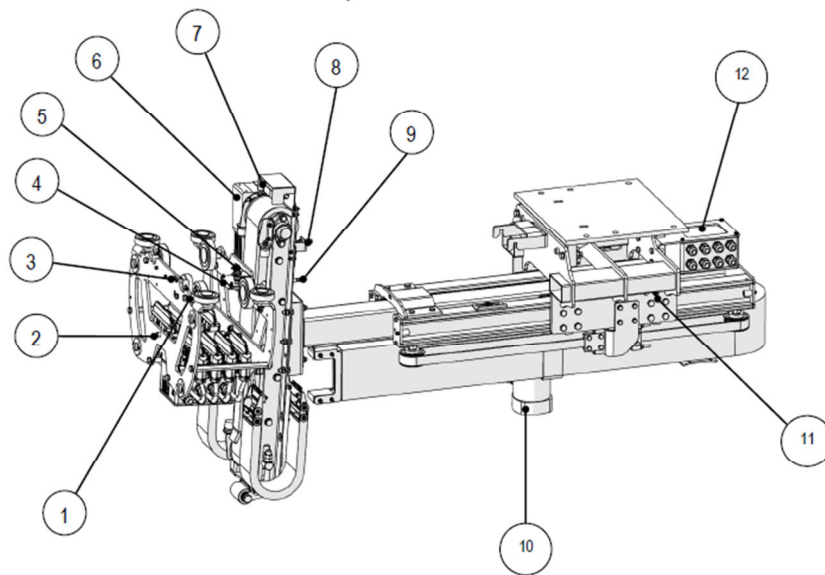


Figura 18. Características Generales del Brazo Automático

9.3.2 Sistema de Automatización

La automatización del brazo comprende diferentes sensores instalados en el equipo los cuales se detallan en la figura 19, a través del procesamiento de estas señales mediante una estación de PLC se realiza la integración de los mismos y se interrelaciona con el sistema existente mediante una red profibus.



Ítem	Componente	Descripción
1	Rodamiento con Sensor	Cuenta Km
2	Sensor Inductivo	Toca Unidad Horizontal
3	Switche Magnético	Posición 1
4	Switche Magnético	Posición 2
5	Sensor Inductivo	Toca Unidad Vertical
6	Servo Motor	Motor Unidad Vertical
7	Sensor Laser	Posición en Riel
8	Sensor Inductivo	Punto Inferior de la Unidad Vertical
9	Sensor Inductivo	Unidad Vertical Levantada
10	Motor de Engranaje	Motor de la Unidad Horizontal
11	Sensor Inductivo	Unidad Horizontal Adentro
12	Caja de Conexiones	Caja de Conexiones

Figura 19. Sistema de Automatización

Cada uno de estos sensores y switches cumplen una función específica que se detalla a continuación y a través de un desarrollo mediante Step 7 se realiza la programación para cada uno de los movimientos y con esto se logra la interfaz de comunicación con el sistema actual.

- Sensor Laser: Detecta la distancia entre el RTG y el riel
- Sensor Inductivo Unidad Horizontal: Esta localizado en el carro colector. Detecta el momento en que el carro colector realiza contacto con el plato metálico.
- Sensor Inductivo Unidad Vertical: Detecta el momento en que el carro colector hace contacto superior con el plato metálico.
- Sensor Inductivo Unidad Vertical Levantada: Detecta el momento en que la unidad vertical sale del riel para poder extraer el brazo.
- Sensor Inductivo Punto Inferior de la Unidad Vertical: Detecta cuando la unidad vertical ha alcanzado su posición final inferior.

- Switches Magnéticos Posición 1 y 2: Están instalados en el carro colector y asociados a unos imanes ubicados a lo largo del riel, los cuales permiten conocer la posición en la zona.
- Rodamiento con Sensor: Ubicado en el carro colector, mide la distancia recorrida por el RTG en el riel.

9.3.3 Estructura de Comunicación

Para el desarrollo de la automatización del brazo, se debe implementar una estación de trabajo nueva basada en las diferentes entradas y salidas integradas en una CPU de Siemens, en la cual, cada una de las señales anteriormente descritas se ingresan en el programa para la ejecución de las acciones necesarias para el correcto funcionamiento del brazo. El acoplamiento de este desarrollo con el sistema actual del RTG se realiza a través de una comunicación profibus. Como se observa en la figura 20 todas las estaciones de trabajo están intercomunicadas.

El módulo de supervisión del brazo se realizará a través de un touch panel que se instala en la cabina del operador y con el cual se realiza la interacción entre el operador y el equipo, toda la comunicación se realiza mediante la red profibus que se observa en la figura 20.

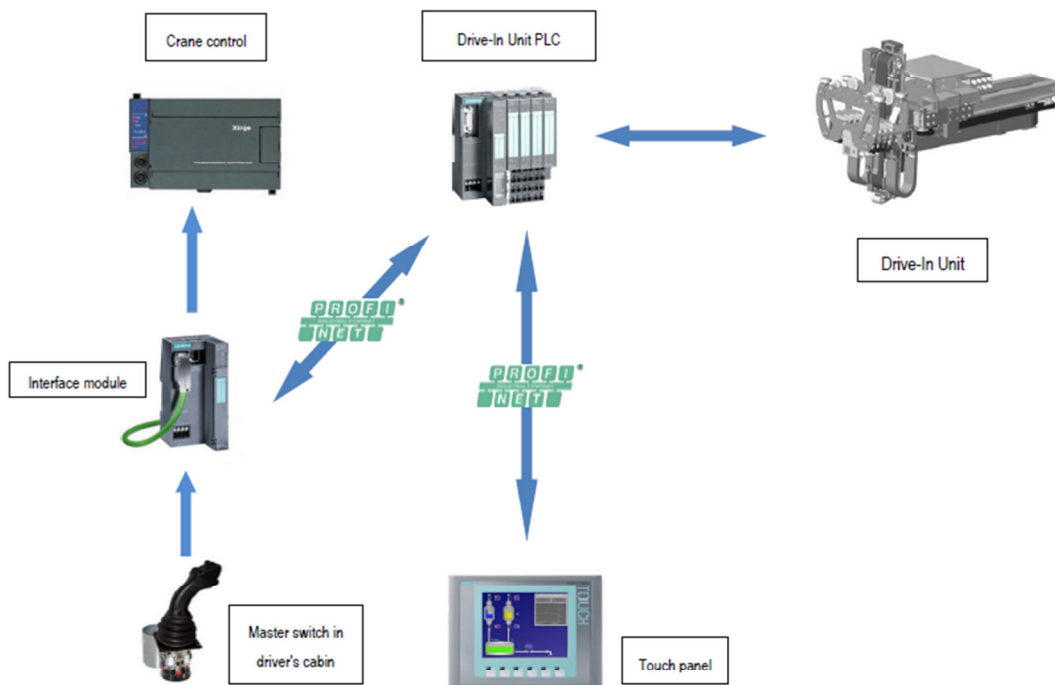


Figura 20. Estructura de Comunicación

El sistema completo comprende entonces los siguientes elementos, los cuales interactúan en todo momento para lograr la comunicación y el desarrollo del sistema tanto en la parte eléctrica como electrónica a través de las señales de control, ver figura 21.

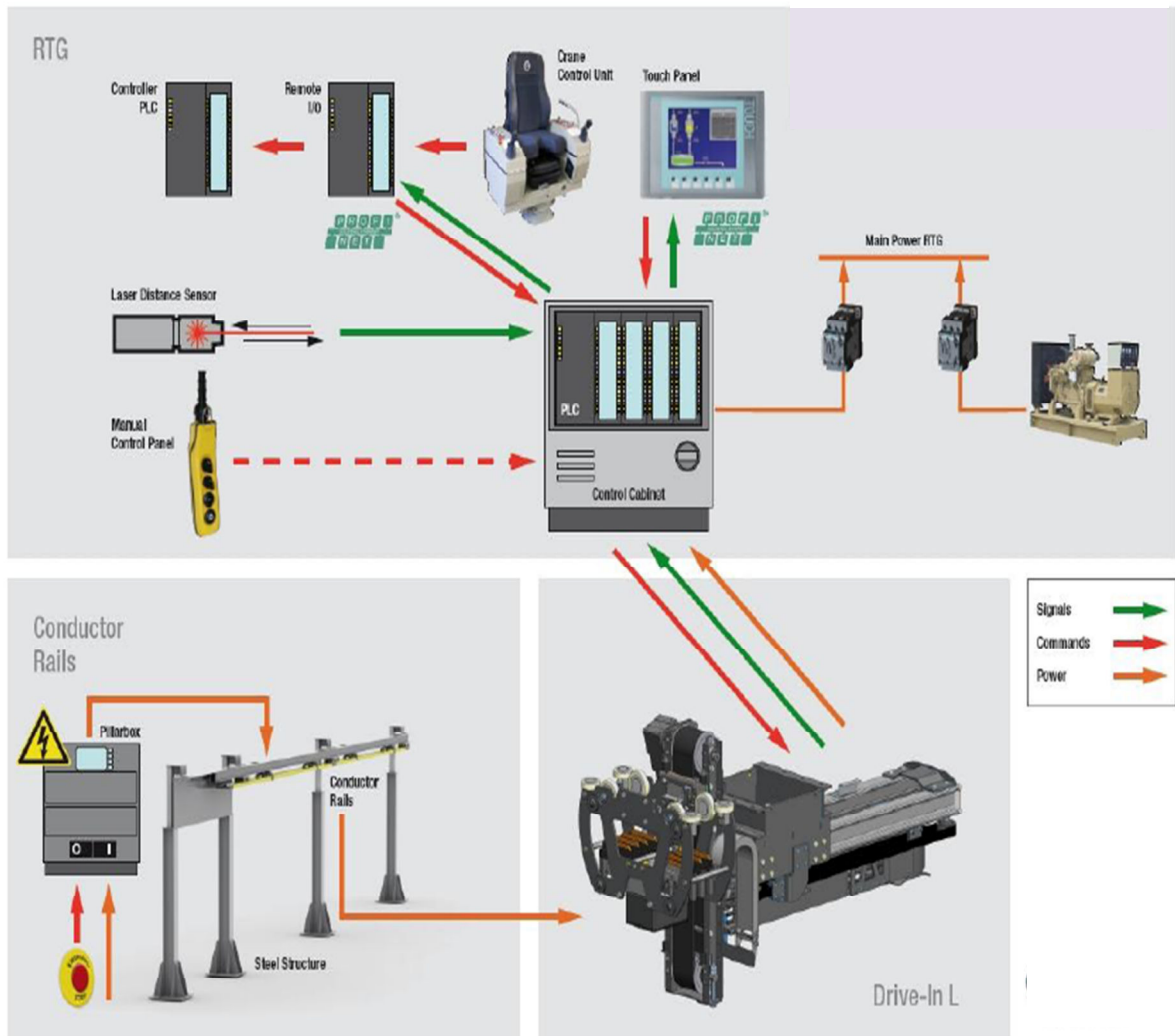


Figura 21. Solución General de Energización de RTG

10. BENEFICIOS ESPERADOS

10.1 Beneficios Ambientales

Las emisiones de material particulado y la contaminación ambiental están siendo en este momento evaluadas por los diferentes entes de regulación del país, como resultado de esto, los terminales de contenedores deben desarrollar actividades para reducir las emisiones de los equipos diesel a través de uso de combustibles alternativos o sistemas de electrificación.

En el caso de una grúa RTG, esta emite aproximadamente entre 350 y 400 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) en un año de trabajo, el ahorro esperado al alimentar el sistema de manera eléctrica es superior al 60%, teniendo en cuenta que la generación de energía en Colombia se realiza en un mayor porcentaje de manera hidráulica, esto hace que el sistema sea una necesidad y la solución, un apoyo al desarrollo ambiental del país.

La contaminación auditiva juega un papel importante en la salud de los seres humanos, el funcionamiento del motor diesel genera una contaminación auditiva importante, la cual se acrecienta en la medida en que la operación portuaria maneja un mayor número de contenedores y las horas de uso de los motores hace que estos sean menos eficientes generando más ruido al momento de la combustión, el desarrollo de los sistemas de energización y la posibilidad de no utilizar el motor hace que la disminución en los niveles auditivos que afectan al personal de la organización y a la comunidad en general, sea un beneficio intangible económicamente pero de gran bienestar a la hora de la operación.

10.2 Beneficios Económicos

10.2.1 Costos Estimados

Los costos estimados de la inversión para realizar el diseño y montaje del sistema de energización para una grúa de patio RTG utilizando un brazo automático, discriminados en cada una de las etapas del montaje son los siguientes:

ETAPA DEL MONTAJE	VALOR UNITARIO USD (\$)
Sistema Eléctrico	\$ 56.464
Obra Metalmecánica y Civil	\$ 122.593
Brazo Automático	\$ 94.264
TOTAL	\$ 273.322
TOTAL APROXIMADO COP	\$ 491.979.554

Tabla 1. Costos Estimados de la Inversión

Para determinar el beneficio económico de la inversión, se realiza una proyección a 10 años de los costos de operación del RTG funcionando con diesel, realizando un incremento anual de los mismos de 4.5% con respecto al año anterior, equivalente al IPC; de igual manera se proyectan a 10 años los costos de operación del RTG funcionando con el sistema de energización propuesto, realizando un incremento anual en los costos de 0.96% con respecto al año anterior, correspondiente al IPP en generación esperado. De la diferencia de estos dos se obtiene el ahorro esperado como se puede observar en las tablas 2, 3 y 4.

10.2.2 Costos Totales RTG Diesel

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Consumo Combustible	\$ 190.873.498	\$ 199.462.805	\$ 208.438.631	\$ 217.818.370	\$ 227.620.196
Mantenimiento Correctivo y Preventivo Generadores	3.850.000	4.023.250	4.204.296	4.393.490	4.591.197
Mantenimiento Correctivo y Preventivo Motores	11.514.325	17.067.437	45.786.992	18.638.068	50.000.540
Costo Depreciación y financiero	20.139.030	20.139.030	20.139.030	20.139.030	20.139.030
TOTAL COSTOS	\$ 226.376.853	\$ 240.692.522	\$ 278.568.950	\$ 260.988.958	\$ 302.350.963

	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Consumo Combustible	\$ 237.863.105	\$ 48.566.945	\$ 259.752.457	\$ 271.441.318	\$ 283.656.177
Mantenimiento Correctivo y Preventivo Generadores	4.797.800	39.653.821	5.239.318	5.475.087	5.721.466
Mantenimiento Correctivo y Preventivo Motores	134.161.330	20.066.397	58.315.780	21.913.008	18.483.903
Costo Depreciación y Financiero	20.139.030	20.139.030	20.139.030	20.139.030	20.139.030
TOTAL COSTOS	\$ 396.961.266	\$ 328.426.193	\$ 343.446.586	\$ 318.968.443	\$ 328.000.576

VPN COSTOS DIESEL	\$ 1.638.725.131 COP
--------------------------	-----------------------------

Tabla 2. Costos Totales RTG Diesel

10.2.3 Costos Totales RTG Eléctrico

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Consumos Energía Eléctrica	\$ 54.661.219	\$ 55.326.736	\$ 56.004.977	\$ 56.696.348	\$ 57.401.274
Mantenimiento Correctivo y Preventivo	2.497.150	2.609.522	2.726.950	2.849.663	12.518.047
Costo Depreciación y Financiero	54.855.720	54.855.720	54.855.720	54.855.720	54.855.720
TOTAL COSTOS	\$ 112.014.089	\$ 112.791.978	\$ 113.587.647	\$ 114.401.731	\$ 124.775.041

	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Consumos Energía Eléctrica	\$ 58.120.196	\$ 58.853.574	\$ 59.601.886	\$ 60.365.632	\$ 61.145.330
Mantenimiento Correctivo y Preventivo	3.111.903	3.251.939	3.398.276	3.551.199	33.432.905
Costo Depreciación y Financiero	54.855.720	54.855.720	54.855.720	54.855.720	54.855.720
TOTAL COSTOS	\$ 116.087.819	\$ 116.961.233	\$ 117.855.883	\$ 118.772.551	\$ 149.433.955

VPN COSTOS ELÉCTRICO	\$ 664.549.520 COP
-----------------------------	---------------------------

Tabla 3. Costos Totales RTG Eléctrico

10.2.4 Ahorro Obtenido con la Implementación del Sistema en un RTG

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro Total	\$ 114.362.763	\$ 127.900.544	\$ 164.981.302	\$ 146.587.226	\$ 177.575.922
	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ahorro Total	\$ 280.873.447	\$ 211.464.960	\$ 225.590.703	\$ 200.195.892	\$ 178.566.621
VPN AHORRO TOTAL	\$ 974.175.610 COP				

Tabla 4. Ahorro Obtenido con la Implementación del Sistema en un RTG

10.2.5 Flujo de Efectivo (Cash Flow)

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
TOTAL INVERSIÓN	\$ (491.979.554)				
AHORRO	\$ 114.362.763	\$ 127.900.544	\$ 164.981.302	\$ 146.587.226	\$ 177.575.922
VPN BENEFICIO (12%)	\$ 482.196.056				
TIR	30%				
RETORNO INVERSION	2,69 Años				
	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
TOTAL INVERSIÓN					
AHORRO	\$ 280.873.447	\$ 211.464.960	\$ 225.590.703	\$ 200.195.892	\$ 178.566.621
VPN BENEFICIO (12%)					
ROI					
RETORNO					

Tabla 5. Flujo de Efectivo

11. CONCLUSIONES

- La reducción en los costos de operación y mantenimiento hace de este proyecto una gran oportunidad de desarrollo para los terminales portuarios, al obtener grandes beneficios económicos y asegurar la movilidad de la carga bajo los más altos estándares de calidad ambiental rompiendo los paradigmas actuales y asumiendo retos operacionales que llevan al terminal a estar a la altura de los más grandes puertos a nivel mundial.
- Los sistemas eléctricos en media y baja tensión están ampliamente regulados por el RETIE y la norma NTC 2050, lo que permitió que el diseño e implementación del sistema eléctrico se pudiera realizar de forma rápida y segura, sin generar mayor traumatismo a la operación portuaria y contando en todo momento con la supervisión y vigilancia del operador de red.
- Las secuencias lógicas implementadas basadas en la cantidad de entradas y salidas determinadas por los diferentes sensores e interruptores fueron desarrolladas siguiendo los estándares establecidos para una operación segura en este tipo de máquinas, la integración y las diferentes estrategias se desarrollaron en conjunto con los fabricantes de las grúas lo que generó el correcto acoplamiento de cada una de las partes y con ello una operación confiable y con alto grado de disponibilidad, parámetros esenciales en el desarrollo de la operación de cualquier tipo de equipo.
- Continuando con la estrategia de comunicación actual con la que cuenta la grúa y teniendo en cuenta la versatilidad y facilidad que tienen los sistemas de comunicación profibus, fue de fácil implementación la red de acoplamiento con la nueva estación de trabajo necesaria para el correcto funcionamiento del sistema automático.

12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa Terminal de Contenedores de Cartagena, incluir dentro de su presupuesto los rubros necesarios para la instalación del sistema de energización de grúas de patio mediante brazo automático, teniendo en cuenta el análisis de costos presentado.

- La empresa deberá revisar teniendo en cuenta las características de la operación portuaria, la facilidad y practicidad que el sistema presenta para realizar cambios entre módulos. Además, desarrollar una interface tecnológica que permita que las grúas de patio RTG interactúen de manera eficiente al momento de desarrollar la operación portuaria.

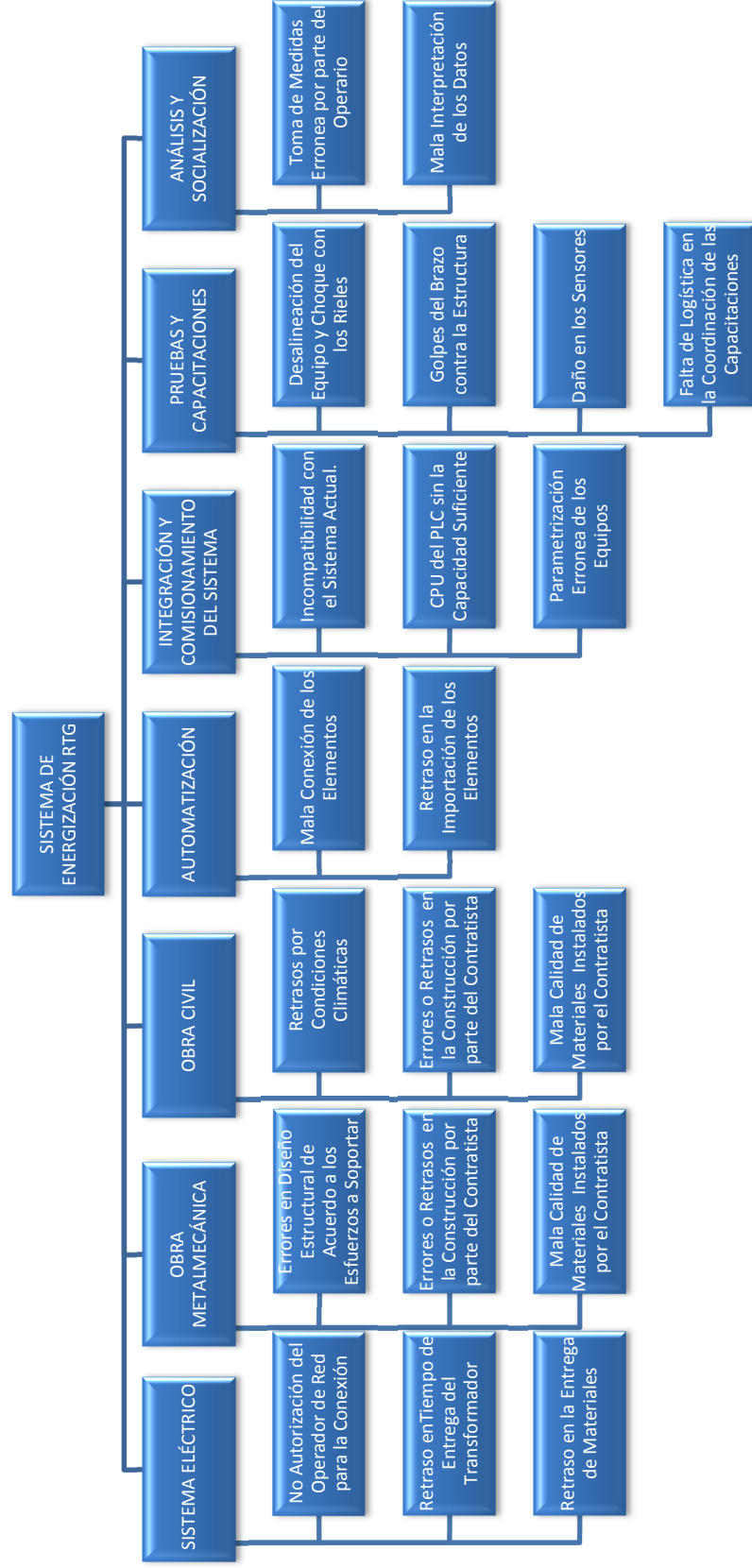
- Considerando las repetidas quejas de los habitantes del sector por el ruido generado por las grúas RTG y los altos índices de contaminación que afectan la bahía el terminal debe considerar la solución propuesta en este proyecto como una eficaz solución que contribuye al desarrollo ambiental responsable de la operación portuaria.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Código Eléctrico Colombiano, NTC 2050
- Manual de Usuario Cavotec
- Manual de Usuario Conductix Wampfler
- Norma IEC 60204 – 32, Seguridad de las máquinas - Equipo eléctrico de las máquinas - Parte 32: Requisitos para las máquinas de elevación.
- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE, Resolución 181294 de Agosto 6 de 2008

14. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Riesgos



Anexo 2. Capacitación Operadores



ELECTRIFICACIÓN RTG MÓDULO PARA OPERADORES

Cartagena de Indias, Junio 05 de 2013



ELECTRIFICACIÓN RTG

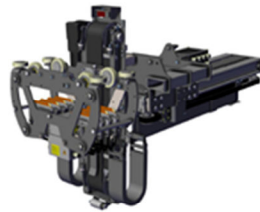
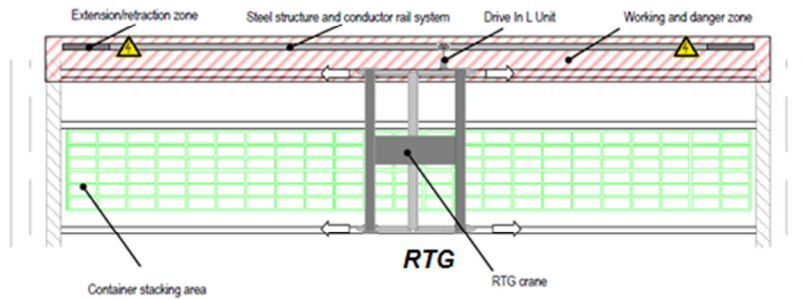
- **Objetivo:**
 - Comprender el funcionamiento del RTG en el sistema eléctrico.
 - Generar las competencias básicas para activación y desactivación de sistema eléctrico en el RTG.
- **Actualidad:**
 - En la actualidad contamos con 1 RTG (Y24) y un modulo de 159m como test para la realización de pruebas de funcionamiento de RTG, con sistema eléctrico.



ELECTRIFICACION RTG



Partes:



Drive in unit
(Brazo automatico)

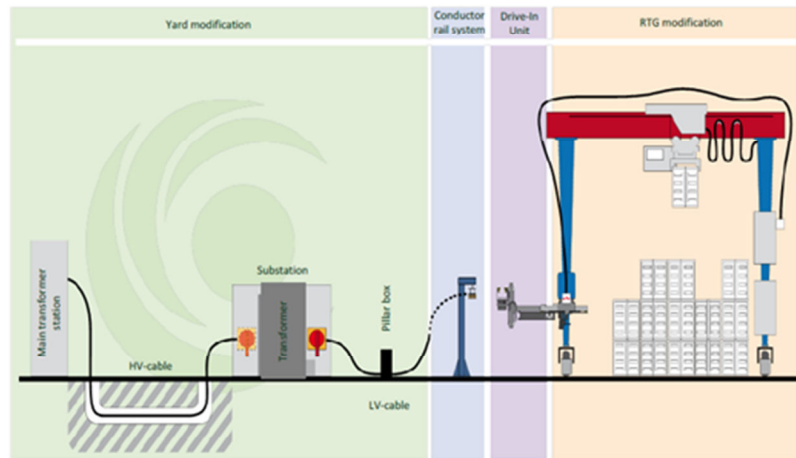


Rail System
(Barraje energizado)

ELECTRIFICACIÓN RTG



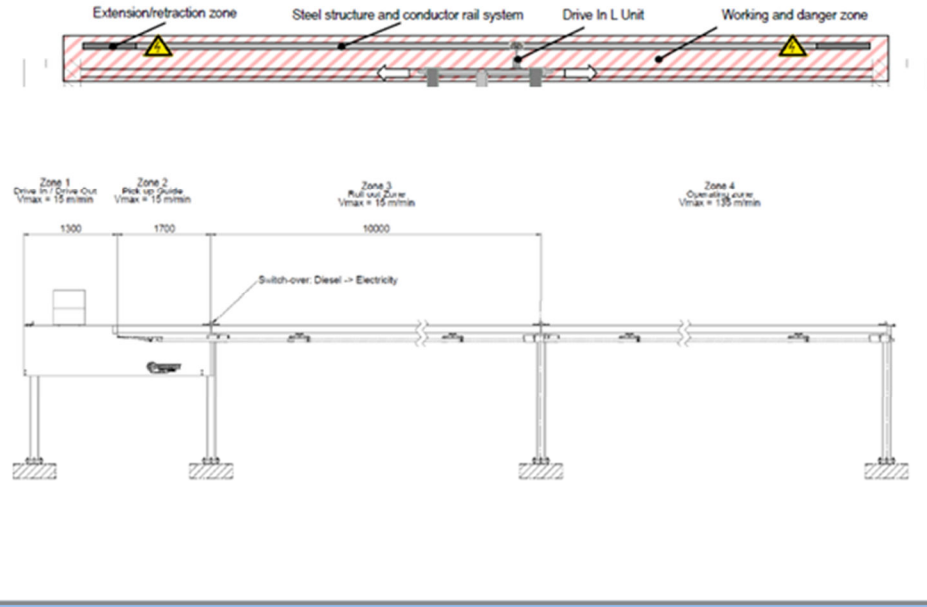
Esquema básico de Funcionamiento.



ELECTRIFICACION RTG



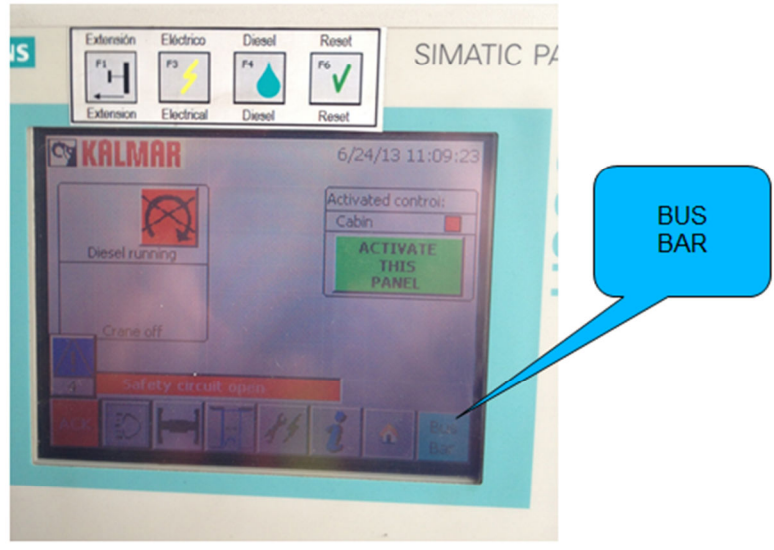
▪ Zona de Trabajo.



ELECTRIFICACION RTG



▪ Touch panel.



ELECTRIFICACIÓN RTG

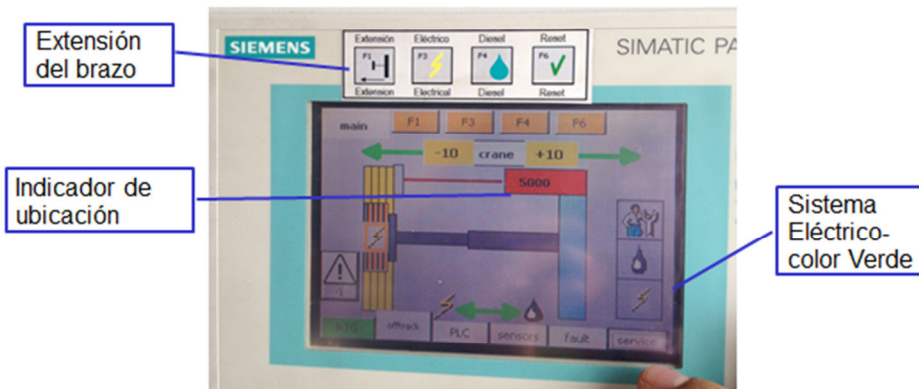
▪ Energización RTG



▪ Pasos:

- 1- ingresa el equipo a la zona del riel eléctrico.
- 2- cuando escuche una alarma en la cabina deténgase, y pase la pantalla a BUS BAR en la touch panel.

ELECTRIFICACIÓN RTG

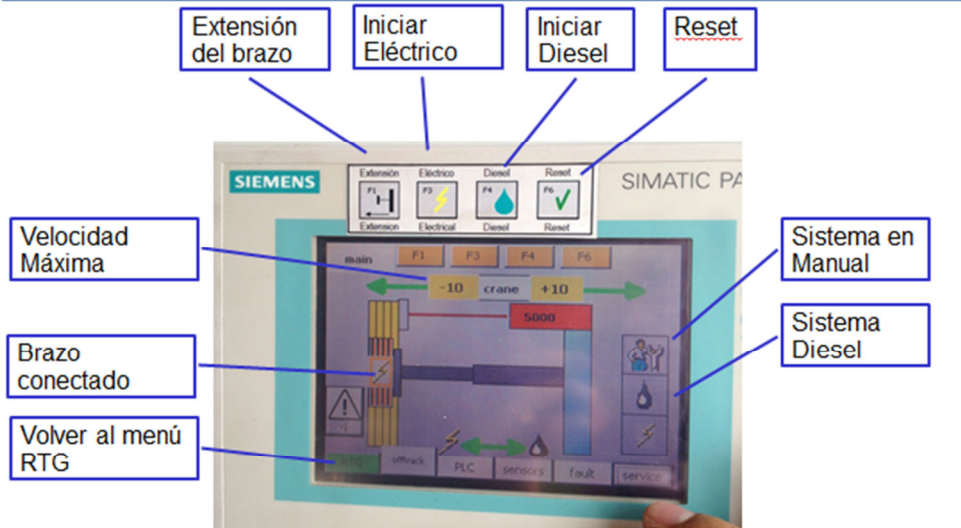


En este momento el valor de 5000 en color Rojo pasa a verde.

4- Presiona F1 (extensión de brazo) (en la pantalla se observa cuando sale el brazo).

5- dar gantry para ingresar al modulo, automáticamente el equipo se detiene entre la zona 2 y zona 3 y se observará un cambio en la energía. En este momento inicia el equipo con sistema eléctrico y puede realizar todos sus movimientos.

ELECTRIFICACION RTG



Extensión del brazo

Iniciar Eléctrico

Iniciar Diesel

Reset

SIEMENS SIMATIC PA

Extensión Eléctrico Diesel Reset

Extensión Eléctrico Diesel Reset

main F1 F3 F4 F6

-10 crane +10

5000

Sistema en Manual

Sistema Diesel

Brazo conectado

Velocidad Máxima

Volver al menú RTG

Para salir del sistema solo dirijase en dirección de salida con el gantry seleccionado y el automáticamente realizara la transferencia de eléctrico a diesel y el ingreso del brazo.

ELECTRIFICACIÓN RTG

•Observaciones:

- El equipo requiere que se trabaje siempre en dirección automática.
- La velocidad en el inicio del modulo esta limitada al 10% de la velocidad máxima.
- Se debe prestar atención siempre a la alarma en la cabina para la salida del brazo, en el momento de ingresar al riel.

GRACIAS.