

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“MEJORAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS
CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CARGA DE UREA
BASADO EN LA CONFIABILIDAD”**

**Caso: Sistema de Carga de Urea Granular del Complejo Petroquímico
General de División José Antonio Anzoátegui**

REALIZADO POR:

Lino Eduardo Márquez González

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
Parcial para Optar al Título de:**

INGENIERO MECÁNICO

BARCELONA; DICIEMBRE DEL 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“MEJORAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS
CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CARGA DE UREA
BASADO EN LA CONFIABILIDAD”**

**Caso: Sistema de Carga de Urea Granular del Complejo Petroquímico
General de División José Antonio Anzoátegui**

ASESORES:

MSc., Ing. Delia Villarroel

Asesor Académico

Ing. José García

Asesor Industrial

BARCELONA; DICIEMBRE DEL 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“MEJORAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS
CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CARGA DE UREA
BASADO EN LA CONFIABILIDAD”**

**Caso: Sistema de Carga de Urea Granular del Complejo Petroquímico
General de División José Antonio Anzoátegui**

JURADO:

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

APROBADO

MSc., Ing. Delia Villarroel
Asesor Académico

MSc., Ing. Diógenes Suárez
Jurado Principal

MSc., Ing. Edgar Rodríguez
Jurado Principal

BARCELONA; DICIEMBRE DEL 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo quién lo participará al Consejo Universitario”



DEDICATORIA

A la memoria de **Mi Padre Manuel Márquez**, quién ha sido hasta ahora el mejor ejemplo de lucha que hemos tenido mis hermanos y yo. A él, quién siempre se esforzó en darnos buenos ejemplos, quien nos enseñó a ser hombres y mujeres honestos, quien nos enseñó a saber que por más grandes y terribles que parezcan los problemas, Dios nunca nos abandonará. A ti **“Paito”**, a ti dedico todo el esfuerzo y sacrificio empleado en la realización de este sueño, tan esperado por **“Mama”** y los **“Muchachos”**. Siempre he confiado en que estas con Dios y espero que desde allá te sientas merecedor de este logro.

Lino Eduardo Márquez González

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso, por tantas cosas concedidas durante mi tiempo en la universidad, por darme el regalo de hacer posible lo que soy ahora, por darme paz, salud, el pan de cada día y por alejarme siempre del camino incorrecto. *Gracias Dios mío.*

A mi madre Carmen Mirella, por siempre tenerme en sus oraciones, estoy seguro que ese gran amor que sientes por mí, me ayudo mucho a salir a delante. Gracias por confiar en mi y saber que si lo lograría.

A mis Hermanos: Teresa, Sonia, Eris, Pedro, Luisa, Edecio, Carmen Teresa, Leonardo, Leandro, Flor y Carlos; estoy seguro que sin la ayuda de ustedes no hubiera sido posible este logro. Gracias por desprenderse de ustedes para apoyarme incondicionalmente e impulsarme a seguir a delante, gracias por sus buenos consejos, gracias por sus regaños, gracias por todo, siempre sabré apreciar el sacrificio que hicieron para ayudarme. Realmente muchas gracias y Dios quiera que siempre estemos unidos.

A la señora Carmen Centeno, por su hospitalidad, por la constante atención brindada. Gracias por ser tan buena y por brindarme ese calor familiar que siempre hace falta cuando se está fuera de la casa.

A mi esposa porque siempre estuvo apoyándome para lo que fuera. A ti mi amor te doy las gracias por ser tan especial conmigo. Tú también eres parte de este logro.

A mis Amigos y Compañeros de la Universidad con quien compartí momentos buenos y malos y con quienes compartí también este sueño tan anhelado por todos, en especial a Jhon Bowell, Manuel Barceló, Erick Merecuana, Leonardo Moreno, Aníbal Zapata, Argenys Moreno, Egliver Acevedo, Luisalbe, Yerlis, Daniel Deseda, Jesús Boada, Pedro, Blondel, Chicho, Alfredo, Maria José, Frank, entre otros.

A la Profesora Delia Villarroel, por su gran ayuda brindada, por sus enseñanzas, su amistad, sus consejos alentadores y por apoyarme incondicionalmente en la realización del trabajo de grado.

A la Universidad de Oriente y sus profesores de los cuales estaré muy agradecido por todas y cada una de las enseñanzas y vivencias que contribuyeron con mi formación académica y como ciudadano.

A Pequiven por permitirme aplicar destrezas y conocimientos, dándome mi primera experiencia profesional, a las personas que en esta empresa laboran quienes me brindaron su amistad y colaboración para el desarrollo de este trabajo.

A Todos Mil Gracias

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental proponer mejoras al plan de mantenimiento basado en la confiabilidad de los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea del Complejo Petroquímico General de División José Antonio Anzoátegui, con el fin de aumentar la rentabilidad del proceso productivo de la empresa, permitiendo formular estrategias para mejorar la planificación y ejecución del mantenimiento, minimizar la ocurrencia de fallas, disminuir los costos de mantenimiento e incrementar la confiabilidad operacional de la planta, mejorando así la seguridad de los trabajadores y del medio ambiente. Para el desarrollo de esta investigación, primero se procedió a describir el contexto operacional de la planta, seguidamente se realizó un análisis Impacto-Esfuerzo con el objeto de priorizar los subsistemas que conforman el sistema de carga de urea, y orientar las acciones de mantenimiento a aquel que resulte con la prioridad más alta. Luego se realizó un análisis de criticidad, a fin de dirigir los esfuerzos de la gestión de mantenimiento hacia los equipos, cuya indisponibilidad tenga el mayor impacto sobre la producción, seguridad y el medio ambiente; es decir los equipos más críticos. Posteriormente, se ejecutó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), donde se establecieron las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla de todos los equipos críticos, permitió seleccionar la tarea de mantenimiento a realizarse. Seguidamente se realizó una estimación de la confiabilidad de los equipos críticos, para posteriormente obtener las frecuencias de mantenimiento. Ya con toda esta información disponible, se diseñó el Plan de Mantenimiento, de los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea, con los cuales, se logrará disminuir la incidencia de fallas de los equipos y asimismo disminuir las pérdidas por demoras en el proceso, obteniéndose un considerable ahorro de recursos económicos, con un notorio aumento en la producción y una alta calidad en el servicio que garantice la satisfacción de los clientes.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Página</i>
RESOLUCIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VIII
NOMENCLATURA	XXV
INTRODUCCIÓN	XXV
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA PEQUIVEN	28
1.1.1 Misión y Visión de la Empresa Pequiven	29
1.1.2 Estructura Empresarial de Pequiven	29
1.1.3 Complejo Petroquímico Jose.....	29
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
1.3 OBJETIVOS	34
1.3.1 General	34
1.3.2 Específicos	34
CAPÍTULOII: MARCO TEÓRICO	
2.1 ANTECEDENTES.....	35
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	37
2.2.1 Conceptos y Principios Básicos	37
2.2.1.1 Mantenimiento	37
2.2.1.2 Mantenimiento Preventivo	37
2.2.1.3 Mantenimiento Correctivo:	37
2.2.1.4 Planificación del Mantenimiento	37

2.2.1.5 Frecuencias de Mantenimiento	37
2.2.2 Confiabilidad Operacional	38
2.2.3 Equipo Natural de Trabajo (ENT).....	38
2.2.4 Contexto Operacional.....	40
2.2.5 Análisis de Criticidad (A.C.).....	41
2.2.5.1 Metodología Impacto – Esfuerzo de Análisis de Criticidad	42
2.2.5.2 Metodología D.S. sobre Análisis de Criticidad.....	45
2.2.5.3 Metodología Utilizada en PDVSA E & P Occidente.....	49
2.2.6 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)	52
2.2.7 Jerarquización de los Modos De Fallas.....	54
2.2.8 Distribuciones de Probabilidad	58
2.2.8.1 Distribuciones Paramétricas.....	58
2.2.8.2 Distribuciones No Paramétricas.....	59
2.2.9 Indicadores de Efectividad en el Mantenimiento.....	59
2.2.9.1 Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF)	59
2.2.9.2 Confiabilidad.....	60
2.2.10 Urea.....	65
2.2.10.1 Uso como Fertilizante	65

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA UTILIZADA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	66
3.1.1 Según la Estrategia:.....	66
3.1.1.1 Investigación documental.....	66
3.1.1.2 Investigación de Campo.....	66
3.1.2 Según el Propósito	66
3.1.3 Según el nivel de conocimiento	67
3.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS.....	67
3.2.1 Recolección de data operacional y de diseño.....	67
3.2.2 Observación Directa.....	67

3.2.3 Entrevistas informales al Personal	67
3.2.4 Encuestas.....	68
3.2.5 Metodología de Impacto – Esfuerzo de Análisis de Criticidad.....	68
3.2.6 Metodología D.S. de Análisis de Criticidad	68
3.2.7 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).....	68
3.2.8 Jerarquización de los Modos de Falla.....	69
3.2.9 Documentación	69
3.2.10 Manejo de Programas de Computación	69
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	69
3.4 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	70

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE CARGA DE UREA	73
4.1.1 Descripción del Proceso de Carga de Urea.....	73
4.1.2 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema de Carga de Urea.....	77
4.1.2.1 Subsistema Transportador Tubular (PBC 100).....	77
4.1.2.2 Subsistema Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC 200) 86	
4.1.2.3 Subsistema Transportador de Enlace (PBC 300).....	92
4.1.2.4 Subsistema Cargador de Barcos (SSC 400).....	98
4.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	106
4.2.1 Análisis de Impacto – Esfuerzo.....	107
4.2.2 Metodología D.S. Para El Análisis de Criticidad del Subsistema Transportador Tubular PBC 100.....	113
4.3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) A LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CARGA DE UREA	120
4.3.1 Definición de las funciones principales de los equipos críticos:.....	120
4.3.2 Fallas Funcionales.....	120
4.4 JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA.....	131

4.5 ESTUDIO DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS.....	148
4.5.1 Estimación de la Confiabilidad Utilizando el Software Autocon 1.0	149
4.5.2 Validación de los Resultados Obtenidos con el Software Autocon 1.0...	156
4.6 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE	160
4.7 PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SISTEMA DE CARGA DE UREA	162
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	170
BIBLIOGRAFÍAS CITADAS	173
APÉNDICE “A”	176
FORMATO DE ENCUESTA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD METODOLOGÍA DS	176
APÉNDICE “B”	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DATOS DE FALLAS DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS;	Error! Marcador no definido.
APÉNDICE “C”	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS;	Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla N°1.1 Plantas que Operan en el Complejo Petroquímico Jose..... **¡Error!**

Marcador no definido.

Tabla N°2.1 Guía de Impacto.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N°2.2 Criterios de Evaluación del Impacto.....**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N°2.3 Criterios de evaluación del Esfuerzo**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 2.4. Matriz de Criticidad D.S.**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N°2.5 Parámetros para definir la criticidad de un equipo.**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N° 2.6 Modelo de Encuesta Utilizado en PDVSA E & P Occidente **¡Error!**

Marcador no definido.

Tabla N° 2.7 Ponderación estándar de PDVSA para los Criterios en Estudio... **¡Error!**

Marcador no definido.

Tabla N°2.8 Ponderaciones del Factor de Modo de Falla;**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N°2.9 Ponderaciones del Factor de Impacto en la Producción **¡Error!**

Marcador no definido.

Tabla N°2.10 Ponderaciones del Factor de Impacto en el SIAHO;**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N°2.10 Propiedades de la Urea**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N° 3.1 Integrantes del Equipo Natural de Trabajo (ENT);**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.1 Subsistemas que Integran el Sistema de Carga de Urea **¡Error!**

Marcador no definido.

Tabla N°4.2 Datos Técnicos de la Cinta Transportadora SBC100;**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.3 Datos Técnicos de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02
.....; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.4 Datos Técnicos de los Tambores Guía del Transportador Tubular ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.5 Datos Técnicos de los Equipos que Integran el Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.6 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-015; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.7 Datos Técnicos de Planta Recolectora de Polvo del Transportador Tubular; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.8 Datos Técnicos de la Cintara Transportadora SBC 200 ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.9 Datos Técnicos de la Unidad Motriz SBC 200 M03; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.10 Datos técnicos de los tambores Guía SBC 200 T05; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N° 4.11 Datos Técnicos del Dispositivo Tensor PBT 220; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N° 4.12 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-024; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.13 Planta Recolectora de Polvo BRT 300 .; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.14 Datos Técnicos del Carro deslizante STC 200; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.15 Datos Técnicos de la Cintara Transportadora SBC 200 ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N° 4.16 Datos Técnicos de la Unidad Motriz SBC 300 M04; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.17 Datos Técnicos del Tambor de Retorno PBT 330; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.18 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-035 del Transportador de Enlace.....; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.19 Datos Técnicos de la Cintara Transportadora SBC 200 ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.20 Datos Técnicos de la Unidad Motriz SSC 400 M05; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°21 Datos Técnicos del Tambor de Retorno PBT 440; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.22 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-044 - TTU-045 ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.23 Datos Técnicos de la Unidad de Recorrido STC 400; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.24 Datos Técnicos de la Unidad de Giro SRT400; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.25 Datos Técnicos del Surtidor de Carga Telescópico SSC 101 ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.26 Equipos de los Subsistemas que Integran el Sistema de Carga de Urea; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.27 Encuesta de Impacto de los Subsistemas del Sistema de Carga de Urea; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.28 Resultados de Impacto de los Subsistemas del Sistema de Carga de Urea.....; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.29 Resultados del Impacto Total y la Escala Correspondiente a Cada Subsistema; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.30 Encuesta Esfuerzo Sobre los Subsistemas del Sistema de Carga de Urea; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.31 Resultados de Esfuerzo Sobre los Subsistemas del Sistema de carga de Urea.....; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.32 Resultados del Análisis de Impacto-Esfuerzo para el; **Error! Marcador no definido.**

Tabla 4.33 Parámetros para Clasificar la Criticidad de los Equipos Bajo Estudio; **Error! Marcador no definido.**

Tabla 4.34 Encuestados Para el Análisis de Criticidad; **Error! Marcador no definido.**

Tabla 4.35 Método de Selección de Criterios para Evaluar los Factores de Criticidad.; **Error! Marcador no definido.**

Tabla 4.36 Matriz de Criticidad de la Cinta de Caucho SBC100; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.37 Resultados del Análisis de Criticidad del Subsistema Transportador Tubular PBC100 del Sistema de Carga de Urea; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.38 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.39 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.40 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.41 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.42 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.43 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.44 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.45 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.46 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.47 Resultados del Análisis de Modos y Efectos de Falla para los Equipos Críticos; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.48 Ponderaciones del Factor de Modo de Falla; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.49 Ponderaciones del Factor de Impacto en la Producción ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.50 Ponderaciones del Factor de Impacto en el SIAHO; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.51 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.52 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.53 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.54 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.55 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.56 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4. 57 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100.....; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.58 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.59 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.60 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.61 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.62 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N° 4.63 Nivel de Criticidad de los Modos de falla por cada Equipo Crítico; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.64 Modos de Falla Con Muy Alta Criticidad; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.65 Datos recolectados para la Cinta Transportadora SBC 100..... ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.66 Resultados de los Parámetros de Mantenimiento para la..... ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.67 Tiempos Entre Falla Ordenados de Forma Creciente del Entorchamiento de la; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.68 Frecuencia de Falla Acumulada del Entorchamiento de la..... ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N° 4.69 Comparación de Resultados de Confiabilidad para el Entorchamiento de la; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.65 Plan de Mantenimiento para la Cinta Transportadora SBC-100 . ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.66 Plan de Mantenimiento para la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.67 Plan de Mantenimiento para la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.68 Plan de Mantenimiento para la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.69 Plan de Mantenimiento para el Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01
; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.70 Plan de Mantenimiento para el Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01
; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.1 Datos de Falla Recolectados de la Cinta transportadora (SBC100).. ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.2 Datos de Falla Recolectados de la Unidad Motriz (PBC100 M01) . ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.3 Datos de Falla Recolectados de la Unidad Motriz (PBC100 M01) . ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.4 Datos de Falla Recolectados de la Unidad Motriz (PBC100 M01) . ; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.5 Datos de Falla Recolectados del Guinche Eléctrico Tensor (PBT-110 M01)
; **Error! Marcador no definido.**

Tabla B.6 Datos de Falla Recolectados del Guinche Eléctrico Tensor.....; **Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura N°1.1 Ubicación Geográfica de Pequiven Jose; **Error! Marcador no definido.**

Figura N° 2.1 Aspectos de la Confiabilidad Operacional.; **Error! Marcador no definido.**

Figura 2.2 Equipo Natural de Trabajo típico; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°2.3 Matriz de Prioridades.; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°2.4 Prioridades según la Matriz de Prioridades. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°2.5 Parámetros utilizados por la metodología de análisis de criticidad D.S. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 2.6 Modelo Básico de Análisis de Criticidad .. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°2.7 Formato AMEF **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°2.8 Matriz de Jerarquización de Modos de Falla. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°2.9 Tiempos Utilizados en el estudio de los Indicadores de Efectividad **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.1 Vista Aérea del Muelle Petroquímico de Pequiven. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.2 Sistema de Carga de Urea..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.3 Subsistema Transportador Tubular PBC 100. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.4 Cinta Transportadora SBC100 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.5 Unidad Motriz PBC100 M01 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.6 Tambores Guía del Transportador Tubular PBC100 T01 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.7 Carro Tensor del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.8 Rodillos Guía del Transportador Tubular. **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.9 Ubicación de la Planta Recolectora de Polvo BRT 100 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N° 4.10 Esquema del Transportador Elevado con Carro Deslizante **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.11 Transportador Elevado con carro deslizante PBC200..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.12 Unidad Motriz SBC 200 M03; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.13 Tambores Guía del Transportador elevado con carro deslizante ; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.14 Dispositivo Tensor PBT 220; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.15 Rodillos Guía TTU-024.....; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.16 Ubicación de Carro Deslizante STC 200; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.17 Subsistema Transportador de Enlace PBC 300; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.18 Tambor de Retorno PBT 330 con Tornillo de Tensión..... ; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.19 Subsistema Transportador de Enlace PBC 300; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.20 Subsistema Cargador de Barcos SSC 400; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.21 Unidad de Recorrido STC 400; **Error! Marcador no definido.**

Tabla N°4.22 Unidad de Giro SRT400; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.22 Surtidor de Carga Telescópico SSC 101; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.23 Matriz de Prioridad Para el Subsistema Transportador Tubular PBC100; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.24 Prioridades el Subsistema Transportador Tubular PBC100 ; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.25 Hoja Programada Microsoft Excel para el Cálculo de la Criticidad; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.26 Criticidad de los Equipos que Conforman el Subsistema Transportador Tubular del; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.27 Porcentaje de Falla Funcional por Cada Equipo Crítico ; **Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.28 Porcentaje de Modo de Falla por Cada Equipo Crítico **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.29 Matriz de Jerarquización de Modos de Falla; **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.30 Distribución Porcentual del Nivel de Criticidad de los Modos de **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.31 Ingreso de los TEF del Entorchamiento de la cinta SBC100 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.32 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla; **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.33 Grafica en el Papel de Weibull del Entorchamiento de la Cinta SBC100 **¡Error! Marcador no definido.**

45Figura N°4.34 Comportamiento de la Confiabilidad en el Tiempo de la Cinta Transportadora SBC100..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.35 Resultados de Parámetros de Confiabilidad de Weibull de la.... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.36 Tiempo Estimado para una Confiabilidad de 0.95; **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.37 Reporte Final del Software para la Cinta Transportadora SBC100 **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N°4.38 Diagrama de Weibull Manual para el Entorchamiento de la **¡Error! Marcador no definido.**

Figura N° 4.39 Radio de Acción de las Tareas de Mantenimiento en el Modo de Falla **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.1 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla; **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.2 Grafica en Papel de Weibull **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.3 Resultado de los Parámetros de Confiabilidad de Weibull..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura C.4 Frecuencia de Mantenimiento para Mantener una Confiabilidad de 0,95
.....; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.5 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.6 Grafica en Papel de Weibull; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.7 Resultado de los Parámetros de Confiabilidad de Weibull..... ; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.8 Frecuencia de Mantenimiento para Mantener una Confiabilidad de 0,95
.....; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.9 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.10 Grafica en Papel de Weibull; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.11 Resultado de los Parámetros de Confiabilidad de Weibull..... ; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.12 Frecuencia de Mantenimiento para Mantener una Confiabilidad de 0,95
.....; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.13 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.14 Grafica en Papel de Weibull; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.15 Resultado de los Parámetros de Confiabilidad de Weibull..... ; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.16 Frecuencia de Mantenimiento para Mantener una Confiabilidad de 0,95
.....; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.17 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.18 Grafica en Papel de Weibull; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.19 Resultado de los Parámetros de Confiabilidad de Weibull..... ; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.20 Frecuencia de Mantenimiento para Mantener una Confiabilidad de 0,95
.....; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.21 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.22 Grafica en Papel de Weibull; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.23 Resultado de los Parámetros de Confiabilidad de Weibull..... ; **Error! Marcador no definido.**

Figura C.24 Frecuencia de Mantenimiento para Mantener una Confiabilidad de 0,95
.....; **Error! Marcador no definido.**

NOMENCLATURA

Ton/H: Toneladas por hora

m: Metro

mm: Milímetro

m/s: Metros por segundo

Kw: Kilovatios

Ton: Tonelada

Ø: Diámetro

DWT: Toneladas de Peso Muerto

m/min: Metros por minuto

rpm: Revoluciones por minuto

KN: Kilo Newton

MTMA: Miles de toneladas métricas anuales

lts/s: Litros por segundo

Km: Kilometro

°C: Grado centígrado

Nm: Newton por metro

I.A: Impacto Ambiental.

TPPR: Tiempo Promedio Para Reparar.

BsF: Bolívares Fuerte

F: Falla

FF: Falla Funcional

MF: Modo de Falla

C.R: Costo de Reparación

H-H: Horas Hombre.

ENT: Equipo Natural de Trabajo.

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Carga de Urea del Muelle Petroquímico de Pequiven, es el encargado de transportar la urea desde la planta de fertilizantes perteneciente a la empresa Fertinitro hasta el atracadero del muelle, donde se cargan los buques de procedencia nacional e internacional. La importancia de este sistema ha venido cobrando fuerza con el pasar de los años, debido a que la crisis alimentaria que vive nuestro país y otras partes del mundo también ha venido aumentando, y es a través de este sistema que se transporta gran parte de la urea que es utilizada como fertilizante en todo el país, siendo esta vital para el desarrollo agroindustrial de la nación.

Es por esto que es importante, principalmente para Pequiven mantener a los equipos del Sistema de Carga de Urea bajo un mantenimiento adecuado, que le permita cumplir con las metas de producción de una manera efectiva y oportuna, y que promueva la implantación y ejecución de estrategias para la solución de problemas, que involucren decisiones en áreas de alto impacto como: seguridad, ambiente, calidad del producto y costo de reparación, donde se reduzca al máximo las pérdidas económicas por demoras en el proceso de carga, ya que el tiempo muerto de los equipos perturba la producción y lleva a una reducción en la satisfacción del cliente.

El presente trabajo tiene como finalidad proponer mejoras al plan de mantenimiento basado en la confiabilidad de los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea del Complejo Petroquímico General de División José Antonio Anzoátegui; esto permitirá mejorar el rendimiento de los activos, reduciendo los costos de producción, además de aumentar la capacidad de crecimiento de alto nivel de la empresa, aumentando la rentabilidad de sus procesos productivos, satisfacción

de los clientes y del personal que labora en la planta, así como la protección al medio ambiente.

El trabajo está conformado por cuatro capítulos cuyo contenido es brevemente descrito a continuación:

En el Capítulo I, se dan a conocer los aspectos generales de la empresa pequiven, su reseña histórica, misión y visión, así como también el problema que justifica el desarrollo de este proyecto, el objetivo general que persigue el mismo, y los objetivos específicos.

En el Capítulo II, Presenta el marco teórico donde se muestran algunos de los antecedentes de este trabajo de grado, así como el fundamento teórico necesario para facilitar el desarrollo de la investigación y la mejor comprensión de los temas involucrados en este estudio.

En el Capítulo III, se expone la metodología empleada en este trabajo de grado, el tipo de investigación que se llevó a cabo, las técnicas de investigación y análisis empleados, la población y muestra y las etapas de la investigación.

En el capítulo IV, se presenta el desarrollo de la investigación, los resultados obtenidos, los análisis de dichos resultados y posteriormente las conclusiones y recomendaciones desprendidas de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA PEQUIVEN

Pequiven, Petroquímica de Venezuela S.A., es la corporación del Estado venezolano encargada de producir y comercializar productos petroquímicos fundamentales con prioridad hacia el mercado nacional y con capacidad de exportación. La empresa propicia la creación de empresas mixtas y de producción social (EPS), estimula el desarrollo agrícola e industrial de las cadenas productivas y promueve el equilibrio social con alta sensibilidad comunitaria y ecológica. Pequiven ofrece al mercado nacional e internacional más de 40 productos petroquímicos. Su visión internacional del negocio y la vinculación con importantes socios en la conformación de las empresas mixtas en la que participa, le ha permitido consolidar una importante presencia en los mercados de la región, así como de otras partes del mundo.

Pequiven, fue creada en 1977 asumiendo las operaciones del Instituto Venezolano de Petroquímica (IVP), fundado en 1955. Desde su transformación, Pequiven ha vivido sucesivas etapas de reestructuración, consolidación y expansión, en las que ha ampliado su campo de operaciones, desarrollando un importante mercado interno y externo para sus productos. La empresa ha orientado su crecimiento en tres líneas específicas de negocios: fertilizantes, productos químicos industriales y olefinas y resinas plásticas.

Mediante decreto Presidencial en el 2.005, Pequiven pasó de ser filial de Petróleos de Venezuela (PDVSA), para convertirse en una corporación independiente, adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Esta independencia le permitirá a la empresa la consolidación de un sector industrial

fortalecido capaz de impulsar las industrias transformadoras del plástico así como al sector agroindustrial y de productos químicos industriales.

1.1.1 Misión y Visión de la Empresa Pequiven

La misión de Pequiven es ser la corporación capaz de transformar a Venezuela en una potencia petroquímica mundial para impulsar su desarrollo, mientras que la visión es producir y comercializar con eficiencia y calidad productos químicos y petroquímicos, en armonía con el ambiente y su entorno, garantizando la atención prioritaria a la demanda nacional, con el fin de impulsar el desarrollo económico y social de Venezuela.

1.1.2 Estructura Empresarial de Pequiven

Para producir y comercializar los productos petroquímicos, Pequiven cuenta con la siguiente estructura empresarial:

- ◆ Tres Complejos Petroquímicos: Morón, Ana María Campos y Jose
- ◆ Una Planta de BTX en la Refinería el Palito, PDVSA
- ◆ Cuatro terminales marítimos
- ◆ Doce empresas mixtas de producción
- ◆ Tres empresas comercializadoras (Copequim, Coramer e IPSL)
- ◆ Una empresa de investigación y desarrollo (Indesca)
- ◆ Una empresa de conservación ambiental (Palmichal)

1.1.3 Complejo Petroquímico Jose

Denominado oficialmente Complejo Petroquímico e Industrial General de División José Antonio Anzoátegui, comúnmente se le conoce como Complejo Jose, se inauguró el 14 de agosto de 1990, con el fin de impulsar el desarrollo de la petroquímica en el Oriente del país y actuar como condominio industrial de las empresas mixtas que operan en el área, mediante el suministro de los servicios

básicos necesarios para su operación. Está ubicado en la autopista de Oriente Rómulo Betancourt, Troncal N° 9, antigua carretera de la Costa, entre la población de Píritu y Puerto Píritu (20 Km.) y las ciudades de Barcelona y Puerto La Cruz (30 Km.), región centro norte costera del Estado Anzoátegui, tiene una superficie de 740 hectáreas donde se han instalado las plantas de las empresas mixtas en las cuales Pequiven tiene participación accionaria. La figura N°1.1 muestra la ubicación geográfica del Complejo Petroquímico Jose.

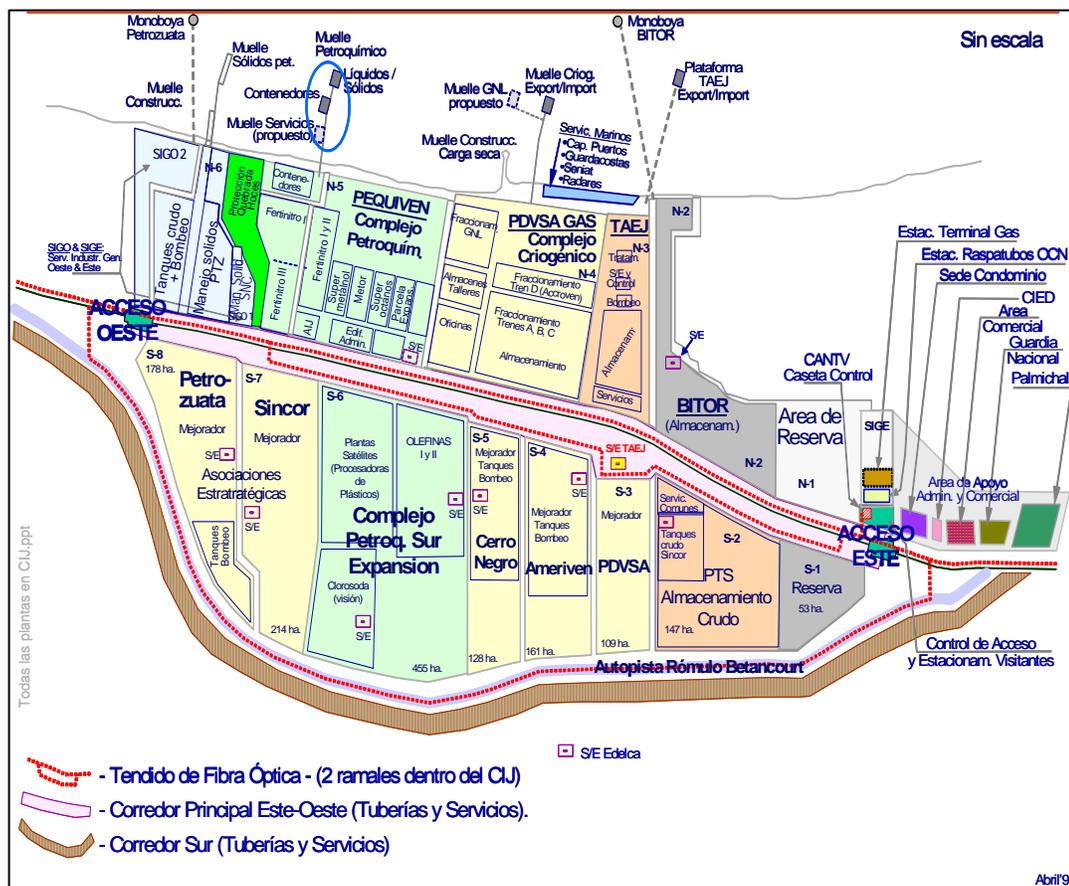


Figura N°1.1 Ubicación Geográfica de Pequiven Jose

Fuente: Pequiven Jose

Las capacidades de las plantas que operan en el Complejo Petroquímico Jose se dan a conocer en la tabla N°1.1

Tabla N°1.1 Plantas que Operan en el Complejo Petroquímico Jose

Fuente: Pequiven-Jose

Empresas Mixtas	Producto Servicio	Capacidad MTMA*
Fertinitro	Amoníaco Urea	1.400 MTMA
Metor	Metanol	760 MTMA
Supermetanol	Metanol	750 MTMA
Súper Octanos	Metil-Terbutil-Éter	660MTMA

*MTMA: Miles de toneladas métricas anuales

Para cumplir con el condominio industrial y brindar los respectivos servicios, Pequiven cuenta con las siguientes instalaciones:

1. Muelle petroquímico.

Este muelle cuenta con las siguientes plataformas:

- ♦ Dos plataformas de líquidos.
- ♦ Una plataforma de sólidos o granel.
- ♦ Una plataforma de contenedores.

2. Planta de Agua.

La planta de agua con una capacidad de producción de hasta 1600 litros por segundo (lts/s), está diseñada para surtir de agua industrial, al sistema contra incendio y consumo humano de todo el complejo petroquímico.

3. Servicios Industriales: Energía y gas.

4. Servicios Generales: Servicio Médico, bomberos y seguridad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Complejo Petroquímico José Antonio Anzoátegui (Jose), es el más moderno de la Petroquímica de Venezuela (Pequiven), situado en el estado Anzoátegui entre Píritu y Barcelona, fue inaugurado el 14 de agosto de 1990, con el fin de impulsar el desarrollo de la Petroquímica en el Oriente del País y actuar como condominio industrial de las empresas mixtas que operan en el área. Pequiven ofrece a sus clientes Energía, Agua, Gas, Servicios Médicos, Bomberos, Comedor Industrial y el Muelle petroquímico; todo ello para satisfacer el condominio industrial.

El Sistema de Carga de Urea, ubicado en el Muelle Petroquímico, está diseñado para transportar urea desde la planta de fertilizantes (Fertinitro) hasta el atracadero, con el fin de cargar las embarcaciones marítimas a una capacidad hasta de 1.000 toneladas por horas (Ton/H). Consta de una Torre de Transferencia N°1, que conecta el Transportador Recolector de entrada con el Transportador Tubular, en el extremo del Transportador Tubular se encuentra la Torre de transferencia N°2 donde comienza la Galería del Transportador elevado con carro deslizante que mueve el punto de transferencia entre la cinta transportadora de la galería y el Cargador de Barcos telescópico de pluma ascendente, esta transferencia de material es posible mediante el Transportador de Enlace.

Pequiven, dentro de sus políticas de mantenimiento tiene previsto no exceder en un 20% los trabajos de mantenimiento correctivo, sin embargo en la actualidad estos se encuentran aproximadamente en un 40%. Esto se debe a las frecuentes fallas que están presentando los equipos, tales como averías en el motor y caja reductora de las cintas transportadoras y del motor del guiche, lo que hace que se pierda el control en la tensión de la cinta tubular, ocasionando desgaste y ruptura de la misma por falta de inspección y sustitución de rodillos, fallas en la cajas reductoras de los tambores motrices de las cintas, entre otros. Esta falta de prevención, se debe en gran parte, a que el plan de mantenimiento actual no está ajustado en su totalidad a las políticas de

la empresa e incluso en muchos casos el recurso en horas hombre dispuesta por la empresa está por debajo de las necesarias para el trabajo de mantenimiento, sumado a esto; los planes actuales tienen más de dos años en ejecución y deben ser actualizados.

La paralización del Sistema de Carga de Urea, implica demoras en la carga de los Buques presentes en el muelle, hecho por el cual Pequiven debe cancelarle a Fertinitro las pérdidas atribuibles a dicho retraso. Según información suministrada por la gerencia de producción y de acuerdo a sus reportes técnicos, en el año 2007 se alcanzó un aproximado de 300 horas, en cuanto a paradas inesperadas se refiere. Estas demoras le cuestan a Pequiven entre 25.000 y 45.000 Dólares por cada 24 horas de paralización dependiendo de la embarcación.

Debido a lo antes descrito se plantea mejorar el plan de mantenimiento existente para el sistema de carga de urea, utilizando como base la confiabilidad de los equipos críticos, empleando como herramienta técnica el Análisis de Criticidad, donde se tomó en cuenta el impacto que generan los eventos de fallas sobre las operaciones, mantenimiento, producción, ambiente, seguridad, etc. Posterior a esto se identificó los diferentes tipos de fallas asociadas a los equipos que resultaron críticos y por último se procedió a estimar las frecuencias de mantenimiento de dichos equipos utilizando herramientas automatizadas.

El desarrollo de este trabajo, no solo busca garantizar la máxima eficiencia en el proceso productivo, para reducir al máximo las pérdidas por causas de demoras en el sistema, sino que adicionalmente, busca satisfacer totalmente las necesidades de sus clientes y del personal que labora en esta empresa, además de no producir impacto en la seguridad y el ambiente, ya que Pequiven como empresa estratégica del Estado, debe mantenerse siempre como un instrumento activo que fomente el desarrollo agrícola del País.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Mejorar el plan mantenimiento basado en la confiabilidad de los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea del Complejo Petroquímico General de División José Antonio Anzoátegui.

1.3.2 Específicos

1. Definir el contexto operacional en el cual se desempeñan los equipos presentes en el Sistema de Carga de Urea.
2. Realizar un Análisis de Criticidad a los equipos que conforman el Sistema de Carga de Urea.
3. Realizar un Análisis de Modos y Efectos de Falla a los equipos Críticos del Sistema de carga de Urea.
4. Jerarquizar los Modos de Falla en función del impacto que generan dentro del contexto operacional.
5. Estimar las frecuencias de mantenimiento para los equipos seleccionados, utilizando herramientas automatizadas.
6. Proponer los planes de mantenimiento actualizados que garanticen la máxima rentabilidad de los procesos productivos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Toda búsqueda para lograr solucionar un problema, debe fundamentarse en otras investigaciones previamente realizadas en el ámbito del mismo. En el área de mantenimiento se han desarrollado hasta la fecha diversos trabajos, los cuales hacen referencia al mejoramiento de planes de mantenimiento basado en la confiabilidad y a la importancia que estos representan para lograr el mejor desempeño y funcionamiento de los equipos, orientados a mejorar la disponibilidad de los equipos dentro de cualquier proceso.

Entre los trabajos desarrollados recientemente y que sirvieron de base a este estudio se encuentran:

- ❖ **ARENAS, Karina (2005).** Realizó un estudio para identificar el origen de las fallas que se presentan en las cabrias de perforación, de los taladros que están a cargo de la Gerencia de Mantenimiento y Logística de Perforación Oriente. El estudio se llevó a cabo mediante un análisis de criticidad, un análisis de causa-efecto y un análisis de esfuerzo a través del programa computacional SAP 2.000. Por medio del análisis de criticidad se establecieron las fallas que tienen mayor impacto en las actividades de mantenimiento; con el diagrama causa-efecto se identificó las causas de dichas fallas y por último con la simulación se logró crear un modelo representativo de la cabria del taladro CPV-15. Entre los resultados más resaltantes se puede mencionar el establecimiento de una metodología para la reparación de los miembros dañados con la finalidad de disminuir la ocurrencia de falla [1].

- ❖ **RAMOS, Raúl (2004).** Realizó un trabajo cuyo objetivo principal fue diseñar un plan de mantenimiento preventivo a la línea de producto retornable de Coca-Cola FENSA, planta Barcelona, para garantizar el funcionamiento al costo más bajo posible, sin contar con un historial de falla que permitiera elaborar el programa de mantenimiento requerido. Se utilizó la filosofía de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para el cual se realizó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas. El logro más importante en este proyecto fue el de convertir un sistema en donde el mantenimiento correctivo era el de mayor presencia, a uno donde el mantenimiento preventivo ocupa el primer lugar en la distribución del mantenimiento [2].

- ❖ **JIMENES, Gheidy y C. Nerio (2002).** Analizaron el historial de funcionamiento de cada equipo rotativo asignado al área de mantenimiento de la planta de extracción San Joaquín PDVSA GAS, se aplicaron los modelos matemáticos pertinentes para hallar los parámetros de mantenimiento, asociados al banco de datos disponible. Mediante un Análisis de Criticidad se determinaron cinco equipos críticos, los cuales se encontraban en diferentes etapas del proceso productivo, por ello se seleccionó una etapa crítica, para los cuales se diseñaron los programas de mantenimiento dirigidos a mejorar la disponibilidad y otros indicadores en un 25%. Entre los resultados más importantes que se pudieron obtener de esta investigación, se encuentra la confirmación de la rentabilidad del proceso productivo, luego de realizar una evaluación económica posterior a la aplicación de los nuevos programas de mantenimiento, a demás de que con esto se crea una estructura que facilita la toma de decisiones a la hora de invertir recurso en el mantenimiento preventivo de las instalaciones [3].

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Conceptos y Principios Básicos

2.2.1.1 Mantenimiento

Según D. Suárez (2001), es el conjunto de actividades que permiten Mantener un equipo o sistema en condición operativa, de forma tal que cumplan las funciones para las cuales fueron diseñadas y designadas a restablecer dicha condición cuando esta se pierde [4].

2.2.1.2 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es aquel que consiste en un grupo de tareas planificadas que se ejecutan periódicamente, con el objetivo de garantizar que los activos cumplan con las funciones requeridas durante su ciclo de vida útil [5].

2.2.1.3 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto [6].

2.2.1.4 Planificación del Mantenimiento

La Planificación del Mantenimiento, es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, con una frecuencia específica y dinámica que permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización [4].

2.2.1.5 Frecuencias de Mantenimiento

Es el tiempo transcurrido entre dos inspecciones o intervenciones del mismo elemento de un equipo.

2.2.2 Confiabilidad Operacional

Es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. Es importante puntualizar que en un programa de mejoras de Confiabilidad Operacional, es necesario el análisis de los siguientes cuatro parámetros: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad de los equipos y la confiabilidad de los equipos como se muestra en la figura N° 2.1 [7].

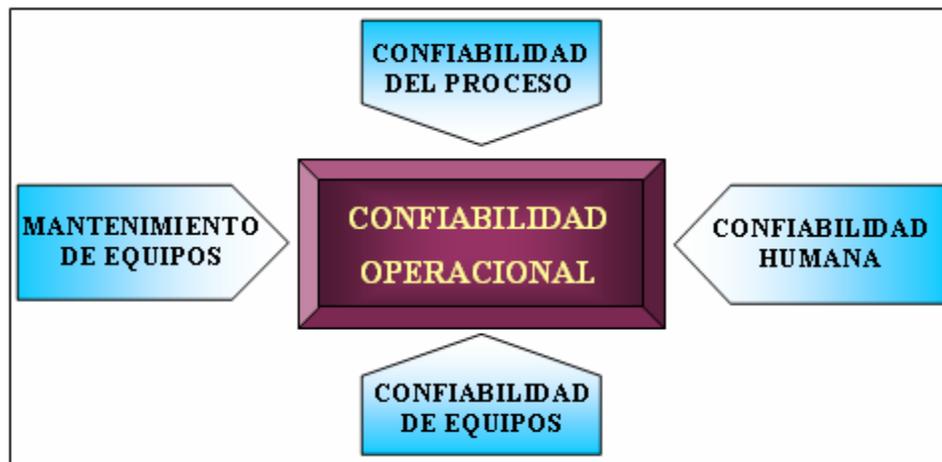


Figura N° 2.1 Aspectos de la Confiabilidad Operacional.

Fuente: L. Montaña 2006

2.2.3 Equipo Natural de Trabajo (ENT)

Para la realización de un proyecto generalmente se integran grupos de trabajo, comisiones o equipos, conjunto de personas de diferentes funciones de la organización, que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común[9].

El equipo natural de trabajo es un grupo multidisciplinario de personas que pertenecen a una organización y trabaja en conjunto, durante un periodo de tiempo

determinado para solucionar problemas específicos, con ayuda del valor agregado que suministra cada miembro de un área específica, para mejorar la gestión a corto plazo. Hay que integrar las competencias: conocimientos, habilidades, actitudes y cualidades personales de todos o de algunos de los miembros y un liderazgo confiable para el análisis y resolución de las posibles situaciones a presentarse dentro del ambiente de trabajo. La figura 2.2 muestra la representación de un Equipo Natural de Trabajo.

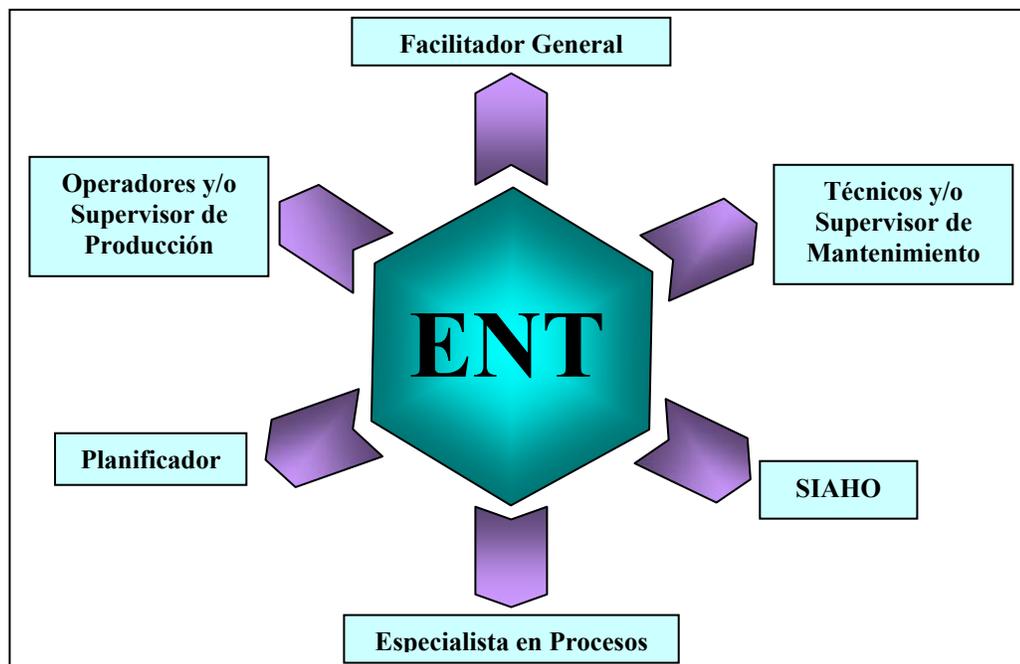


Figura 2.2 Equipo Natural de Trabajo típico

Fuente: SUÁREZ, Diógenes 2007

A continuación se explica el rol que cumple cada integrante del ENT.

❖ **El facilitador General**

El facilitador general juega un papel importante en el ENT, su rol es asegurar que todos los integrantes del grupo entiendan correctamente el trabajo a realizarse, y que a la vez consigan un grado razonable de consenso general acerca de cuáles son las

medidas a tomar en la solución del problema, que no se ignore componentes o equipos críticos y que las reuniones progresen de forma razonable.

❖ **Operadores y/o Supervisor de Producción**

Son los encargados de aportar conocimiento sobre el efecto y las consecuencias de las fallas.

❖ **Técnicos y/o Supervisor de mantenimiento**

Se encargan de aportar el conocimiento sobre las causas de las fallas y las maneras de evitarlas.

❖ **Especialistas en Procesos**

Participan para resolver las controversias en las reuniones del ENT con respecto a las particularidades del proceso, ya sea un sistema o equipo estudiado.

❖ **SIAHO**

Se encargan de informar sobre el impacto en seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional, que puede llegar a ocasionar la ocurrencia de una falla.

❖ **Planificador**

Se encarga de incorporar las actividades de mantenimiento que minimizan la ocurrencia de las fallas en el programa de mantenimiento, con su frecuencia correspondiente [5].

2.2.4 Contexto Operacional

Es un documento que se realiza muy cuidadosamente ya que de él dependerá la ejecución del Análisis de Modos y Efectos de Falla, el mismo debe contener una descripción detallada de la instalación que va a ser analizada, en él se refleja el

propósito del equipo o sistema, descripción de equipos y procesos, dispositivos de seguridad, metas de seguridad ambiental y operacional, volumen de producción, calidad, servicio, planes a futuro, personal, turnos de trabajo, operaciones, mantenimiento, gerencia, límites del sistema y un listado de componentes de cada sistema (en caso de que haya una división del sistema en varios subsistemas), incluyendo dispositivos de seguridad e indicadores [14].

2.2.5 Análisis de Criticidad (A.C.)

El Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual.

Para realizar un Análisis de Criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis. [10]

. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para:

- ✓ Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- ✓ Priorizar proyectos de inversión.
- ✓ Diseñar políticas de mantenimiento.
- ✓ Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- ✓ Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

El Análisis de Criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su

impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos: mantenimiento, inspección, materiales, disponibilidad de planta, personal [14].

2.2.5.1 Metodología Impacto – Esfuerzo de Análisis de Criticidad

La metodología Impacto – Esfuerzo es una herramienta que permite priorizar sistemas, con el fin de orientar las acciones de mantenimiento hacia el sistema que obtenga la prioridad más alta. La prioridad, en esta metodología es asignada según la combinación de los valores de Impacto y de Esfuerzo. El Impacto es evaluado con la ayuda de la ecuación 2.1:

$$\text{Impacto} = (\% \text{ P.A} \times \text{TPPR} \times \text{I.P}) + \text{C.R} + \text{I.S} + \text{I.A} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

P.A: % de Procesamiento Afectado.

C.R: Costos de Reparación

TPPR: Tiempo Promedio Para Reparar.

I.S: Impacto en Seguridad

I.P: Impacto en Producción.

I.A: Impacto Ambiental

Los valores numéricos de los factores que integran la ecuación de Impacto, se obtienen de la Guía de Impacto (tabla 2.1), luego de obtenido el valor de Impacto este es clasificado en Bajo, Medio, o Alto impacto asignándosele los números 1, 3 y 5 respectivamente según el rango en el que se encuentre la evaluación de impacto hecha por la ecuación. (Ver tabla 2.2).

El valor de Esfuerzo se obtiene de la tabla 2.3, y también se clasifica en Esfuerzo Fácil, Moderado, o Difícil, asignándoseles los números 1, 3 y 5 respectivamente.

Tabla N°2.1 Guía de Impacto
Fuente: Confima & Consultores

GUÍA DE IMPACTO	
1. Porcentaje de procesamiento afectado	Puntaje
Materia Prima	
$0 \leq \% \leq 10$	1
$10 < \% \leq 20$	2
$20 < \% \leq 35$	4
$35 < \% \leq 50$	6
$50 < \% \leq 70$	9
$70 < \% \leq 100$	12
2. Tiempo Promedio Para Reparar (TPPR)	
Menor a 4 Horas	1
$4 < \text{horas} \leq 8$	2
$8 < \text{horas} \leq 24$	4
Más de 24 horas	6
3. Impacto en la Producción (Por falla)	
No Afecta producción	0,05
25 % de impacto	0,3
50 % de impacto	0,5
75 % de impacto	0,8
La impacta totalmente	1
4. Costo de Reparación	
Menos de 8.000 Bs.F.	3
$8.000 \leq \text{Bs.F.} \leq 15.000$	5
$25.000 \text{ Bs.F.} \leq 35.000$	10
Más de 35.000 Bs.F.	25
5. Impacto en Seguridad	
Alto	35
Medio	25
Bajo	0
6. Impacto Ambiental	
Alto	30
Medio	15
Bajo	0

Tabla N°2.2 Criterios de Evaluación del Impacto.
Fuente: Confima & Consultores

Evaluación Obtenida	Clasificación del Impacto		Escala
	Bajo ($3 \leq \text{Ponderación total} \leq 32$)		1
	Medio ($32 \leq \text{Ponderación total} \leq 97$)		3
	Alto ($97 \leq \text{Ponderación total} \leq 162$)		5

Tabla N°2.3 Criterios de evaluación del Esfuerzo
Fuente: Confima & Consultores

Esfuerzo	Escala
Solución directa. Se dispone de recursos propios (Humano, material y repuesto)	1
Se identificaron alternativas de solución, sin embargo no se dispone del 100 % de los recursos para ejecutar la actividad	3
Se requiere de la intervención de especialista externos o recursos no disponibles	5

La clasificación de la prioridad se obtiene de la Matriz de Prioridades (ver figuras 2.3 y 2.4), en donde la combinación de un Impacto Alto (5), con un Esfuerzo Fácil (1), tiene la prioridad 1, y la combinación de un Impacto Bajo (1), con un Esfuerzo Difícil (5), tiene la última prioridad (9).

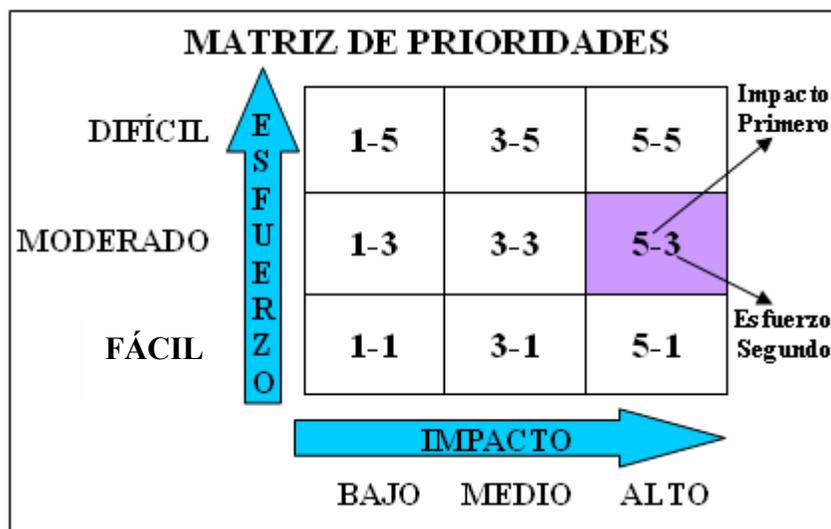


Figura N°2.3 Matriz de Prioridades.

Fuente: Confima & Consultores

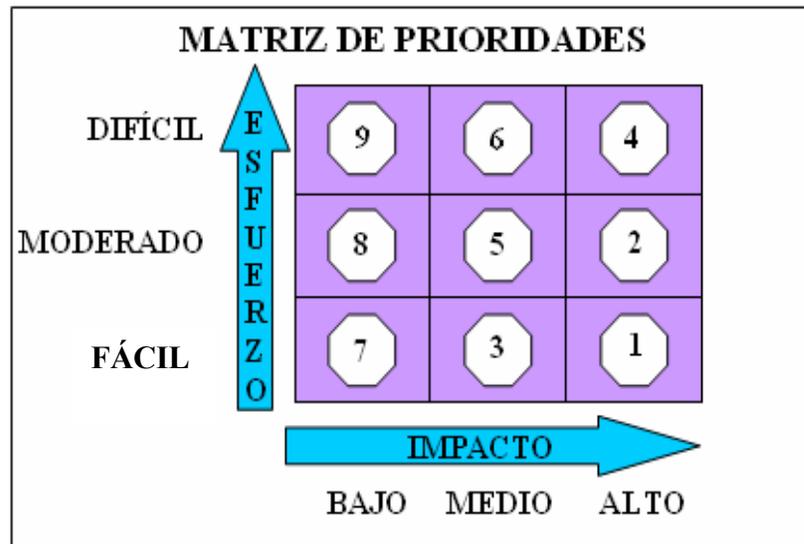


Figura N°2.4 Prioridades según la Matriz de Prioridades.

Fuente: Confima & Consultores

2.2.5.2 Metodología D.S. sobre Análisis de Criticidad

La Metodología D.S. de análisis de criticidad, es una herramienta que permite establecer la jerarquía de sistemas o equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones, orientando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar, basado en la realidad actual.

El objetivo de esta metodología va dirigido a ofrecer una herramienta que ayude en la determinación de la jerarquía de sistemas y equipos de una planta, que permita manejarla de manera controlada y en orden de prioridades [14]. En la figura 2.5 se muestran los parámetros tomados en cuenta en la metodología D.S. para el análisis de criticidad.

Hay que destacar que para cada parámetro están dadas una serie de factores predeterminados por el método D.S. que pueden señalar el estado actual de la empresa tanto en el área de mantenimiento como en el operacional, cada factor está ponderado de manera tal que arroja un valor que va del 1 al 3 de acuerdo al nivel de

gravedad que este parámetro en específico presente, 1 para el menos grave y 3 para el más grave.

Hecho el análisis a cada parámetro, se suman las ponderaciones resultantes obteniendo un total por cada área y se introducen en la ecuación 2.2 que se utiliza para calcular la criticidad del equipo. La matriz es flexible por cuanto se pueden incluir o quitar parámetros, en dependencia del contexto operacional a evaluar [14].

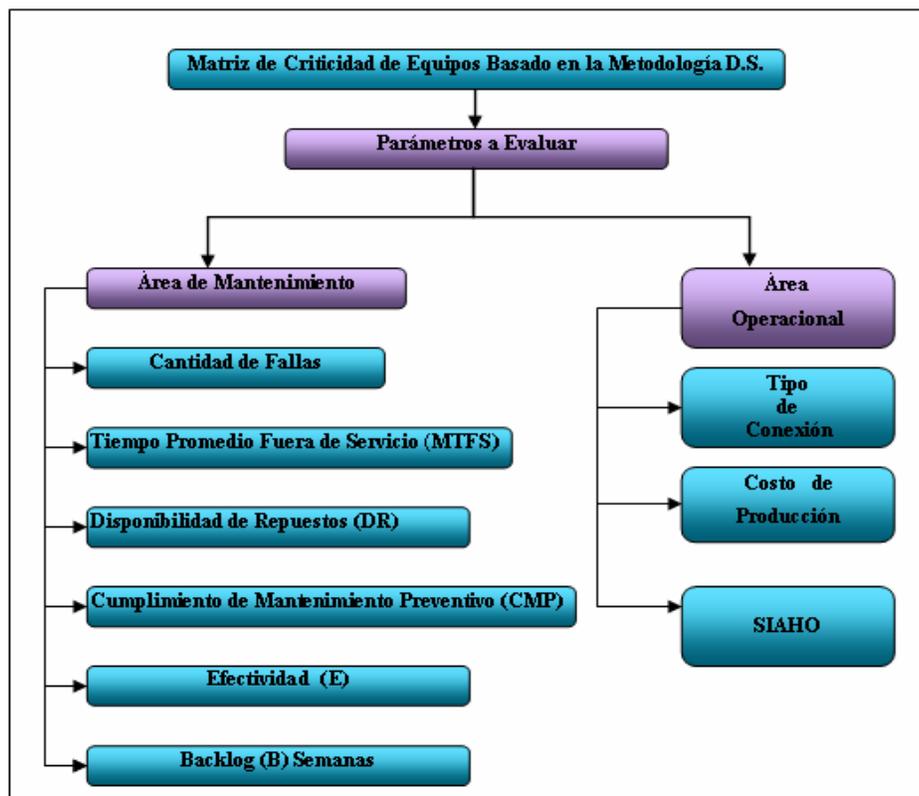


Figura N°2.5 Parámetros utilizados por la metodología de análisis de criticidad D.S.

Fuente: SUÁREZ, Diógenes 2007.

A continuación en la tabla 2.4 se muestran la matriz de criticidad y las ponderaciones de cada uno de los parámetros utilizados.

Tabla 2.4. Matriz de Criticidad D.S.

Fuente: SUÁREZ, Diógenes 2007.

	Equipo:	Sistema:		Realizado:		
	Código:	Evento de control:				
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Elegido	Puntos
		Rotativo	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	F= 1	0<F<1	1		
	1b)	1<F<12	1<F<3	2		
	1c)	F≥12	F≥3	3		
2) Tiempo Promedio fuera de servicio en el periodo evaluado (MTFS) en horas	2a)	TPFS ≤ 4		1		
	2b)	4 < TPFS < 8		2		
	2c)	TPFS ≥ 8		3		
3) Disponibilidad de repuestos en el periodo evaluado(DR)	3a)	DR ≥80%		1		
	3b)	50 ≤ DR < 80%		2		
	3c)	DR < 50%		3		
4)Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP)	4a)	75% ≤ CMP ≤ 100%		1		
	4b)	50% ≤ CMP < 75%		2		
	4c)	0% ≤ CMP < 50%		3		
5)Efectividad (E)	5a)	E ≥ 80%		1		
	5b)	50 ≤ E < 80%		2		
	5c)	E < 50%		3		
6) Backlog (B) Semanas	6a)	0 ≤ B ≤ 2		1		
	6b)	2 ≤ CMP ≤ 5		2		
	6c)	B >5		3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento (ΣA.M.)						
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Elegido	Puntos
7) Tipo de conexión	7a)	Sistema Paralelo		1		
	7b)	Sistema Combinación		2		
	7c)	Sistema Serie		3		
8) Seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional (SIAHO)	8a)	Sin Consecuencias		1		
	8b)	Efecto Temporal		2		
	8c)	Efecto Permanente		3		
9) Costos de Producción	9a)	Igual a la meta		1		
	9b)	Menor a la meta		2		
	9c)	Mayor a la meta		3		
Total puntos obtenidos en el área operacional (ΣA.O.)						
% Criticidad del equipo = [K1 * (ΣA.M.) + K2 * (ΣA.O.)] x 100						

Una vez evaluados los parámetros y obtenidos los puntos por cada criterio, los mismos son evaluados en la ecuación 2.2 para el cálculo de la criticidad.

$$\text{Criticidad del equipo} = [K_1 * (\Sigma A.M.) + K_2 * (\Sigma A.O.)] \times 100 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

$\Sigma A.M.$: Sumatoria de los puntos del área de mantenimiento.

$\Sigma A.O.$: Sumatoria de los puntos del área de operaciones.

K_1 : 0,0278; Constante del área de mantenimiento.

K_2 : 0,0555; Constante del área operacional.

La constante K_1 , varía si la cantidad de parámetros del área de mantenimiento aumenta o disminuye, de igual modo sucede con la constante K_2 pero relacionado con los parámetros del área de operaciones, esto dado a que dichas constantes garantizan que el resultado obtenido mediante la ecuación 2.1 no exceda el 100%.

Después de obtener dicho resultado se establece que equipo es crítico dependiendo de la siguiente consideración como se observan a manera de ejemplo en la tabla 2.2 ya que los rangos mostrados en la mencionada tabla pueden también ser modificados a conveniencia de la organización, a fin de adaptarlos a sus particularidades y requerimientos.

Tabla N°2.5 Parámetros para definir la criticidad de un equipo.

Fuente: SUÁREZ, Diógenes 2007.

PARÁMETROS PARA ESTABLECER CRITICIDAD
No crítico ($32 \leq \% \text{ Criticidad} < 50$)
Semi-crítico ($50 \leq \% \text{ Criticidad} < 70$)
Crítico ($\% \text{ Criticidad} \geq 70$)

2.2.5.3 Metodología Utilizada en PDVSA E & P Occidente

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde la frecuencia esta asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 2.6. El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. [8]



Figura 2.6 Modelo Básico de Análisis de Criticidad
Fuente: R. Huerta 2008

La tabla 2.6 muestra el modelo estándar de encuesta, utilizado en PDVSA E & P Occidente para establecer la criticidad de sus sistemas.

Tabla N° 2.6 Modelo de Encuesta Utilizado en PDVSA E & P Occidente
Fuente: R. Huerta 2008

Matriz de Criticidad	
Encuestado:	Cargo:
Equipo:	Fecha:
1. Frecuencia de falla (todo tipo de falla)	2. Tiempo promedio para reparar. MTTR
No más de 1 por año	Menos de 4 horas
Entre 2 y 15 por año	Entre 4 y 8 horas
Entre 16 y 30 por año	Entre 8 y 24 horas
Entre 31 y 50 por año	Entre 24 y 48 horas
Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	Más de 48 horas
3. Impacto sobre la producción	4. Costo de reparación (BsF.)
No afecta la producción	Menos de 2.000
25% de impacto	Entre 2.000 y 20.000
50% de impacto	Entre 20.000 y 50.000
75% de impacto	Más de 50.000
La afecta totalmente	
5. Impacto Ambiental	
No origina ningún impacto ambiental	
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta	
Contaminación ambiental moderada, no extralimita lo permitido para la planta	
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos de sanción	
6. Impacto en la Salud y Seguridad Personal	
No origina heridas ni lesiones	
Puede ocasionar heridas o lesiones leves no incapacitantes	
Puede ocasionar heridas o lesiones graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días.	
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente.	
7. Impacto en la satisfacción al cliente (Perdidas por Demoras)	
Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 4.000\$	
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 4.000\$ y menores de 20.000\$	
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 20.000\$ y menores de 50.000\$	
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores que 50.000\$	

La tabla 2.7 muestra un estándar PDVSA, para dar la puntuación a cada uno de los criterios empleados en el análisis de criticidad

Tabla N° 2.7 Ponderación estándar de PDVSA para los Criterios en Estudio
Fuente: R. Huerta 2008

Ponderaciones de los parámetros para el Análisis	
1. FRECUENCIA DE LA FALLA (todo tipo de falla)	Puntaje
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 15 por año	2
Entre 16 y 30 por año	3
Entre 31 y 50 por año	4
Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	5
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	Puntaje
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	3
Entre 24 y 48 horas	4
Más de 48 horas	5
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (Por el numero de fallas al año)	Puntaje
No afecta la producción	0,05F
25% de impacto	0,3F
50% de impacto	0,5F
75% de impacto	0,8F
La afecta totalmente	1F
4. COSTOS DE REPARACIÓN	Puntaje
Menos de 2.000	3
Entre 2.000 y 20.000	5
Entre 20.000 y 50.000	10
Más de 50.000	25
5. IMPACTO AMBIENTAL	Puntaje
No origina ningún impacto ambiental	0
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta	5
Contaminación ambiental moderada, no extralimita lo permitido para la planta	10
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos de sanción	25
6. IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	Puntaje
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar heridas o lesiones leves no incapacitantes	5
Puede ocasionar heridas o lesiones graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días.	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente.	25
7. Impacto en la satisfacción al cliente (Perdidas por Demoras)	
Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 4.000\$	0
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 4.000\$ y menores de 20.000\$	5
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 20.000 y menores de 50.000\$	10
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores que 50.000\$	20

Finalmente la ecuación 2.3 de criticidad queda establecida como:

Criticidad = frecuencia de falla × consecuencia

Siendo: consecuencia = a+b

a = costo reparación + impacto seguridad personal + impacto ambiental + impacto satisfacción cliente.

b = impacto en la producción × Tiempo promedio para reparar MTTR

2.2.6 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Es un proceso sistemático para identificar fallas potenciales de proceso antes de que estas ocurran, con la intención de minimizar los riesgos asociados con ellas. El AMEF documenta las acciones preventivas y la revisión del proceso, facilitando la detección de acciones para reducir el riesgo asociado a una “FALLA”.

Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, entre los aspectos generales de éste tenemos:

- ❖ **Falla:** Cualquier evento o situación que impide el cumplimiento de un propósito preestablecido en un activo.
- ❖ **Causa de la Falla:** La norma lo define como “La circunstancia durante el diseño, la manufactura o el uso que conlleva a una falla (ISO 14224)”.
- ❖ **Modo de falla:** Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso). Los modos de fallas pueden ser definidos para cualquier tipo de activo, desde un nivel muy general, hasta uno muy particular.
- ❖ **Efecto de falla:** Describe las consecuencias de la ocurrencia de la falla que se está analizando. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación del activo, incluye impacto en la seguridad, higiene, económico y operacional de la falla.

❖ **Falla Funcional:** Se define como el incumplimiento de una función, esta puede ser parcial o total. La falla funcional total es aquella en la que se evidencia una imposibilidad absoluta de cumplir la función principal del activo mientras que en la falla funcional parcial, la función se cumple pero no de forma total [18].

- ♦ Al considerar donde obtener la información necesaria para armar un AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) completo, se debe recordar ser proactivo, esto significa, que debe darse tanto énfasis en lo que podría ocurrir como en lo que ha ocurrido.

La información generada en el AMEF se registra en un formato modelo, diseñado para activos de subsuelo. Este formato se presenta a continuación en la figura N°2.7 [11]:

		Equipo :	Realizado Por :	Fecha:	Hoja N°
		Sistema :	Revisado Por :	Fecha:	De:
Función	Falla Funcional	Modo de Falla (¿Que causa la falla?)		Efecto de falla (¿Que ocurre cuando falla?)	
1	A	1			

Número Correspondiente a la Función

Letra correspondiente a la Falla Funcional

Número Correspondiente al Modo de Falla

Figura N°2.7 Formato AMEF

Fuente: Fuente: Confima & Consultores

2.2.7 Jerarquización de los Modos De Fallas

Esta metodología, permite obtener una estructura jerarquizada de los modos de falla en base a la criticidad, en función del impacto global que estos generan dentro del contexto operacional de los equipos. La aplicación de esta herramienta permite dirigir el esfuerzo y los recursos, a aquellos trabajos de mantenimiento destinados a mitigar las diferentes fallas en un orden de prioridades [11].

Para la determinación de la jerarquía de los modos de falla, se realiza el estudio en base a tres factores que indican el alcance de los modos de falla, los cuales son:

- ❖ Factor de Frecuencia de Falla.
- ❖ Factor de Impacto en la Producción
- ❖ Factor de Impacto en la Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional (SIAHO).

En la tabla 2.8 se muestra las ponderaciones del factor de Modo de Falla de falla, donde dichas ponderaciones corresponden a la frecuencia del modo de falla, en una escala que va del 1 al 5; 1 para bajas frecuencias de falla y 5 para altas frecuencias de falla.

Por su parte la tabla 2.9 muestra las ponderaciones del factor de impacto en la producción, en una escala que va del 1 al 5; en este caso el nivel de impacto lo define el alcance que tiene cada modo de falla en la producción.

En la tabla 2.10 se muestran las ponderaciones del Factor de Impacto en la Seguridad Industrial, Ambiente e Higiene Ocupacional, en una escala que va del 1 al 5; en este caso el nivel de impacto lo define el alcance que tiene cada modo de falla en el SIAHO.

Tabla N°2.8 Ponderaciones del Factor de Modo de Falla

Fuente: C. Parra y A. Crespo

FACTOR DE MODO DE FALLA			
Modo de Falla		Alcance	Escala
a)	0 Frecuencia \leq 5 años	La frecuencia del modo de falla es mayor o igual a cinco años.	1
b)	3 años < Frecuencia < 5 años	La frecuencia del modo de falla se encuentra en un rango de tiempo mayor de tres años y menor de cinco años.	2
c)	1 año < Frecuencia \leq 3 años	La frecuencia del modo de falla se encuentra en un rango de tiempo mayor de un año y menor igual de tres años.	3
d)	4 Meses \leq Frecuencia \leq 1 año	La frecuencia del modo de falla se encuentra en un rango de tiempo mayor de cuatro meses y menor o igual de un año.	4
e)	Más de 3 Modos de Falla en 1 año Frecuencia < 4 Meses	La frecuencia del Modo de falla es menor de cuatro meses.	5

Tabla N°2.9 Ponderaciones del Factor de Impacto en la Producción

Fuente: C. Parra y A. Crespo

FACTOR DE IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN			
Impacto en la Producción		Alcance	Escala
a)	Pérdida menor de productividad	El modo de falla no causa pérdidas de producción significativa para la empresa.	1
b)	Pérdida de producción 25%	El modo de falla causa una pérdida de producción de 25%.	2
c)	Pérdida de producción 50%	El modo de falla causa una pérdida de producción de 50%.	3
d)	Pérdida de Producción 75%	El modo de falla causa una pérdida de producción de 75%.	4
e)	Daños irreversibles al sistema	El modo de falla causa daños irreversibles al sistema, el cual afecta la producción totalmente.	5

Tabla N°2.10 Ponderaciones del Factor de Impacto en el SIAHO

Fuente: C. Parra y A. Crespo

FACTOR DE IMPACTO EN EL SIAHO			
Evento Causado por el Modo de Falla		Alcance	Escala
a)	Incidente	El modo de falla podría afectar la eficiencia del proceso, sin embargo no causa daños a los trabajadores ni al medio ambiente.	1
b)	Accidente ambiental reportable /Lesión menor	<ul style="list-style-type: none"> ◆ El modo de falla causa leves daños al ambiente, los cuales son aliviados antes de causar daños mayores. ◆ El modo de falla origina lesiones que no causan ninguna incapacidad pero amerita asistencia médica. 	2
c)	Incendio localizado	El modo de falla causa incendio, el cual puede ser extinguido antes de que cause daños mayores a la planta, personas o ambiente.	3
d)	Incendio / Lesión incapacitante / área sensible al ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ◆ El modo de falla causa la emisión de agentes contaminantes, así como incendios en áreas sensibles al ambiente, dañándolo considerablemente. ◆ Este modo de falla es capaz de causar, incapacidad total permanente, incapacidad parcial permanente o incapacidad total temporal. 	4
e)	Explosión / Muerte	El modo de falla origina explosiones causantes de muerte.	5

La criticidad en esta metodología, es asignada según la combinación de las ponderaciones establecidas para cada factor, evaluadas en una matriz de

jerarquización de modos de falla 5 x 5, como la que se muestra en la figura N°2.8. El eje horizontal indica las cinco escalas del Factor de Modo de Fallas, mientras que el eje vertical muestra las cinco escalas del Factor de Impacto en el SIAHO y el Factor de Impacto en la Producción; en este caso se escoge el valor más alto entre estos dos factores.

La matriz está dividida en cuatro zonas para indicar la criticidad de los modos de falla, las cuales son: baja jerarquía, media jerarquía, alta jerarquía y muy alta jerarquía. [11]

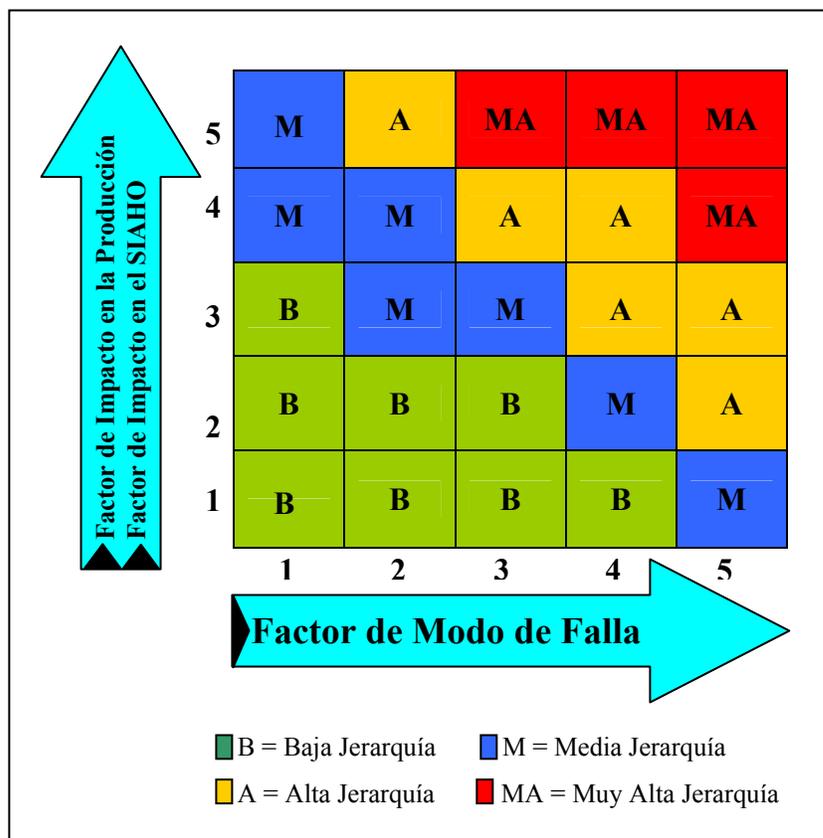


Figura N°2.8 Matriz de Jerarquización de Modos de Falla.

Fuente: C. Parra y A. Crespo

2.2.8 Distribuciones de Probabilidad

Las Distribuciones de Probabilidad son modelos que describen la forma en que se espera que varíen los resultados o probables valores de una variable aleatoria. Tradicionalmente se clasifica a las distribuciones de probabilidad en dos grandes familias: Distribuciones Paramétricas y Distribuciones No Paramétricas.

2.2.8.1 Distribuciones Paramétricas

Una distribución de probabilidad paramétrica, es una función matemática teórica, que describe la forma en que se espera que varíen los resultados de un experimento, es decir, una función matemática que relaciona los diversos probables valores que puede tomar una variable aleatoria, con la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos. Algunas de las distribuciones de probabilidad paramétricas más usadas para variables aleatorias continuas son las siguientes: Distribución Normal, Distribución Log-normal, Distribución Exponencial, Distribución Weibull, Distribución Beta, Distribución Gamma, Distribución Triangular, Distribución Uniforme.

❖ Distribución Weibull

Fue establecida por el físico suizo Walodi Weibull, quien demostró que el esfuerzo al que se someten los materiales puede modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. También se ha usado para modelar situaciones del tipo tiempo - falla, para estimar la confiabilidad de un componente. El análisis de Weibull, es la técnica mayormente elegida para estimar probabilidad, basada en datos medidos o asumidos. Es compleja y se usa cuando se sabe de antemano que se han producido muchas fallas (al menos 5) y los tiempos correspondientes no se ajustan a una distribución más simple. En general es de gran aplicación en el campo de la mecánica.

2.2.8.2 Distribuciones No Paramétricas

Son esencialmente modelos gráficos, que representan un grupo particular de observaciones de una variable aleatoria (la que puede tomar un conjunto de valores cada uno de los cuales tiene una probabilidad de ocurrencia) y que relacionan los diversos valores de la variable que se analiza, con su probabilidad de ocurrencia. Las Distribuciones No Paramétricas son el objeto de estudio de un campo especial de la Estadística conocido como “Estadística No Paramétrica”.

2.2.9 Indicadores de Efectividad en el Mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento en general, son una muestra de como se comporta un proceso en particular. De esta manera, se puede retroalimentar el sistema de información para establecer los procedimientos de control, corregir posibles desviaciones, reducir costos de gestión y reorientar el proceso hacia la visión deseada.

Los indicadores de efectividad permiten ver el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos y/o dispositivos, además mide la calidad de los trabajos y el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento. Estos indicadores son:

2.2.9.1 Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF)

El tiempo promedio entre fallas o Mean Time Between Failures (MTBF) por sus siglas en inglés, indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “falla”. También se puede decir que es el que mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado de estudio (Tiempo de buen funcionamiento). Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la confiabilidad lo constituye el TPEF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador que represente de alguna

manera el comportamiento de un equipo específico. Su relación se encuentra en que mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información tomada del campo y el parámetro del Tiempo Entre Fallas (TEF).

$$TPEF = \sum_{i=1}^n \frac{TEFi}{n} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

TEF: Tiempo entre Falla

n: Número de fallas

2.2.9.2 Confiabilidad

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema, equipo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un periodo o intervalo de tiempo dado $[0, t]$, bajo condiciones de operaciones previamente definidas y constantes. [9]

Para llevar a cabo el estudio de esta probabilidad, se toman datos y parámetros que afectan directamente la confiabilidad, como lo son: el ambiente, la temperatura y presiones, entre otros que influyen en el sistema. Sin embargo, la teoría que aplica la confiabilidad como una herramienta para el buen desempeño de los activos, se ocupa principalmente de las fallas de los sistemas, no obstante, no indaga tanto en los fenómenos que las causan como en la frecuencia con que ocurren. No es una teoría física de las fallas, sino una teoría estadística, por lo que los datos que se toman para el análisis, son principalmente los “tiempos” relacionados con el activo, los cuales juegan un papel fundamental. Existen varias fórmulas para calcular la confiabilidad, y va depender especialmente del método estadístico que mejor se adapte a los tiempos

encontrados en el estudio. Para este caso se utilizó el modelo paramétrico basado en la distribución de Weibull con la siguiente fórmula:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Donde:

$R(t)$ = Confiabilidad

η = Parámetro de Escala

γ = Parámetro de Posición

β = Parámetro de Forma

t = Tiempo a la cual se proyecta la confiabilidad.

El estudio de la confiabilidad se complementa con las siguientes ecuaciones de la distribución de Weibull: [10]

❖ **Función Acumulativa de Distribución de Fallas F (t): [10]**

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Cuando $(t - \gamma) = \eta$, la confiabilidad viene dada por:

$$R(t) = e - (1)^\beta = e^{-1} = 0,368(36,8\%)$$

Esto representa la confiabilidad para la vida característica del equipo, si $\gamma = 0$ la vida característica depende del parámetro de escala.

❖ **Función densidad de probabilidad $f(t)$:**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

❖ **Tasa de Fallas $\lambda(t)$:**

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Los parámetros que aparecen en las ecuaciones anteriores tienen una interpretación física:

- ♦ **γ :** es el parámetro de posición e indica si la nube de puntos en la grafica de weibull es una recta ($\gamma=0$) o si esta debe ajustarse a una recta ($\gamma \neq 0$).
- ♦ **η :** es el parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo del eje de los tiempos, ayuda a definir la vida característica del equipo e indica el tiempo para el cual el equipo tiene una probabilidad de fallar de 63,2%.
- ♦ **β :** es el parámetro de forma y determina el periodo en el cual se encuentra el equipo, ya sea periodo de arranque ($\beta < 1$), operación normal ($\beta = 1$) o desgaste ($\beta > 1$).[10]

Una vez conocidos los indicadores de efectividad y los tiempos utilizados para su respectivo estudio, la figura 2.4 muestra un resumen de éstos:

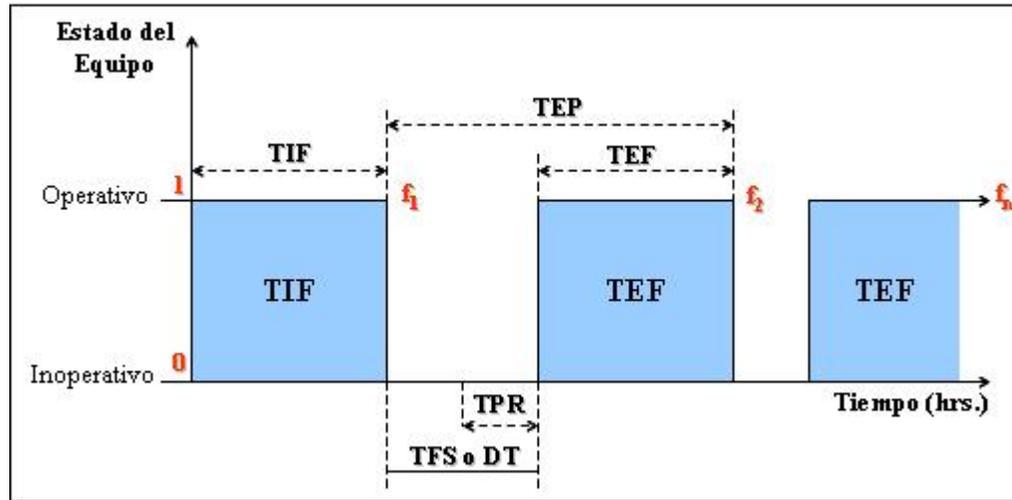


Figura N°2.9 Tiempos Utilizados en el estudio de los Indicadores de Efectividad
Fuente: D. Suárez 2.001

Donde:

1 = Condición operacional del equipo

0 = Condición de falla

f_1, f_2, \dots, f_n = Fallas del equipo

TIF = Tiempo hasta la fallar (usado en equipos no reparables)

TEF o TBF = Tiempo entre fallas

TEP = Tiempo entre paradas

TFS o DT = Tiempo fuera de servicio o tiempo no operativo

TPR = Tiempo necesario para reparar

El histórico de funcionamiento de un componente o equipo permite determinar los tiempos entre fallas (TEF) y las frecuencias acumuladas de fallas $F(i)$. Para realizar el estudio de la distribución de Weibull se debe realizar el siguiente procedimiento:

1. Preparación de los datos: Los datos para la estimación de la confiabilidad provienen de los históricos de fallas o de los resultados de ensayo. En todos los

casos, se calculan los TEF y se clasifican por orden creciente (orden i atribuido a cada TEF). El número de observaciones realizadas es el tamaño de la muestra (N).

2. Aproximación de la función de acumulación de fallas $F(i)$

Casos:

- Para tamaño de muestra $n > 50$

$$F(i) = \frac{i}{n} \quad \text{Ec. (2.9)}$$

- Para $20 < n \leq 50$

$$F(i) = \frac{i}{n+1} \quad \text{Ec. (2.10)}$$

- Para $n \leq 20$

$$F(i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad \text{Ec. (2.11)}$$

Donde:

i = Número de orden de la observación, la cual depende de los TEF ordenado en forma creciente, al menor TEF le corresponde el orden 1 y así sucesivamente.

n = Número total de observaciones

3. Utilización de software especializado para el cálculo de los diferentes parámetros de escala (η), forma (β) y posición (γ) como se muestra en el capítulo IV.

4. Determinación del tiempo promedio entre fallas (TPEF) utilizando la tabla de la Ley numérica de Weibull para obtener A y B. (Ver anexo A) [11]

$$TPEF = A\eta + \gamma \quad \text{Ec. (2.12)}$$

2.2.10 Urea

La urea, también conocida como carbamida, carbonildiamida o ácido arbamídico, es el nombre del ácido carbónico de la diamida. Cuya fórmula química es $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Es una sustancia nitrogenada producida por algunos seres vivos como medio de eliminación del amoníaco de su organismo. La urea se presenta como un sólido cristalino y blanco de forma esférica o granular. Es una sustancia higroscópica, es decir, que tiene la capacidad de absorber agua de la atmósfera y presenta un ligero olor a amoníaco. La síntesis de urea a nivel industrial se realiza a partir de amoníaco (NH_3) líquido y anhídrido carbónico (CO_2) gaseoso. La reacción se verifica en 2 pasos. En el primer paso, los reactivos mencionados forman un producto intermedio llamado carbamato de amonio y, en la segunda etapa, el carbamato se deshidrata para formar urea. La tabla 2.10 muestra las propiedades de la urea. [20]

Tabla N°2.10 Propiedades de la Urea

Fuente: O Galindo 2005

PROPIEDADES	
Peso molecular	60.06 g/mol
Densidad	768 Kg/m ³
Punto de fusión	132.7 °C
Calor de fusión	5.78 a 6 cal/gr
Calor de combustión	2531 cal/gr Humedad crítica relativa (a 30°C): 73%
Índice de salinidad	75.4
Calor de disolución en agua	57.8 cal/gr (endotérmica)
Corrosividad	Altamente corrosivo al acero al carbono. Poco al aluminio, zinc y cobre.

2.2.10.1 Uso como Fertilizante

El 90% de la urea producida se emplea como fertilizante. Se aplica al suelo y provee nitrógeno a la planta. También se utiliza la urea de bajo contenido de biuret (menor al 0.03%) como fertilizante de uso foliar. La urea como fertilizante presenta la ventaja de proporcionar un alto contenido de nitrógeno, el cuál es esencial en el metabolismo de la planta ya que se relaciona directamente con la cantidad de tallos y hojas, las cuáles absorben la luz para la fotosíntesis. Además el nitrógeno está presente en las vitaminas y proteínas, y se relaciona con el contenido proteico de los cereales. [20]

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA UTILIZADA

Este capítulo tiene como propósito mostrar la metodología utilizada, donde se indica el tipo de investigación y las diferentes técnicas, que se utilizaron a lo largo del desarrollo del mismo.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Según la Estrategia:

Durante la realización de este trabajo se emplearon estrategias de investigación documental y de campo.

3.1.1.1 Investigación documental

La investigación documental, se realizó a través de consultas a documentos bibliográficos, manuales de los equipos, especificaciones textuales por parte de la empresa, así como consulta de criterios y de metodologías de mantenimiento de diversos autores.

3.1.1.2 Investigación de Campo

La investigación, permitió conocer el funcionamiento y las condiciones reales en la cual se encuentran los equipos que conforman el Sistema de Carga de Urea, ayudando a un mejor establecimiento del contexto operacional de los mismos.

3.1.2 Según el Propósito

El propósito de la investigación puede clasificarse como aplicada basada en los resultados obtenidos, debido a que se hicieron propuestas de reemplazo y mejoras de las condiciones operacionales, empleando bases teóricas de mantenimiento para la resolución de problemas prácticos que se suscitaron en la empresa.

3.1.3 Según el nivel de conocimiento

Según el nivel de conocimiento, la investigación se clasifica como descriptiva, ya que comprendió la descripción, registro e interpretación de la problemática actual, aunado a esto se necesitó de recolección de datos y documentación, entrevistas informales al personal experimentado y técnicas de investigación y análisis.

3.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS

Las técnicas de investigación y análisis de datos, corresponden a todas aquellas formas con las que se obtiene y procesa la información para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación. Las técnicas utilizadas en el desarrollo del presente proyecto fueron las siguientes:

3.2.1 Recolección de data operacional y de diseño

Esta técnica se utilizó para la recopilación de información de los manuales de operación y proceso, necesaria para determinar la situación operacional actual de los equipos.

3.2.2 Observación Directa

La observación directa, se utilizó como técnica para identificar y describir los equipos que conforman los sistemas en estudio, así como el proceso productivo.

3.2.3 Entrevistas informales al Personal

Esta técnica se utilizó, para obtener y soportar gran parte de la información necesaria para la elaboración de este trabajo, siendo de gran utilidad ya que la información aportada por el personal de experiencia en el área de mantenimiento permitió conocer en detalle los trabajos realizados a los equipos, fallas más recurrentes, así como también las condiciones operacionales de éstos.

3.2.4 Encuestas

La técnica de encuesta, se utilizó como método de recolección de información con el fin de aplicar el análisis de criticidad de los equipos del sistema, de los modos de falla y la jerarquización de los modos de falla. Ya que no se contaba con información documentada y registrada necesaria para la elaboración de dicho tipo de análisis.

3.2.5 Metodología de Impacto – Esfuerzo de Análisis de Criticidad

La metodología Impacto – Esfuerzo de Análisis de Criticidad, es una herramienta que permitió priorizar los subsistemas que conforman el sistema de carga de urea, con el fin de orientar las acciones de mantenimiento hacia el sistema que obtuviera la prioridad más alta. La prioridad, en esta metodología es asignada según la combinación de los valores de Impacto y de Esfuerzo de cada subsistema.

3.2.6 Metodología D.S. de Análisis de Criticidad

La metodología D.S. de análisis de criticidad, es una herramienta que permitió jerarquizar los equipos que integran el subsistema que resulto con la prioridad más alta, determinado con la metodología expuesta anteriormente; donde se utilizaron criterios relacionados con el impacto que producen estos equipos en la seguridad personal, ambiente y producción. Se estableció una escala para definir el impacto de las fallas de estos equipos en el proceso productivo.

3.2.7 Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Este proceso sistemático permitió identificar las fallas potenciales y de diseño de los equipos críticos. Con la intención de minimizar el riesgo asociado con estas fallas se documentaron las acciones preventivas de mantenimiento y la revisión del proceso.

3.2.8 Jerarquización de los Modos de Falla.

Una vez definidos los eventos de fallas se procedió a jerarquizar los modos de falla en función del impacto que generan los mismos dentro del contexto operacional.

3.2.9 Documentación

Antes de empezar con la investigación, se llevó a cabo un proceso de recolección de información acerca de las distintas técnicas de mantenimiento que se van a llevar a cabo durante la ejecución de dicho trabajo, sumado a esto se utilizó para la documentación del plan de mantenimiento, los efectos de falla proveniente de los modos de falla con muy alta criticidad, obtenidos mediante la jerarquización de modos de falla.

3.2.10 Manejo de Programas de Computación

Se utilizaron programas de computación como Office 2003 y su aplicación Microsoft Word, Microsoft Excel y Microsoft Powerpoint, para organizar y presentar de forma clara y ordenada la investigación realizada.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población, está constituida por todos los equipos que conforman el sistema de carga de urea, distribuidos en los cuatros subsistemas que lo conforman, los cuales son: el Transportador Tubular, el Transportador Elevado con Carro deslizante, el Transportador de Enlace y el Cargador de Barcos, siendo un total de 25 equipos. La población humana también formó parte de la investigación y estuvo representada por el personal de operaciones y mantenimiento que labora en la planta. Por su parte la muestra estudiada estuvo conformada por los equipos que resultaron ser críticos según el análisis de criticidad, es decir la Cinta Transportadota (PBC 100), la Unidad Motriz (PBC100 M01 - PBC100 M02) y el Guinche Eléctrico Tensor (PBT-110 M01). En cuanto al personal, la muestra estuvo conformada por los siete integrantes del Equipo Natural de Trabajo.

3.4 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan ocho etapas que fueron necesarias para realizar este trabajo de grado.

Etapas 1. Revisión Bibliográfica

Esta etapa se dedicó a la recopilación de información que sirvió como base para los criterios que se aplicaron en este trabajo de grado, utilizándose como material bibliográfico: Libros, Tesis, Revistas, Manuales, Normas, Páginas de Internet y todo aquel material escrito, donde se observaron técnicas, especializaciones, metodologías, fundamentos, antecedentes y todo aquello que contribuyera a realizar este trabajo.

Etapas 2. Definición del Contexto operacional

En esta etapa se realizó una investigación para comprender el funcionamiento y características del sistema, en función de su contexto operacional, se evaluaron los planes de producción, el patrón de operación del sistema y la confiabilidad esperada de los equipos. Se determinó la jornada de trabajo del proceso productivo así como también la capacidad en recursos de horas-hombres disponibles por organización del mantenimiento.

Etapas 3. Realización del Análisis de Criticidad

El primer paso que se dio en esta etapa fue la conformación del Equipo Natural de Trabajo, el cual lo integró representantes de mantenimiento y producción, a demás se procuró que formaran parte de todos los estratos de la organización, tales como, gerencial, de supervisión, operaciones, planificación y mecánicos. Ver tabla N°3.1

Para la realización del análisis de criticidad, el equipo natural de trabajo (ENT) consideró aplicar primero la metodología de Impacto – Esfuerzo, con la finalidad de jerarquizar los subsistemas que conforman el sistema de carga de urea, luego se aplicó la metodología DS para jerarquizar los equipos que integran el subsistema que

resultado con la prioridad más alta en la metodología anterior. Se establecieron los parámetros que se iban a incluir en dicho análisis, esto se hizo de forma consensuada entre los integrantes del ENT, tomando en consideración el proceso productivo y las particularidades de la planta. Ya definidos los parámetros del análisis, el ENT se enfocó en buscar información que permitiese ponderarlos y así establecer con precisión la criticidad de los equipos.

Tabla N° 3.1 Integrantes del Equipo Natural de Trabajo (ENT)

Integrantes del ENT	Nombre	Cargo
Especialista en Procesos	José Gracia	Gerente de Mantenimiento
SIAHO	Robin Sánchez	Supervisor de Mecánica
Planificador	Neyfabian Martín	Planificador de Electricidad
	José López	Planificador de Mecánica
Operadores y/o Supervisor de Producción	Miguel Aguana	Operador de Área
	Jesús Aguilera	Operador de Área
Técnicos y/o Supervisor de Mantenimiento	Freddy Malavé	Mecánico de Área
Facilitador General	Lino Márquez	Tesista de Mantenimiento

Etapa 4. Realización del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

En esta etapa con la ayuda de operadores y personal de mantenimiento, a demás de los manuales de funcionamiento y operación del sistema, se determinaron para los equipos que resultaron altamente críticos, las funciones primarias y secundarias, estándares de funcionamiento, fallas funcionales, modos de fallas, así como también el efecto que causa cada una de estas fallas en el sistema. Todo esto partiendo del

contexto operacional de cada equipo. Toda la información fue dispuesta en un formato de AMEF como el que se mostró en el capítulo anterior en la figura N°2.4.

Etapa 5. Proceso de Jerarquización de los Modos de Fallas

Una vez que se realizó el Análisis de Modos y Efecto de Falla, se procedió a jerarquizar los Modos de Falla, con el fin de enfocar los trabajos de mantenimiento estrictamente en las fallas que causan más daño al sistema de producción. Esta metodología fue aplicada en base a tres factores, los cuales son: Factor Frecuencia de Falla, Factor de Impacto en la Producción y Factor en el SIAHO. Los resultados del análisis se presentan en una matriz 5 x 5 de jerarquización de modos de falla, como la que se mostró en el capítulo anterior en la figura 2.7.

Etapa 6. Estimación de las Frecuencias de Mantenimiento

Para la realización de esta etapa, fue necesaria la estimación de la confiabilidad de los equipos críticos, por cada modo de falla en el periodo estudiado. El insumo necesario para realizar el estudio, fue los tiempos entre falla de los equipos críticos, agrupados por modos de falla, con los cuales se estimó la confiabilidad y se calculó las frecuencias de falla para mitigar los modos de falla críticos.

Etapa 7. Propuesta de mejoras del Plan de Mantenimiento

Después de haber obtenido los resultados del Análisis de Criticidad, Modo y Efectos de Falla, Jerarquización de los Modos de Falla y las frecuencias de mantenimiento para los equipos críticos, se procedió a aplicar el Árbol Lógico de Decisión, quien fue una herramienta importante en la realización del plan de mantenimiento para los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea.

Etapa 8 Redacción del Trabajo de Grado

En esta etapa se realizó la redacción del trabajo de grado, con el fin de afinar los detalles para ser presentado en el formato exigido.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE CARGA DE UREA

El contexto operacional, permite definir y conocer como debe funcionar y como está funcionando un sistema, componente o equipo, es decir, permite identificar desviaciones en cada uno de ellos que pueden ser reparadas y mejoradas. Es por ello que se describe el contexto operacional de los equipos que conforman el sistema de carga de urea. Para este estudio fue necesaria la participación del personal que labora en la planta, la observación directa de los equipos y la revisión de los manuales de su funcionamiento y operación.

4.1.1 Descripción del Proceso de Carga de Urea

El Sistema de Carga de Urea, está diseñado con la finalidad de transportar urea desde la planta de fertilizantes perteneciente a la empresa Fertinitro, hasta el atracadero del Muelle Petroquímico de Pequiven, donde se cargarán las embarcaciones comerciales con dicho material, con una capacidad aproximadamente de 100 Ton/H.

Este sistema, está integrado por cuatro subsistemas, como son: el transportador tubular, el transportador elevado con carro deslizante, el transportador de enlace y el cargador de barco; los cuales están unidos en serie de tal manera que al ocurrir algún tipo de falla operacional en alguno de estos subsistemas, implica la paralización del sistema en general.

El Proceso de carga de urea, se inicia cuando la urea es transferida al Subsistema Transportador Tubular (PBC100) desde el transportador de la planta de fertilizantes, a este punto de transferencia de material se le conoce como Torre de Transferencia N°1,

la cual está compuesta por estructuras metálicas cubiertas con laminas de acero, para proteger el material de agentes atmosféricos.

El Transportador Tubular acarrea la urea en una distancia de 1763m, hasta el atracadero del muelle petroquímico de Pequiven, donde transfiere el material al Subsistema Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC200), a esta zona de transferencia de material se le conoce como Torre de Transferencia N°2, y está construida de igual forma que la Torre de Transferencia N°1. El transportador PBC200 tiene una longitud de 234m y está protegido por una estructura metálica cubierta con láminas de acero, a esta estructura de protección se le conoce como Galería del Cargador de Barcos. Posteriormente el transportador PBC 200 entrega la urea al subsistema Transportador de Enlace (PBC 300).

El transportador de enlace, puede correr paralelo al transportador elevado con carro deslizante y transporta el material de manejo por medio de un tobogán hasta el Subsistema Transportador del Cargador de Barcos (SSC 400). El Cargador de Barcos está equipado con un sistema de recorrido, el cual es capaz de moverlo a lo largo de todo el atracadero del muelle petroquímico. Al transportador del cargador de barcos también se le conoce como Brazo del cargador de barcos, el cual puede ser rotado, levantado y bajado para el proceso de carga de buques. Al final del brazo, el material de manejo se descarga en la embarcación por medio de un tobogán telescópico de carga.

En la figura 4.1 se muestra una fotografía aérea, donde se puede ver la ubicación del sistema de carga de urea en el muelle petroquímico de pequiven, mientras que en la tabla 4.1 se muestran los cuatros subsistemas con sus respectivos códigos y la función de cada uno de ellos, luego la figura 4.2 muestra un esquema donde se pueden ver los cuatros subsistemas que integran el sistema de caga de urea.



Figura N°4.1 Vista Aérea del Muelle Petroquímico de Pequiven

Fuente: Pequiven-Jose

Tabla N°4.1 Subsistemas que Integran el Sistema de Carga de Urea

SUBSISTEMAS	CÓDIGO	FUNCIÓN
Transportador Tubular	PBC 100	Transportar Urea Granular desde el Surtidor de Entrada hasta el Transportador Elevado con Carro Deslizante
Transportador Elevado con Carro Deslizante	PBC 200	Transportar Urea Granular desde el Transportador Elevado con Carro Deslizante hasta el Transportador de Enlace.
Transportador de Enlace	PBC 300	Transportar Urea Granular desde el Transportador Elevado con Carro Deslizante hasta el Cargador de Barcos
Cargador de Barcos	SSC 400	Cargar Barcos con Urea Granular a Granel

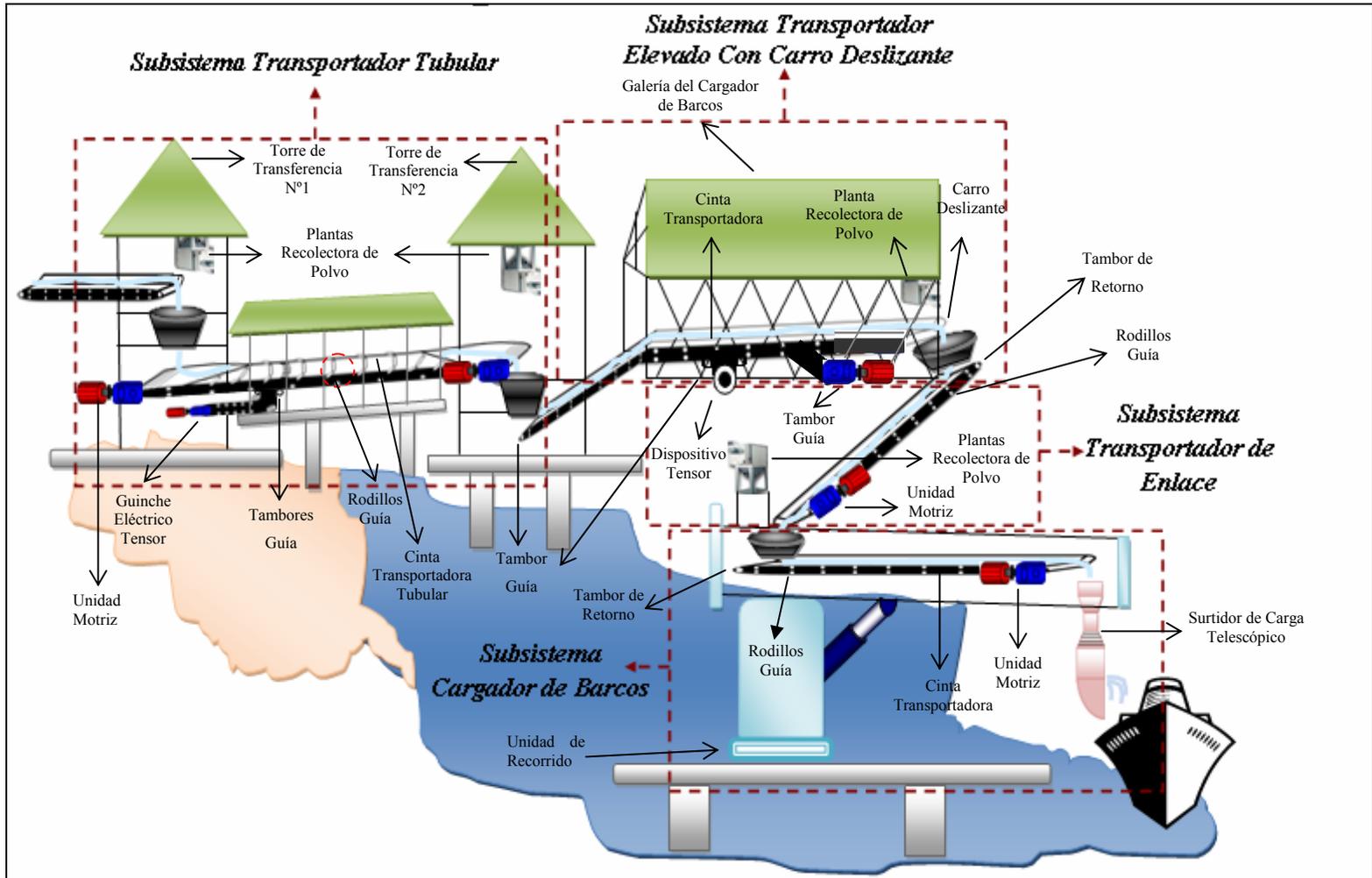


Figura N°4.2 Sistema de Carga de Urea

Fuente: Pequiven –Jose

4.1.2 Diagnóstico de la Situación Actual del Sistema de Carga de Urea

El diagnóstico de la situación actual del sistema de carga de urea, se realizó mediante la observación directa y los manuales de operación y funcionamiento de los equipos, con el fin de conocer las condiciones de trabajo, aspectos de diseño y las variables que deben controlarse para garantizar el buen funcionamiento de los equipos.

4.1.2.1 Subsistema Transportador Tubular (PBC 100)

El subsistema transportador tubular, es el encargado de transportar la urea desde el transportador proveniente de la planta de fertilizante (fertinitro) hasta el transportador elevado con carro deslizante, tiene una distancia axial de 1763m abarcando gran parte de la longitud del muelle. La figura 4.3, muestra un esquema del subsistema transportador tubular y los equipos que lo integran.

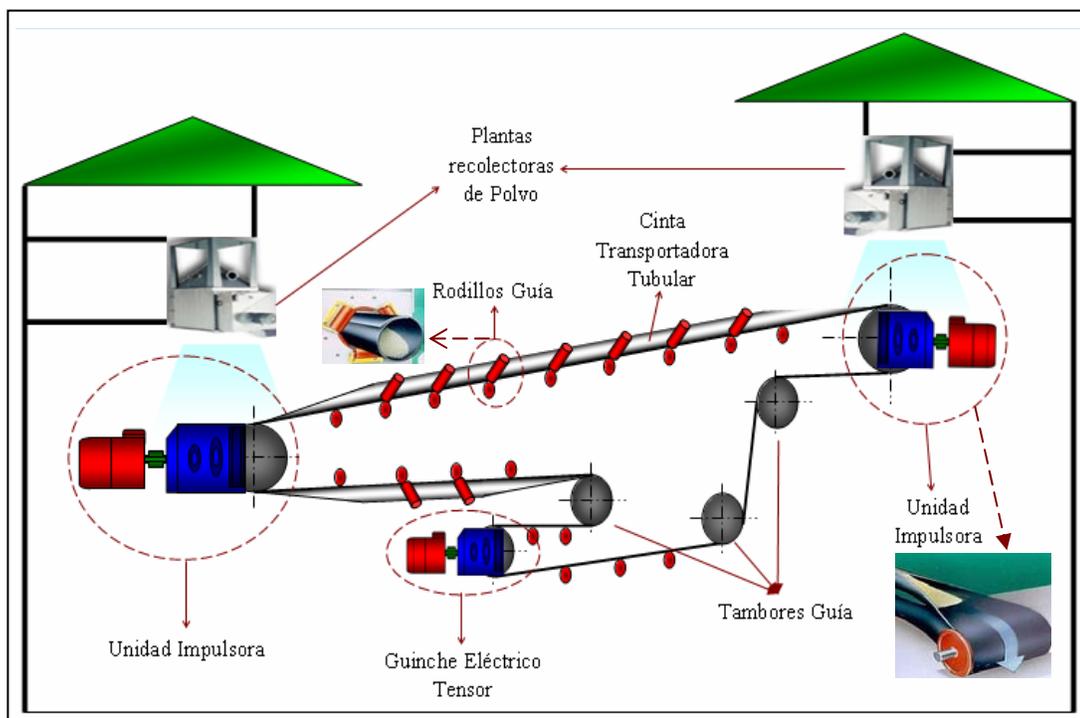


Figura N°4.3 Subsistema Transportador Tubular PBC 100
Fuente: Propia

❖ Cinta Transportadora

La cinta transportadora SBC100 es de tipo NN 800/4, esta designación indica que contiene cuatro capas textiles, formadas por hilos longitudinales (urdimbre) e hilos transversales (trama), ambos de Nylon con cubierta superior e inferior de caucho, a demás indica también que tiene una resistencia a la rotura de 800 N/mm y de acuerdo a su diseño permite una tensión máxima de 90 KN/m. Esta cinta tiene la facilidad adaptarse a varias formas, pudiendo tomar una forma tubular de 40cm de diámetro. Así mismo tiene 3566m de longitud, 1,6m de ancho y se mueve a 3,8 m/s, pudiendo acarrear hasta 1000Ton/H de urea. Por su gran longitud y horas de trabajo continuo, esta cinta está sometida a muchas fallas y actualmente contiene algunas zonas de desgaste y deterioros en los empalmes, los cuales pueden convertirse en rupturas de la cinta. El mantenimiento para este equipo, se basa mayormente en inspecciones cíclicas con sus respectivos reportes de anomalías, los trabajos preventivos son relativamente bajos en comparación con los trabajos correctivos, los cuales han aumentado su número en los últimos años. En la figura 4.4 se muestra la cinta transportadora SBC100, mientras que en la tabla 4.2 sus características.



Figura N°4.4 Cinta Transportadora SBC100

Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.2 Datos Técnicos de la Cinta Transportadora SBC100

Fuente: Pequiven – Jose

CINTA TRANSPORTADORA	
Cantidad: 1	
Código: SBC100	
CARACTERÍSTICAS	
Material de la Cinta	Caucho
Modelo	NN 800/4
Resistencia a la Rotura	800N/mm
Tensión Admisible	90 KN/m
Rata de Manejo	1.000,00 Ton/H
Marca	Bridgestone
Ancho	1,60 m
Espesor de la Cubierta (Arriba/Abajo)	(8 / 2)mm
Diámetro del Tubo	0,40 m
Longitud	3.566,00 m
Velocidad de la Cinta	3,80 m/s

❖ Unidad motriz

En este subsistema existen dos unidades motrices de iguales características, una en el área de carga y otra en el área de descarga (en la cola y en la punta) y son las encargadas de mover la cinta transportadora SBC 100. Cada unidad motriz consiste de un motor de 355 Kw, un engranaje recto cónico con eje sólido con una relación de reducción de 25, un acoplamiento flexible entre el motor y la caja de engranaje y el tambor motriz con revestimiento de 12 mm de caucho. Estas unidades se pueden arrancar solo si no hay ninguna indicación de falla presente en el transportador tubular y en los subsistemas aguas abajo. Debido al ambiente corrosivo, este equipo ha venido presentando muchas fallas, producto también de un periodo de mantenimiento inadecuado, a demás del tipo de mantenimiento el cual en su mayoría es correctivo, aplicándose en números muy similares que los preventivos. En la figura 4.5 se presenta la unidad motriz, mientras que en la tabla 4.3 sus datos técnicos.

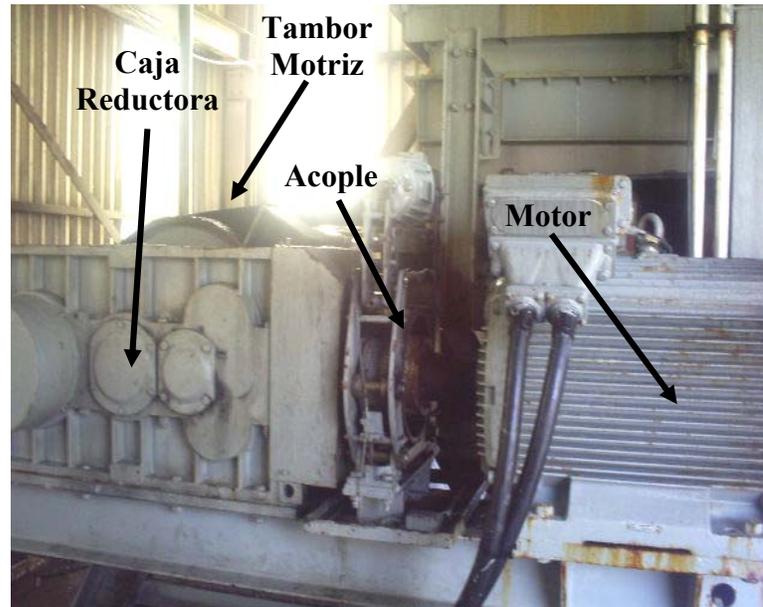


Figura N°4.5 Unidad Motriz PBC100 M01
Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.3 Datos Técnicos de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02
Fuente: Pequiven – Jose

UNIDAD MOTRIZ	
Cantidad: 2	
Código: PBC100 M01- PBC100 M02	
CARACTERÍSTICAS	
Potencia del Motor	355,00 Kw
Frecuencia del Motor	60Hz
Velocidad del Motor (n)	3600,00 rpm
Tamaño Caja de Engranaje	JPLC 40-R11-G11
Relación de Caja de Engranaje	25
Tambor Motriz [Ø x largo]	[1,00x1,80]m
Revestimiento del Tambor Motriz	Caucho
Espesor del Revestimiento	12mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor Motriz	220mm

❖ Tambores Guía

El subsistema Transportador Tubular contiene tres Tambores Guía, los cuales son los encargados de dirigir la cinta SBC100; estos tambores son cilíndricos con un diámetro de 0,8m y una longitud de 1,80m, con 12mm de revestimiento de caucho y suelen girar libre sin ningún tipo de accionamiento. Además de servir como soporte de retorno de la cinta, la ubicación de estos tambores permite que la cinta transportadora pueda adaptarse al equipo tensor del transportador tubular. Actualmente los recubrimientos de caucho de estos tambores se encuentran desgastados, los cuales están interviniendo en la linealidad y velocidad de la cinta, disminuyendo la eficiencia del proceso de carga de urea, el tipo de mantenimiento empleado a estos equipos es de reacondicionamiento cíclico e implica básicamente la lubricación de las chumaceras que los soportan.

En la figura 4.6 se puede ver algunos de los tambores guía, mientras que en la tabla 4.4 sus datos técnicos.

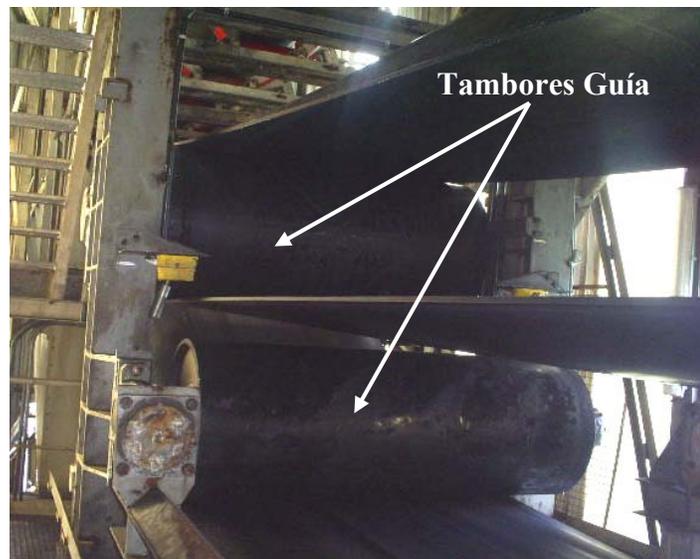


Figura N°4.6 Tambores Guía del Transportador Tubular PBC100 T01

Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.4 Datos Técnicos de los Tambores Guía del Transportador Tubular

Fuente: Pequiven – Jose

TAMBORES GUÍA	
Cantidad: 3	
Código: PBC100 T01	
CARACTERÍSTICAS	
Tambores Guía [Ø x largo]	[0,80x1,80]m
Revestimiento	Caucho
Espesor del Revestimiento	12,00mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor	160,00mm

❖ **Guinche Eléctrico Tensor**

El guinche eléctrico tensor PBT-110 M01, está ubicado en la punta del Subsistema transportador tubular, está diseñado para proporcionar la tensión de la cinta SBC100 que debe ser aproximadamente de 80KN/m, mediante un tambor, acoplado a un carro tensor movido por un motor y caja. El guinche hala el carro tensor por medio de roldanas, desplazando el tambor para obtener la tensión requerida. Actualmente este equipo presenta zonas de oxidación, debido al salitre por el ambiente marino, además ha venido presentando fallas en el motor. Aunque el mantenimiento aplicado a este equipo es mayormente de tipo preventivo, el mantenimiento correctivo se presenta con regularidad.

En la figura 4.7 se puede ver el carro tensor, la guaya y el tambor del guinche eléctrico tensor, mientras que en la tabla 4.5 sus datos técnicos.



Figura N°4.7 Carro Tensor del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.5 Datos Técnicos de los Equipos que Integran el Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

Fuente: Pequiven – Jose

GUINCHE ELÉCTRICO TENSOR	
Cantidad: 1	
Código: PBT-110 M01	
CARACTERÍSTICAS	
Longitud de Tensión	Aprox. 36 m
Potencia del Motor	75,00 Kw
Frecuencia del Motor	60Hz
Velocidad del Motor (n)	900,00 rpm
Tambor de Tensión [Ø x largo]	[0,80x1,80] m
Revestimiento del Tambor Tensor	Caucho
Espesor del Revestimiento	12,00mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor Tensor	180,00mm
4 Roldanas [Ø]	0,45m
Carro Tensor	4 ruedas

❖ Rodillos Guía

Para garantizar el desplazamiento longitudinal de la cinta del transportador tubular, sin que esta sufra desvíos, se han colocado estaciones con rodillos guía autoaliniantes tanto en la zona de transporte de la carga, como en el retorno de la banda, teniéndose un total de 8164 rodillos instalados girando libremente. Estos rodillos son los que le dan la forma tubular a la cinta y tienen una longitud de 0,374m y un diámetro de 0,133m. Actualmente gran parte de estos rodillos se encuentran deteriorados esperando por su sustitución. El tipo de mantenimiento aplicado a estos equipos es correctivo. En la figura 4.8 se pueden ver los rodillos del transportador tubular, mientras que en la tabla 4.6 sus datos técnicos.



Figura N°4.8 Rodillos Guía del Transportador Tubular
Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.6 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-015
Fuente: Pequiven – Jose

RODILLOS GUÍA	
Cantidad: 8164	
Código: TTU-015	
CARACTERÍSTICAS	
Rodillos Guía de Transporte [Ø x largo]	[0,133x0,374] m
Paso	2,20 m
Material	Acero al Carbono

❖ Planta Recolectora de Polvo

El transportador tubular contiene dos plantas recolectoras de polvo, una ubicada en la zona de carga (BRT 100) y la otra en la zona de descarga (BRT 200). Estas plantas son de tipo filtro de polvo de propulsión inversa, construida para manejar cantidades conocidas de aire saturado de polvo, y puede operar continuamente por periodos largos en virtud del sistema de limpieza de aire invertido empleado. El proceso de filtrado, se lleva a cabo cuando el aire saturado de polvo es conducido dentro de la cámara que contiene los elementos del filtro el cual maneja 3000 m³/h de aire, accionado por un compresor que maneja una máxima presión manométrica de 10 bar. Actualmente estos equipos realizan el trabajo requerido, el cual es recoger todas las partículas de urea suspendidas en la atmósfera en las zonas de carga o descarga. El mantenimiento aplicado a estos equipos es mayormente de tipo preventivo, de los cuales se puede mencionar el de la sustitución cíclica de las bolsas de los filtros.

En la figura 4.9 se puede ver la ubicación de la planta recolectora de polvo, mientras que la tabla 4.7 sus datos técnicos.



Figura N°4.9 Ubicación de la Planta Recolectora de Polvo BRT 100

Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.7 Datos Técnicos de Planta Recolectora de Polvo del Transportador Tubular
Fuente: Pequiven – Jose

PLANTA RECOLECTORA DE POLVO	
Cantidad: 1	
Código: BRT 100 - BRT 200	
CARACTERÍSTICAS	
Tipo	Filtro de Bolsa DLM-V30/15F10
Área del Filtro	30,00 m ²
Potencia del Motor	5,50 Kw
Tipo de Compresor	MGK 271/150
Frecuencia del Motor	60Hz
Máx. Presión Manométrica	10,00 bar
Tipo de Secador	MDT-HD 22 F

4.1.2.2 Subsistema Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC 200)

El transportador elevado con carro deslizante, es el encargado de transportar la urea desde el subsistema transportador tubular hasta el subsistema transportador de enlace y tiene una distancia axial aproximada de 210m. Funciona como un transportador de cinta normal acanalado y está integrado principalmente por la cinta, el motor, caja reductora, acople, los tambores y los rodillos guía. Sin embargo, es elevado mediante estructuras de acero, debido a que se requiere que la descarga de material se haga a cierto nivel de altura. Este transportador se ha equipado en el extremo final con un carro deslizante, el cual es capaz de desplazar el tambor que se encuentra en el extremo de la cinta, con el fin de que la entrega de material pueda hacerse a lo largo de todo el atracadero del muelle, para poder cargar las embarcaciones en sus diferentes bodegas. Para alcanzar la tensión normal de operación de la cinta, se tiene provisto un tensor por gravedad, el cual consta de una caja de contrapeso acoplado a un tambor, llamado tambor tensor. Este sistema de tensión, permite que la cinta siempre tenga la tensión necesaria, aún cuando el tambor del carro deslizante se desplace. La figura 4.10 muestra los equipos que integran el transportador elevado con carro deslizante.

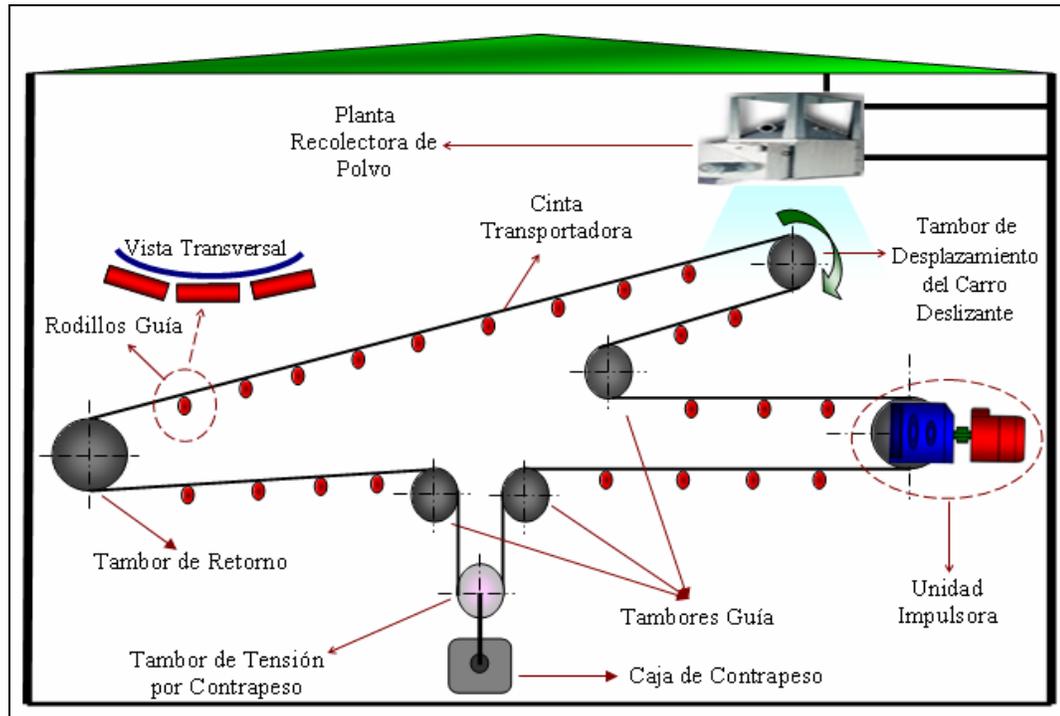


Figura N° 4.10 Esquema del Transportador Elevado con Carro Deslizante
Fuente: Propia

❖ Cinta transportadora

La cinta transportadora SBC 200, es de tipo EP 400/3, esta designación indica que contiene 3 capas de textiles sintéticos, poliéster (E) en urdimbre y poliamida (P) en trama, con cojín de caucho en la cubierta superior e inferior. Indica también que tiene una resistencia a la rotura de 400 N/mm y de acuerdo a su diseño permite una tensión máxima de 40 KN/m. Esta cinta tiene una longitud de 233,5m, 1,4m de ancho y se mueve a 2,6m/s, pudiendo acarrear hasta 1000Ton/H (toneladas por horas) de urea. Las fallas presentadas en este equipo son de características muy similares a las que presenta la cinta transportadora SB100, esto debido a que en ella se utilizan las mismas estrategias y trabajos de mantenimiento.

En la figura 4.11 se muestra la cinta transportadora SBC100, mientras que en la tabla 4.8 sus características.



Figura N°4.11 Transportador Elevado con carro deslizante PBC200

Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.8 Datos Técnicos de la Cintara Transportadora SBC 200

Fuente: Pequiven – Jose

CINTA TRANSPORTADORA	
Cantidad: 1	
Código: SBC200	
CARACTERÍSTICAS	
Material de la Cinta	Caucho
Modelo	EP 400/3
Resistencia a la Rotura	400N/mm
Tensión Admisible	40 KN/m
Rata de Manejo	1.000,00 Ton/H
Marca	Bridgestone
Ancho	1,40 m
Espesor de la Cubierta (Arriba/Abajo)	(6 / 2)mm
Longitud	506,00 m
Velocidad de la Cinta	2,60 m/s

❖ Unidad motriz

La unidad motriz SBC 200 M03, es la encargada de mover la cinta del transportador elevado con carro deslizante y se encuentra ubicado en la zona de descarga de dicho transportador. Esta unidad motriz consta de un motor con potencia de 85 KW, un engranaje recto cónico con eje sólido con una relación de reducción de 17,5, un acoplamiento flexible entre el motor y la caja de engranaje y un tambor motriz con revestimiento de 10mm de caucho. El impulsor se puede arrancar solo si no hay ninguna indicación de falla presente en el transportador y en cualquier otro de los subsistemas que conforman el sistema de carga de urea. Debido al ambiente corrosivo, este equipo ha venido presentando algunas fallas, producto también de un periodo de mantenimiento inadecuado. Aunque el tipo de mantenimiento que mayormente se le aplica a este equipo es el preventivo, el mantenimiento correctivo también se presenta con regularidad, paralizándose inesperadamente el proceso de carga de urea.

Tabla N°4.9 Datos Técnicos de la Unidad Motriz SBC 200 M03
Fuente: Pequiven-Jose

UNIDAD MOTRIZ	
Cantidad: 1	
Código: SBC 200 M03	
CARACTERÍSTICAS	
Tamaño de la Caja de Engranaje	JPLC 22-R11-G14
Relación de la Caja de Engranaje	17,50
Potencia del Motor	85,00 Kw
Frecuencia del Motor	60,00Hz
Velocidad del Motor (n)	1200,00 rpm
Tambor Motriz [Ø x largo]	[0,505x1,60] m
Revestimiento del Tambor Motriz	Caucho
Espesor del Revestimiento	10,00mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor Motriz	125,00mm

❖ Dispositivo Tensor

El dispositivo tensor PBT 220, está ubicado en el extremo sur del transportador elevado con carro deslizante, está diseñado como tensor de gravedad, con una caja de contrapeso guiada en columnas verticales acoplada al tambor tensor. Este dispositivo está diseñado para proporcionar la tensión de la cinta SBC2 00 que debe ser aproximadamente de 35KN/m. Este tensor por gravedad asegura que esta tensión sea constante en todas las situaciones de operación. Actualmente este equipo se encuentra trabajado en un estado de operación normal y el mantenimiento aplicado a este equipo es en su mayoría preventivo. En la tabla 4.11 se presentan sus datos técnicos.

Tabla N° 4.11 Datos Técnicos del Dispositivo Tensor PBT 220

Fuente: Peguiven-Jose

DISPOSITIVO TENSOR	
Cantidad: 1	
Código: PBT 220	
CARACTERÍSTICAS	
Tipo de Tensor	Por Gravedad
Longitud de Tención	5,00 m
Tambor Tensor [Ø x largo]	[0,505x1,60] m
Revestimiento del Tambor Tensor	Caucho
Espesor del Revestimiento	10mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor Tensor	125mm

❖ Rodillos guía

Con la intención de garantizar el desplazamiento longitudinal de la cinta, sin que esta sufra desvíos, se han colocado estaciones con rodillos guía autoaliniantes tanto en la zona de transporte de la carga, como en el retorno de la banda, teniéndose un total de 828 rodillos instalados girando libremente. Estos rodillos son los que le dan la forma acanalada a la cinta y tienen una longitud de 0,53m y un diámetro de 0,108m. Actualmente gran parte de estos rodillos se encuentran deteriorados esperando por su sustitución. El tipo de mantenimiento aplicado a estos equipos es correctivo (sustitución una vez que han fallado). En la tabla 4.12 se muestran sus datos técnicos.

Tabla N° 4.12 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-024**Fuente:** Pequiven-Jose

RODILLOS GUÍA	
Cantidad: 828	
Código: TTU-025	
CARACTERÍSTICAS	
Rodillos Guía de Transporte [Ø x largo]	[0,108x0,53] m
Paso	3,0m
Material	Acero al Carbono

❖ **Planta Recolectora de Polvo**

La planta recolectora de polvo BRT 300, está ubicada en la zona de descarga del transportador elevado con carro deslizante, esta planta contiene las mismas características que las ubicadas en el transportador tubular. Actualmente se encuentra en funcionamiento normal y presenta pocas fallas, así mismo el mantenimiento aplicado a este equipo es en su mayoría de tipo correctivo. En la tabla 4.13 se muestran los datos técnicos de la planta recolectora de polvo BRT 300.

Tabla N°4.13 Planta Recolectora de Polvo BRT 300**Fuente:** Pequiven-Jose

PLANTA RECOLECTORA DE POLVO	
Cantidad: 1	
Código: BRT 300	
CARACTERÍSTICAS	
Tipo	Filtro de Bolsa DLM-V30/15F10
Área del Filtro	30,00 m ²
Potencia del Motor	5,50 Kw
Tipo de Compresor	MGK 271/150
Frecuencia del Motor	60Hz
Máx. Presión Manométrica	10,00 bar
Tipo de Secador	MDT-HD 22 F

❖ **Carro Deslizante**

El Carro deslizante STC 200, está integrado en la zona de descarga al transportador PBC200, el cual permite descargar a cualquier punto del atracadero moviéndose por

sus propios rieles, desplazando así el punto de descarga, y siempre se moverá junto con el subsistema cargador de barcos. El recorrido del carro deslizante se lleva a cabo cuando este es arrastrado por el cargador de barcos por medio de un cilindro hidráulico que sirve como barra de acoplamiento. El carro deslizante está integrado básicamente por cuatro ruedas sobre rieles, el tambor conductor de la cinta y la estructura acoplada al cargador de barcos. En la figura 4.16 se muestra la ubicación del carro deslizante, mientras que en la tabla 4.14 sus datos técnicos.

Tabla N°4.14 Datos Técnicos del Carro deslizante STC 200
Fuente: Pequiven Jose

CARRO DESLIZANTE	
Cantidad: 1	
Código: STC 200	
CARACTERÍSTICAS	
Altura de Descarga	4,56 m
Tambor del Carro [Ø x largo]	0,505x1,60 m
Revestimiento del Tambor	Caucho
Diámetro del Rodamiento del Tambor	100mm
Velocidad de Recorrido	5-20 m/min
Cantidad de Ruedas	4
Diámetro de Ruedas	0,40 m

4.1.2.3 Subsistema Transportador de Enlace (PBC 300).

El subsistema transportador de enlace, es el encargado de transportar la urea desde el transportador elevado con carro deslizante, hasta el transportador del cargador de barcos, y está integrado por los siguientes equipos que se presentan en la figura N°4.17.

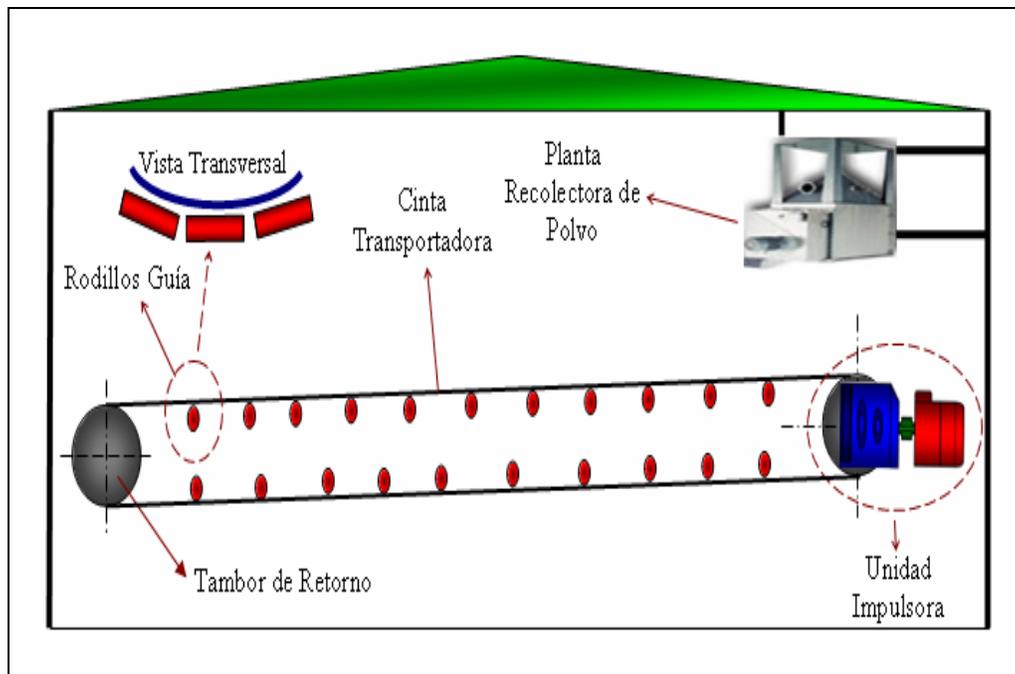


Figura N°4.17 Subsistema Transportador de Enlace PBC 300

Fuente: Propia

❖ Cinta Transportadora

La cinta transportadora SBC 300, al igual que la cinta SBC200 es de tipo EP 400/3, y guarda las mismas características en cuanto a esa designación. Esta cinta tiene una longitud de 27m, 1,4m de ancho y se mueve a 3,0m/s, pudiendo acarrear hasta 1000Ton/H (toneladas por horas) de urea. Las fallas presentadas en este equipo son de características muy similares a las que presenta las cintas transportadoras SB100 y SBC 200, esto debido a que en ella se utilizan las mismas estrategias y trabajos de mantenimiento.

En la tabla 4.15 se muestra las características de la cinta transportadora SBC300.

Tabla N°4.15 Datos Técnicos de la Cinta Transportadora SBC 200
Fuente: Pequiven – Jose

CINTA TRANSPORTADORA	
Cantidad: 1	
Código: SBC 300	
CARACTERÍSTICAS	
Material de la Cinta	Caucho
Modelo	EP 400/3
Resistencia a la Rotura	400N/mm
Tensión Admisible	40 KN/m
Rata de Manejo	1.000,00 Ton/H
Marca	Bridgestone
Ancho	1,40 m
Espesor de la Cubierta (Arriba/Abajo)	(5 / 2)mm
Longitud	27,00 m
Velocidad de la Cinta	3,0 m/s

❖ **Unidad Motriz**

La unidad motriz SBC 300 M04, es la encargada de mover la cinta SBC 300 y se encuentra ubicado en la zona de descarga de dicho transportador. Esta unidad de impulsión está integrada por un motor de 25KW de potencia, un engranaje recto cónico con eje sólido con una relación de reducción de 12,5, un acoplamiento flexible entre el motor y la caja de engranaje y un tambor motriz con revestimiento de caucho de 10mm de espesor.

La unidad motriz, se puede arrancar solo si no hay ninguna indicación de falla presente en el transportador y en cualquier otro de los subsistemas que conforman el sistema de carga de urea. Debido al ambiente corrosivo, este equipo ha venido

presentando algunas fallas, producto también de un periodo de mantenimiento inadecuado. En la tabla 4.16 se muestra los datos técnicos de la unidad motriz.

Tabla N° 4.16 Datos Técnicos de la Unidad Motriz SBC 300 M04

Fuente: Pequiven – Jose

UNIDAD MOTRIZ	
Cantidad: 1	
Código: SBC 300 M04	
CARACTERÍSTICAS	
Potencia del Motor	25,00 Kw
Frecuencia del Motor	60Hz
Velocidad del Motor (n)	1770 rpm
Tambor Motriz [Ø x largo]	[0,40x1,60] m
Revestimiento del Tambor Motriz	Caucho
Espesor del Revestimiento	10mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor Motriz	80mm
Tamaño de la Caja de Engranaje	JPLB12-R11-G42
Relación de la Caja de Engranaje	12,5

❖ Tambor de Retorno

El Tambor de Retorno PBT 330, gira libremente sin ningún tipo de accionamiento, y su función principal es servir de retorno a la cinta transportadora. Los rodamientos del tambor de retorno se diseñan como rodamientos de tensión, los cuales proporcionan la tensión requerida de la cinta cuando son desplazados por un tornillo en contacto con cada uno de ellos. En la figura 4.18 se muestra un esquema del tambor de retorno con su respectivo tornillo de tensión, mientras que en la tabla 4.17 sus datos técnicos.

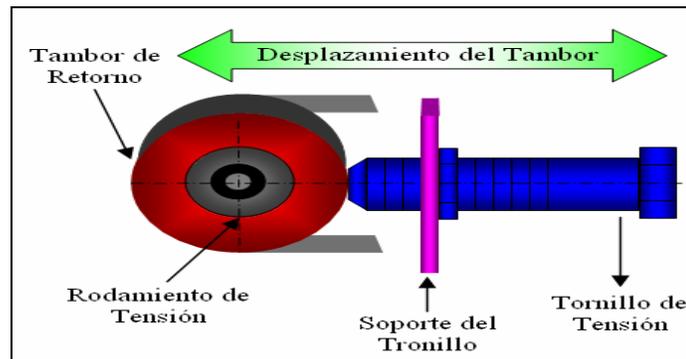


Figura N°4.18 Tambor de Retorno PBT 330 con Tornillo de Tensión
Fuente: Propia

Tabla N°4.17 Datos Técnicos del Tambor de Retorno PBT 330

Fuente: Pequiven – Jose

TAMBOR DE RETORNO	
Cantidad: 1	
Código: PBT 330	
CARACTERÍSTICAS	
Tambor de Retorno [Ø x largo]	[0,40x1,60] m
Revestimiento	Caucho
Espesor del Revestimiento	10mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor	80mm
Tipo de Tensor	Tornillo
Longitud de Tensión	0,30 m

❖ Rodillos Guía

Los rodillos guía TTU-035, son los encargados de soportar la cinta entre los tambores girando libremente, además son los que les dan una forma acanalada a la cinta, en total para este subsistema están colocado 50 de estos a lo largo de toda la cinta. Actualmente gran parte de estos rodillos se encuentran deteriorados y requieren ser sustituidos. Esta situación ocasiona desgaste y ruptura en la cinta. El mantenimiento de estos equipos es de sustitución cíclica, sin embargo aún cuando el tiempo de sustitución ya ha sido alcanzado, estos no se han sustituido. En la tabla 4.18 se muestran los datos técnicos de los rodillos guía del transportador de enlace.

Tabla N°4.18 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-035 del Transportador de Enlace

Fuente: Pequiven Jose

RODILLOS GUÍA	
Cantidad: 50	
Código: TTU-035	
CARACTERÍSTICAS	
Rodillos Guía de Transporte [Ø x largo]	[0,108x0,53] m
Paso	3,0m
Material	Acero al Carbono

❖ **Planta Recolectora de Polvo**

La planta recolectora de polvo BRT 400, está ubicada en la zona de descarga del transportador de enlace, esta planta posee las mismas características de las plantas que se has descrito anteriormente, tanto para el transportador tubular como para el transportador elevado con carro deslizante, incluso se le aplica el mismo tipo de mantenimiento que a estos.

En las figura 4.19 se muestra el subsistema transportador tubular con la ubicación de cada uno de sus equipos.

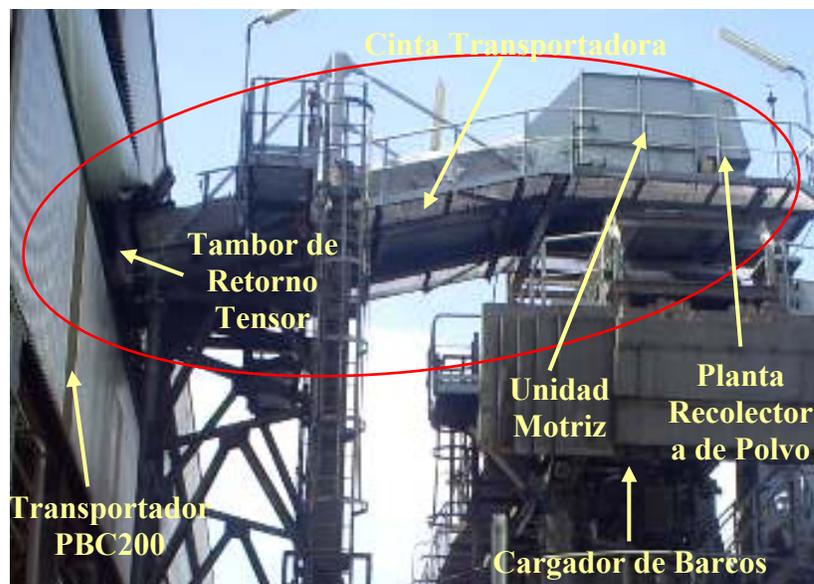


Figura N°4.19 Subsistema Transportador de Enlace PBC 300

Fuente: Pequiven – Jose

4.1.2.4 Subsistema Cargador de Barcos (SSC 400)

El subsistema cargador de barcos, es el encargado de recibir la urea proveniente del subsistema transportador de enlace hasta los buques, se ha diseñado para cargar embarcaciones con tamaños que van desde 30.000 hasta 65.000 toneladas de peso muerto (TPM) y se desplaza sobre rieles a lo largo del atracadero. En la Figura 4.20 se presenta un esquema del subsistema cargador de barcos.

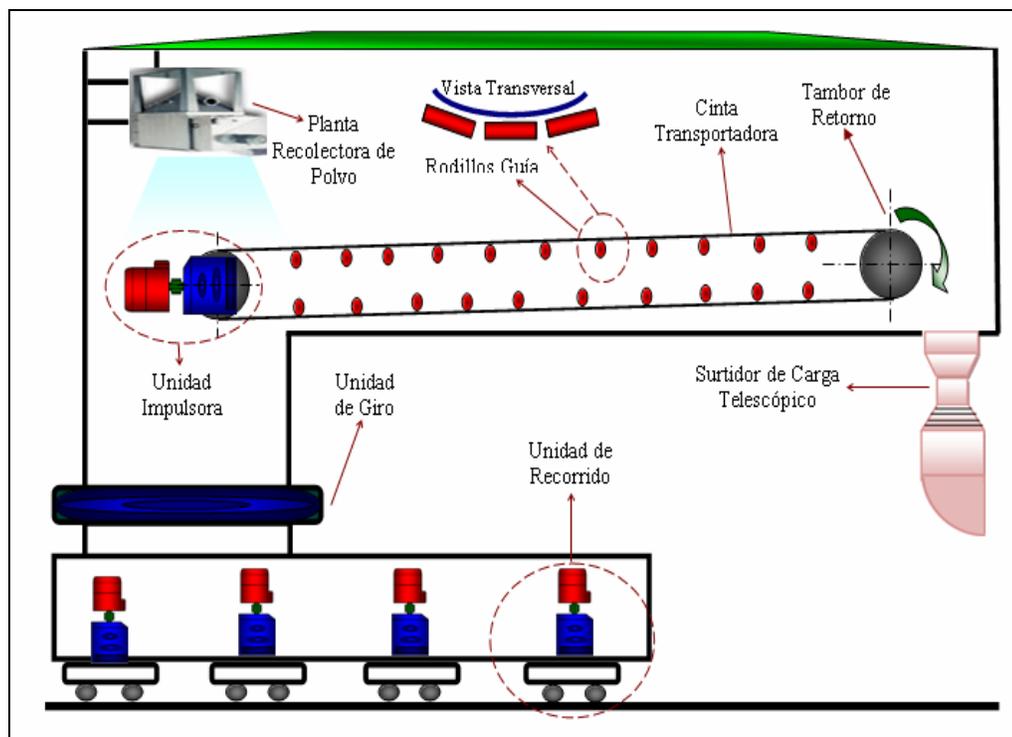


Figura N°4.20 Subsistema Cargador de Barcos SSC 400

Fuente: Propia

❖ Cinta transportadora

La cinta transportadora SBC 400, al igual que la cinta SBC200 y SBC300 es de tipo EP 400/3, y guarda las mismas características en cuanto a esa designación. Esta cinta tiene una longitud de 52m, 1,4m de ancho y se mueve a 3,0m/s, pudiendo acarrear hasta 1000Ton/H (toneladas por horas) de urea. Las fallas presentadas en este equipo son de características muy similares a las que presenta las cintas transportadoras

SB100 y SBC 200, mientras que el tipo de mantenimiento aplicado es el mismo que el de las cintas transportadoras anteriores. En la tabla 4.19 se muestran las características de la cinta transportadora SBC400.

Tabla N°4.19 Datos Técnicos de la Cinta Transportadora SBC 200
Fuente: Pequiven – Jose

CINTA TRANSPORTADORA	
Cantidad: 1	
Código: SBC400	
CARACTERÍSTICAS	
Material de la Cinta	Caucho
Modelo	EP 400/3
Resistencia a la Rotura	400N/mm
Tensión Admisible	40 KN/m
Rata de Manejo	1.000,00 Ton/H
Marca	Bridgestone
Ancho	1,40 m
Espesor de la Cubierta (Arriba/Abajo)	(5 / 2)mm
Longitud	52,0 m
Velocidad de la Cinta	3,0 m/s

❖ Unidad Motriz

La unidad motriz SSC 400 M05, es la encargada de mover la cinta del transportador del cargador de barcos y se encuentra ubicado en la zona de carga de dicho transportador. Esta unidad de impulsión está integrada por un motor de 35KW de potencia, un engranaje recto cónico con eje sólido con una relación de reducción de 16, un acoplamiento flexible entre el motor y la caja de engranaje y un tambor motriz de 0,505m de diámetro por 1,60m de largo con un revestimiento de caucho de 10mm de espesor.

La unidad motriz se puede arrancar solo si no hay ninguna indicación de falla presente en el transportador y en cualquier otro de los subsistemas que conforman el

sistema de carga de urea. La mayoría de de las fallas presente en este equipo son básicamente las mismas que se presentan en las unidades motrices descritas anteriormente, ya que está sometido a las mismas condiciones de trabajo, mientras que el tipo de mantenimiento aplicado, es mayormente preventivo con la presencia de algunos de tipo correctivo.

En la tabla 4.20 se muestra los datos técnicos de la unidad motriz SSC 400 M05.

Tabla N°4.20 Datos Técnicos de la Unidad Motriz SSC 400 M05

Fuente: Pequiven – Jose

UNIDAD MOTRIZ	
Cantidad: 1	
Código: SSC 400 M05	
CARACTERÍSTICAS	
Tamaño de la Caja de Engranaje	JPLB16-R11-G14
Relación Caja de Engranaje	16
Tamaño del Freno	0,25 m
Potencia del Motor	35,00 Kw
Frecuencia del Motor	60,00Hz
Velocidad del Motor (n)	1800,00 rpm
Tambor Motriz [Ø x largo]	[0,505x1,60] m
Revestimiento del Tambor Motriz	Caucho
Espesor del Revestimiento	10,00mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor Motriz	125,00mm

❖ **Tambor de Retorno**

El Tambor de Retorno PBT 440, gira libremente sin ningún tipo de accionamiento, y su función principal es servir de retorno a la cinta transportadora. Los rodamientos del tambor de retorno se diseñan como rodamientos de tensión con tronillo tensor, con características iguales a las del tambor de retorno del transportador de enlace.

En la tabla 4.21 se muestran los datos técnicos del tambor de retorno del transportador del cargador de barcos.

Tabla N°21 Datos Técnicos del Tambor de Retorno PBT 440

Fuente: Pequiven – Jose

TAMBOR DE RETORNO	
Cantidad: 1	
Código: PBT 440	
CARACTERÍSTICAS	
Tambor de Retorno [Ø x largo]	[0,40x1,60] m
Revestimiento	Caucho
Espesor del Revestimiento	10mm
Diámetro del Rodamiento del Tambor	80mm
Tipo de Tensor	Tornillo
Longitud de Tensión	0,30 m

❖ Rodillos Guía

Los rodillos guía TTU-044, son los encargados de soportar la cinta entre los tambores girando libremente, además son los que le dan la forma acanalada a la cinta. En total, están instalados 96 rodillos, ubicados a lo largo de todo el transportador del cargador de barcos. Actualmente gran parte de estos rodillos se encuentran deteriorados en sus rodamientos y superficie de contacto con la cinta, lo que aumenta el desgaste de esta. El mantenimiento aplicado a estos equipos es básicamente el que se aplica a los rodillos instalados en los subsistemas descritos anteriormente.

En la tabla 4.22 se muestran los datos técnicos de los rodillos guía del transportador del cargador de barcos.

Tabla N°4.22 Datos Técnicos de los Rodillos Guía TTU-044 - TTU-045

Fuente: Pequiven Jose

RODILLOS GUÍA	
Cantidad: 50	
Código: TTU-035	
CARACTERÍSTICAS	
Rodillos Guía de Transporte [Ø x largo]	[0,108x0,53] m
Paso	3,0m
Material	Acero al Carbono

❖ Unidad de Recorrido

La unidad de recorrido STC 400, está diseñada para mover sobre rieles a toda la estructura del cargador de barcos. Esta unidad está distribuida en cuatro carros de los cuales actúan dos por cada riel. La unidad de recorrido del riel del lado del mar se diseña como lado fijo, la otra unidad de recorrido, en el riel del lado del transportador elevado con carro deslizante, se diseña como péndulo y por consiguiente compensa las tolerancias de la pista del riel.

En detalle, la unidad de recorrido consta de cuatro impulsores en el lado fijo (lado del mar) y tres impulsores del lado del péndulo (lado del transportador PBC200). Cada impulsor, es un motorreductor colocado verticalmente, montado en el eje de la rueda y se apoya en la estructura de soporte por medio de un brazo terqueado. Cada unidad de impulsión, consta de un motor bridado de 9KW de potencia, un acople flexible entre el motor y reductor de engranajes, colocado en una carcasa montado con bridas y un engranaje cónico recto montado en eje y plato de reducción, con una proporción igual 120. La velocidad que deben mantener estos equipos al transportador tubular es de 30m/min y tiene una distancia de recorrido de 177m. Actualmente, estos equipos se encuentran en un funcionamiento normal con un

número de fallas relativamente bajas, aplicándosele mayormente mantenimiento preventivo. La Figura 4.21 muestra la unidad de recorrido STC 400, mientras que la tabla 4.23 sus datos técnicos.



Figura N°4.21 Unidad de Recorrido STC 400

Fuente: Pequiven – Jose

Tabla N°4.23 Datos Técnicos de la Unidad de Recorrido STC 400

Fuente: Pequiven Jose

UNIDAD DE RECORRIDO	
Cantidad: 1	
Código: STC 400	
CARACTERÍSTICAS	
Distancia de Recorrido	177,00 m
Velocidad de Recorrido	30,00 m/min
Cantidad de Motores Impulsores	7
Potencia de Cada Motor	9 Kw
Frecuencia del Motor	60Hz
Velocidad del Motor (n)	900,00 rpm
Relación de Engranajes	120
Cantidad de Ruedas de Desplazamiento	17
Diámetro de Ruedas	0,63 m

❖ Unidad de Giro

Para girar el transportador a la correcta posición, este se fija a una viga anular la cual se apoya por medio de un aro giratorio de un rodamiento de bolas con corona. Una unidad de accionamiento fijada a la viga anular, permite el movimiento de giro. Actualmente, este equipo se encuentra trabajando en condiciones normales y el mantenimiento que se le aplica es de tipo preventivo. En la figura 4.22 se muestra la ubicación de la unidad de giro, y en la tabla 4.24 sus datos técnicos.



Tabla N°4.22 Unidad de Giro SRT400

Fuente: Pequiven Jose

Tabla N°4.24 Datos Técnicos de la Unidad de Giro SRT400

Fuente: Pequiven Jose

UNIDAD DE GIRO	
Cantidad: 1	
Código: SRT 400	
CARACTERÍSTICAS	
Rodamiento de Giro	Esférico Plano
Tipo de Rodamiento	De Bola
Diámetro del Rodamiento	2,858/2,429 m
Angulo de Giro	55°/90°
Velocidad de Giro	10 m/min
Engranaje de Giro	Cónico Recto
Tipo de Engranaje	Planetario
Relación	2,324 m
Potencia del Motor Eléctrico de Giro	3,00 Kw
Frecuencia del Motor	60Hz
Velocidad del Motor (n)	900,00 rpm

❖ Surtidor de Carga Telescópico

El surtidor de carga telescópico, está ubicado en el extremo de la descarga del transportador del cargador de barco. Este surtidor, se ha diseñado como un tobogán telescópico que se adapta a la longitud a tamaño del barco. Un polipasto con motor de 3.4KW de potencia, sube y baja el tobogán a una velocidad de 4,4 m/min. Este equipo se encuentra trabajando sin mayores problemas, aunque ha presentado algunas fallas inesperadas, sin embargo el tipo de mantenimiento que se aplica con regularidad es preventivo. En la figura 4.22 se muestra el surtidor de carga telescópico, mientras que en la tabla 4.25 sus datos técnicos.



Figura N°4.22 Surtidor de Carga Telescópico SSC 101

Fuente: Pequiven Jose

Tabla N°4.25 Datos Técnicos del Surtidor de Carga Telescópico SSC 101

Fuente: Pequiven Jose

SURTIDOR DE CARGA TELESCÓPICO	
Cantidad: 1	
Código: SSC 101	
CARACTERÍSTICAS	
Longitud Total Extendido	17,64 m
Longitud Total Retirado	5,58 m
Elevación	12,06 m
Fuerza del Guinche de Elevación	30 KN
Velocidad de Elevación	4,40 m/min
Potencia Instalada	3,40 Kw

4.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Una vez realizado el diagnóstico a todos los subsistemas que conforman el sistema de carga de urea, se pudo conocer los tipos de fallas que han presentado cada uno de sus equipos, el estado en que se encuentran, el tipo de mantenimiento que se les está aplicando, sus estándares de funcionamiento, entre otras cosas. En la tabla 4.26, se muestran los cuatros subsistemas y cada uno de los equipos que lo integran.

Tabla N°4.26 Equipos de los Subsistemas que Integran el Sistema de Carga de Urea

SISTEMA DE CARGA DE UREA			
Subsistema	Código	Equipos	Código del Equipo
Transportador Tubular	PBC 100	Cinta Transportadora	SBC100
		Unidad motriz	PBC100 M01- PBC100 M02
		Tambores Guía	PBC100 T01
		Guinche Eléctrico Tensor	PBT-110 M01
		Rodillos Guía	TTU-015
		Planta Recolectora de Polvo	BRT 100 - BRT 200
Transportador Elevado con Carro Deslizante	PBC 200	Cinta Transportadora	SBC 200
		Unidad motriz	SBC 200 M03
		Tambores Guía	SBC 200 T05
		Dispositivo Tensor	PBT 220
		Rodillos guía	TTU-025
		Planta Recolectora de Polvo	BRT 300
		Carro Deslizante	STC 200
Transportador de Enlace	PBC 300	Cinta Transportadora	SBC 300
		Unidad motriz	SBC 300 M04
		Tambor de Retorno	PBT 330
		Rodillos Guía	TTU-035
		Planta Recolectora de Polvo	BRT 400
Cargador de Barcos	SSC 400	Cinta Transportadora	SBC 400
		Unidad motriz	SSC 400 M05
		Tambor de Retorno	PBT 440
		Rodillos Guía	TTU-044
		Unidad de Recorrido	STC 400
		Unidad de Giro	SRT 400
		Surtidor de Carga Telescópico	SSC 101

Con la intención de incrementar la efectividad de la gestión del mantenimiento y mejorar los niveles de rentabilidad del sistema de producción, es necesario jerarquizar

los equipos y establecer hacia cuales de ellos se deben dirigir todos los esfuerzos y metodologías de mantenimiento. Esto se hace con el objetivo de que las estrategias de mantenimiento implementadas, tengan el mayor impacto en el buen funcionamiento del sistema en donde estos equipos operan. La forma más idónea de establecer esta jerarquización de activos, es mediante un análisis de criticidad. En la realización de este trabajo, la jerarquización de equipos fue establecida mediante dos metodologías de análisis de criticidad, la primera el análisis de Impacto-Esfuerzo para la jerarquización de los subsistemas y la segunda la metodología D.S. para la jerarquización de los equipos del subsistema más crítico.

4.2.1 Análisis de Impacto – Esfuerzo

Con la finalidad de orientar las acciones de mantenimiento hacia aquel subsistema que al presentar fallas, causa mayor daño a la rentabilidad integral del proceso productivo de la empresa, el ENT decidió implementar un análisis de Impacto-Esfuerzo. Esta metodología permitió establecer una estructura jerarquizada o de prioridades de los cuatro subsistemas que integran el Sistema de Carga de Urea, con el fin de orientar las acciones de mantenimiento hacia el subsistema con la prioridad más alta.

El primer paso para la realización de este estudio, fue la revisión de los factores involucrados en la matriz Esfuerzo-Impacto por parte del ENT, el cual decidió en consenso, trabajar con los factores presentados en la metodología sin realizar ningún cambio, esto por considerar que los mismos se ajustan muy bien al contexto operacional del sistema de carga de urea.

En la tabla 2.1 (en el capítulo II), se puede observar la guía de impacto que muestra cada uno de los factores que intervienen en la aplicación de la matriz, como son: porcentaje de procesamiento de materia prima afectado, tiempo promedio para

reparar, impacto en la producción, costo de reparación, impacto en seguridad e impacto ambiental. La recolección de la información necesaria para la ejecución de este estudio, se realizó a través de encuestas tanto para la determinación del impacto, así como también para la determinación del esfuerzo para los diferentes subsistemas en estudio. En la tabla 4.27 se muestra un ejemplo de las encuestas de impacto que se le realizó al ENT, donde se obtuvieron las ponderaciones para cada uno de los subsistemas del Sistema de Carga de Urea.

Tabla N°4.27 Encuesta de Impacto de los Subsistemas del Sistema de Carga de Urea

Fuente: Propia

Subsistema	1	2	3	4	5	6
	Procesamiento de Urea Afectado	Tiempo Promedio Para reparar (H)	Impacto en Producción	Costo de Reparación (Bs.F.)	Impacto en Seguridad	Impacto Ambiental
Transportador Tubular (PBC100)	9	4	1	25	25	30
Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC200)	6	4	0,8	10	25	15
Transportador de Enlace (PBC300)	4	2	0,5	5	25	15
Cargador de Barcos (SSC400)	12	4	0,8	10	35	15
Nombre: José García			Cargo: Gerente de Mantenimiento			

Una vez realizada la encuesta a todos los integrantes del ENT, se tomó como resultado final las ponderaciones más comunes de cada factor, en caso de existir

empates entre ponderaciones, se escoge la más alta. En la tabla 4.28 se presentan los resultados de las ponderaciones de cada factor de impacto para cada uno de los subsistemas en estudio.

Tabla N°4.28 Resultados de Impacto de los Subsistemas del Sistema de Carga de Urea

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.	Resultados de la Encuesta de Impacto de los Subsistemas del Sistema de Carga de Urea					
SUBSISTEMA	1	2	3	4	5	6
	Procesamiento de Urea Afectado	Tiempo Promedio Para reparar	Impacto en Producción	Costo de Reparación	Impacto en Seguridad	Impacto Ambiental
Transportador Tubular (PBC100)	9	6	1	25	25	30
Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC200)	6	4	0,5	5	25	0
Transportador de Enlace (PBC300)	6	2	0,8	5	25	15
Cargador de Barcos (SSC400)	9	4	0,8	10	25	15

Luego de establecidas las ponderaciones por cada factor de impacto, se procedió a insertarlas en la ecuación 2.1 (presentada en el capítulo II), con la cual se calcularon los impactos totales por cada subsistema, para luego clasificarlos según la escala mostrada en la tabla 2.2 (presentada en capítulo II). A continuación se muestra un ejemplo del cálculo de impacto, sustituyendo los valores de impacto en la ecuación 2.2 para el Transportador Tubular PBC 100

$$\text{Impacto} = (\% \text{ P.A} \times \text{TPPR} \times \text{I.P}) + \text{C.R} + \text{I.S} + \text{I.A} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$\text{Impacto} = (9 \times 6 \times 1) + 25 + 25 + 30 = 134$$

Los resultados del impacto total y de la escala correspondiente a cada subsistema se muestran en la tabla 4.29.

Tabla N°4.29 Resultados del Impacto Total y la Escala Correspondiente a Cada Subsistema

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.	IMPACTO TOTAL SOBRE LOS SUBSISTEMAS Y LA ESCALA CORRESPONDIENTE	
SUBSISTEMA	IMPACTO TOTAL	ESCALA
Transportador Tubular (PBC100)	134	5
Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC200)	42	3
Transportador de Enlace (PBC300)	54,6	3
Cargador de Barcos (SSC400)	78,8	3

Para la obtención de los valores de esfuerzo, también fue necesario realizar una encuesta a los integrantes del ENT, para este caso se utilizó las tres preguntas básicas utilizada por la metodología, con las que se puede determinar el nivel de esfuerzo necesario para reestablecer el subsistema una vez que ha presentado fallas. En la tabla 4.30 se muestra un ejemplo de esta encuesta.

Tabla N°4.30 Encuesta Esfuerzo Sobre los Subsistemas del Sistema de Carga de Urea
Fuente: Propia

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.	Encuesta de Esfuerzos para los Subsistema del Sistema de Carga de Urea		
Cual es el esfuerzo necesario para reestablecer los subsistemas del Sistema de Carga de Urea, una vez que han presentado falla. Marque con una "X" cualquiera de las opciones de esfuerzo, según su criterio.			
SUBSISTEMAS	ESFUERZO		
	Solución directa. Se dispone de recursos propios (Humano, material y repuesto)	Se identificaron alternativas de solución, sin embargo no se dispone del 100 % de los recursos para ejecutar la actividad	Se requiere de la intervención de especialista externos o recursos no disponibles
Transportador Tubular (PBC100)			X
Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC200)		X	
Transportador de Enlace (PBC300)		X	
Cargador de Barcos (SSC400)		X	
Nombre: José García		Cargo: Gerente de Mantenimiento	

Una vez realizada las encuestas, se procedió a elaborar una tabla donde se representa el esfuerzo en escalas (1: fácil, 3: moderado y 5: difícil) necesario para el reestablecimiento de los subsistemas cuando estos presentan fallas. En la tabla 4.31 se presentan los resultados de las escalas de esfuerzo.

Tabla N°4.31 Resultados de Esfuerzo Sobre los Subsistemas del Sistema de carga de Urea

 Resultados de Esfuerzo Sobre los Subsistemas del Sistema de carga de Urea	
SUBSISTEMAS	ESFUERZO
Transportador Tubular(PBC100)	3 Moderado
Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC200)	3 Moderado
Transportador de Enlace(PBC300)	3 Moderado
Cargador de Barcos (SSC400)	3 Moderado

Una vez obtenido los valores de impacto y esfuerzo para cada uno de los subsistemas del sistema de carga de urea, se procedió a construir la matriz de prioridades. En las figura 4.23 y 4.24 se muestra un ejemplo de la aplicación de la matriz de prioridades al subsistema Transportador Tubular (PBC100).

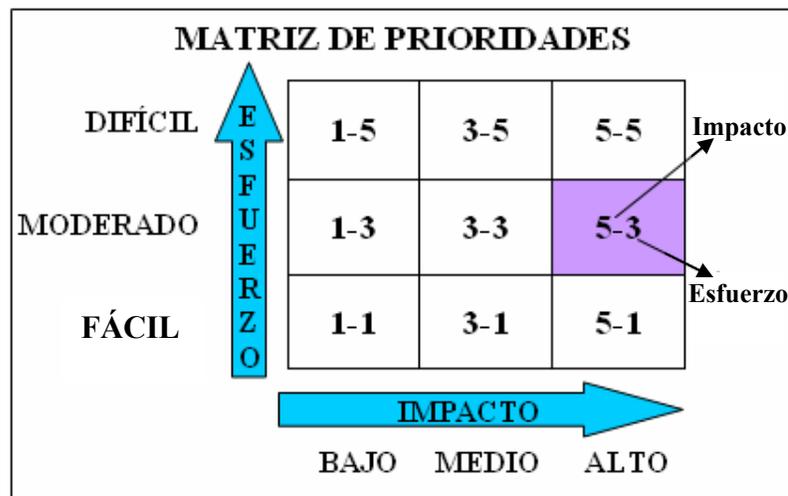


Figura N°4.23 Matriz de Prioridad Para el Subsistema Transportador Tubular PBC100

Fuente: Confima & Consultores

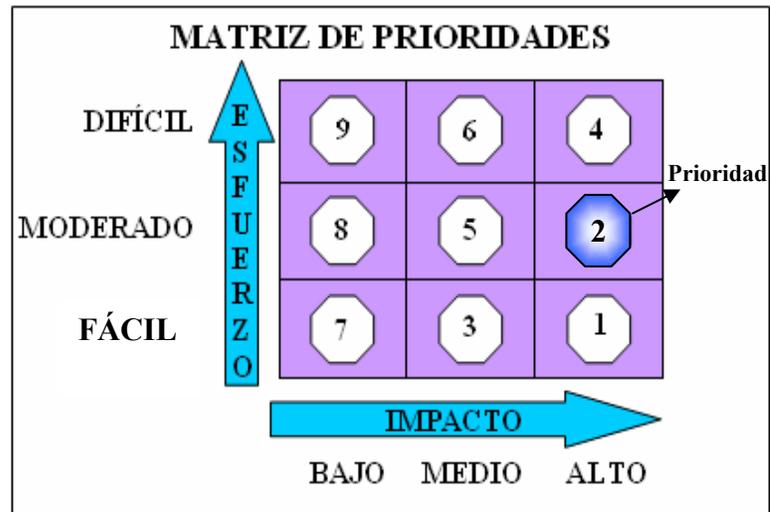


Figura N°4.24 Prioridades el Subsistema Transportador Tubular PBC100
Fuente: Confima & Consultores

En la tabla 4.32 se muestra el resultado final del análisis de Impacto-Esfuerzo, donde se presentan los subsistemas en estudio pertenecientes al sistema de carga de urea, la posición que ocupa cada uno de ellos dentro de la matriz de criticidad, además un resumen con todos los resultados obtenidos de esfuerzo e impacto .

Tabla N°4.32 Resultados del Análisis de Impacto-Esfuerzo para el Sistema de Carga de Urea

 Petroquímica de Venezuela, S.A.		RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE IMPACTO – ESFUERZO		
SUBSISTEMA	Impacto	Escala de Impacto	Esfuerzo	Prioridad
Transportador Tubular (PBC100)	134	5	3	2
Transportador Elevado con Carro Deslizante (PBC200)	42	3	3	5
Transportador de Enlace (PBC300)	54,6	3	3	5
Cargador de Barcos (SSC400)	78,8	3	3	5

Después de haber realizado la jerarquización de los subsistemas que integran el sistema de carga de ureas, el ENT determinó que el subsistema crítico es el **Transportador Tubular (PBC100)**. Este subsistema obtuvo una prioridad 2, la cual es la más alta en comparación con las de los demás subsistemas, por lo tanto fue considerado para análisis posteriores.

4.2.2 Metodología D.S. Para El Análisis de Criticidad del Subsistema Transportador Tubular PBC 100.

Después de haber estudiado las metodologías D.S. y de PDVSA para el análisis de Criticidad de los equipos que integran el transportador tubular, el ENT decidió que se realizara este análisis implementando la metodología D.S., ya que es la metodología que mejor se ajusta a la realidad operativa de la planta. Entre los factores que se tomaron en cuenta y que llevaron a la escogencia de esta metodología, está la cantidad de fallas en el periodo evaluado, donde se pudo saber que en la metodología de PDVSA la frecuencia de falla es muy prolongada, esta situación impide que se realice una jerarquización eficiente. Sin embargo la metodología D.S. trabaja con frecuencias de fallas que se ajustan muy bien a la realidad operativa de los equipos del transportador tubular, además esta metodología ofrece el factor de Backlog el cual determina el periodo de tiempo para que el equipo de mantenimiento mecánico de la empresa realice todas las actividades de mantenimiento pendiente que no se ejecutaron en el periodo en estudio.

Esta metodología tiene la particularidad de adecuarse al contexto operacional de cualquier empresa, es decir los parámetros pueden ser modificados y adaptados al proceso productivo de una empresa en específico. Los factores escogidos en esta etapa, son según el criterio del ENT, los que mejor definen la situación de los equipos analizados en el periodo de estudio (año 2007), debido a que son cuantificables y muy

bien conocidos por el personal de la empresa. Por consiguiente se seleccionaron todos los parámetros considerados en la metodología D.S., los cuales son los siguientes:

Del Área de Mantenimiento:

- ♦ Cantidad de Fallas ocurridas en el año 2007
- ♦ Tiempo Promedio Fuera de Servicio (MTFS) en horas en el año 2007.
- ♦ Disponibilidad de Repuestos (DR) en el año 2007.
- ♦ Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el año 2007.
- ♦ Efectividad (E) en el año 2007.
- ♦ Backlog (B) Semanas.

Del área de operaciones:

- ♦ Tipo de Conexión.
- ♦ Costo de Producción.
- ♦ Impacto sobre la seguridad industrial, ambiente y la higiene ocupacional (SIAHO) en el año 2007.

Estos parámetros fueron ponderados según lo establece la metodología D.S., del uno al tres, uno para lo menos severo y tres para lo más severo, tal y como se muestra en la tabla 2.4 (presentada en el Capítulo II) donde se observa la matriz de criticidad, la cual contiene los factores a evaluar y la ponderación de cada uno de ellos. La criticidad de los equipos, fue calculada mediante la ecuación 2.1, mientras que las constantes del área de mantenimiento (K_1) y del área operacional (K_2), mantienen los valores establecidos por la metodología D.S. para los parámetros utilizados (K_1 : 0,0278 y K_2 : 0,0555). Estos valores serán los introducidos en la ecuación 2.1 a modo de garantizar que el valor de criticidad nunca supere la cifra de 100%.

$$\text{Criticidad del Equipo} = [K_1 * (\Sigma A.M.) + K_2 * (\Sigma A.O.)] \times 100 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Para la clasificación de la criticidad de los equipos en estudio, El ENT decidió por consenso que los equipos deben clasificarse en crítico, semi-crítico o no crítico, tal y como lo propone la metodología. Esta información se presenta en la tabla la tabla 4.32.

Tabla 4.33 Parámetros para Clasificar la Criticidad de los Equipos Bajo Estudio

PARÁMETROS PARA ESTABLECER CRITICIDAD
No crítico ($32 \leq \% \text{ Criticidad} < 50$)
Semi-crítico ($50 \leq \% \text{ Criticidad} < 70$)
Crítico ($\% \text{ Criticidad} \geq 70$)

Con el objeto de recabar la información necesaria para la ejecución del análisis de criticidad, el ENT decidió realizar una encuesta (en el apéndice A se muestra el formato de encuesta utilizado), esta encuesta fue realizada a cada uno de los integrantes del ENT, y formula básicamente las mismas preguntas que se hacen en la matriz de criticidad D.S.

En la tabla 4.33 se listan los encuestados, su ocupación en la empresa Pequiven y la ponderación para cada uno. Esta ponderación fue establecida por el ENT a los encuestados con la finalidad de crear un método que permitiera elegir un criterio por cada factor.

Tabla 4.34 Encuestados Para el Análisis de Criticidad

Nombre y Apellido	Cargo	Ponderación [%]
José Gracia	Gerente de Mantenimiento	30
Robin Sánchez	Supervisor de Mecánica	30
Neyfabian Martín	Planificador de Electricidad	15
José López	Planificador de Mecánica	
Miguel Aguana	Operador de Área	15
Jesús Aguilera	Operador de Área	
Freddy Malavé	Mecánico de Área	10
Total:		100

Luego de implementada la encuesta, se procedió a ordenar los datos arrojados por ésta, con la finalidad de elegir un criterio por cada factor. Para este proceso el equipo natural de trabajo decidió asignar una ponderación cada encuestado, tomando en cuenta el grado de conocimiento y la responsabilidad que tienen en la empresa. En la tabla N°4.35 se muestra un ejemplo del método de selección de los criterios a utilizar.

Tabla 4.35 Método de Selección de Criterios para Evaluar los Factores de Criticidad.

ENCUESTADO	Equipo: Cinta Transportadora SBC 100		
	OPCIONES		
	1a) $F=1$	1b) $1 < F < 12$	1c) $F \geq 12$
José Gracia			30%
Robin Sánchez		30%	
Neyfabian Martín		15 %	
José López			
Miguel Aguana			15 %
Jesús Aguilera			
Freddy Malavé		10 %	
Criterio seleccionado		1b	

Ya con todos los criterios seleccionados, mediante la metodología previamente expuesta, se procedió a introducirlos en la matriz de criticidad para obtener la criticidad del equipo estudiado. Este procedimiento fue aplicado a todos los equipos que integran el subsistema Transportador Tubular PBC100 del Sistema de carga de Urea. A continuación en la tabla N°4.36 se muestra un ejemplo de matriz de criticidad correspondiente a la Cinta de Caucho SBC100.

Tabla 4.36 Matriz de Criticidad de la Cinta de Caucho SBC100

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.	Equipo:		Sistema:		Realizado:	
	Cinta de Caucho		Transportador Tubular			
	Código:		Evento de control:			
	SBC 300		Año 2007			
ÁREA DE MANTENIMIENTO						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Elegido	Puntos
		Dinámico	Estático			
1) Cantidad de Fallas en el periodo evaluado	1a)	$F=1$	$0 < F < 1$	1	1b	2
	1b)	$1 < F < 12$	$1 < F < 3$	2		
	1c)	$F \geq 12$	$F \geq 3$	3		
2) Tiempo promedio fuera de servicio en el periodo evaluado (MTFS) en horas	2a) $TPFS \leq 4$			1	2c	3
	2b) $4 < TPFS < 8$			2		
	2c) $TPFS \geq 8$			3		
3) Disponibilidad de repuestos en el periodo evaluado (DR)	3a) $DR \geq 80\%$			1	3c	3
	3b) $50 \leq DR < 80\%$			2		
	3c) $DR < 50\%$			3		
4) Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP)	4a) $75\% \leq CMP \leq 100\%$			1	4b	2
	4b) $50\% \leq CMP < 75\%$			2		
	4c) $0\% \leq CMP < 50\%$			3		
5) Efectividad (E)	5a) $E \geq 80\%$			1	5b	2
	5b) $50 \leq E < 80\%$			2		
	5c) $E < 50\%$			3		
6) Backlog (B) Semanas	6a) $0 \leq B \leq 2$			1	6b	2
	6b) $2 \leq B \leq 5$			2		
	6c) $B > 5$			3		
Total puntos obtenidos en el área de mantenimiento ($\Sigma A.M.$)						14
ÁREA OPERACIONAL						
Factor a Evaluar	Criterios			Ponderación	Criterio Elegido	Puntos
7) Tipo de conexión	6a) Sistema Paralelo			1	7c	3
	6b) Sistema Combinación			2		
	6c) Sistema Serie			3		
8) Seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional (SIAHO)	7a) Sin Consecuencias			1	8b	2
	7b) Efecto Temporal			2		
	7c) Efecto Permanente			3		
9) Costos de Producción	9a) Igual a la meta			1	9c	3
	9b) Menor a la meta			2		
	9c) Mayor a la meta			3		
Total puntos obtenidos en el área operacional ($\Sigma A.O.$)						8
% Criticidad del equipo = $[K1 * (\Sigma A.M.) + K2 * (\Sigma A.O.)] \times 100$						83,32

Este procedimiento realizado para cada equipo, se hizo con la ayuda de una hoja de cálculo programada en Microsoft Excel, con lo cual se acortó el tiempo empleado para obtener los resultados del análisis hecho. En la figura 4.25 se muestra un ejemplo del cálculo de la criticidad en Excel, para la Cinta Transportadora SBC100.

Cálculo de Criticidad	
Subsistema Transportador Tubular PBC100	
Equipo: Cinta de Caucho (SBC 100)	
Área de Mantenimiento	
Factor Evaluado	Puntos
Cantidad de Fallas	2
Tiempo Promedio fuera de servicio	3
Disponibilidad de repuestos	3
Cumplimiento del mantenimiento preventivo	2
Efectividad	2
Backlog	2
Σ Puntos Área de Mantenimiento: 14	
Área Operacional	
Factor Evaluado	Puntos
Tipo de conexión	3
SLAHO	2
Costos de Producción	3
Σ Puntos Área Operacional: 8	
% Criticidad del equipo : 83,32	

Figura N°4.25 Hoja Programada Microsoft Excel para el Cálculo de la Criticidad

A continuación en la tabla 4.37 se muestran los resultados arrojados por el Análisis de Criticidad de los Equipos del Subsistema Transportador Tubular del Sistema de Carga de Urea.

Tabla N°4.37 Resultados del Análisis de Criticidad del Subsistema Transportador Tubular PBC100 del Sistema de Carga de Urea

Equipo	Código	Criticidad [%]	Clasificación
Cinta Transportadora	SBC 100	83,32	Critico
Unidad Motriz	PBC100 M01 PBC100 M02	80,54	Critico
Tambores Guía	PBC100 T01	66,65	Semicrítico
Guinche Eléctrico Tensor	PBT-110 M01	74,99	Critico
Rodillos Guía	TTU-015	44,45	No Critico
Planta Recolectora de Polvo	BRT 100 BRT 200	52,76	Semicrítico

En la figura 4.26 se representan los resultados obtenidos del análisis de criticidad mediante un diagrama de barras.

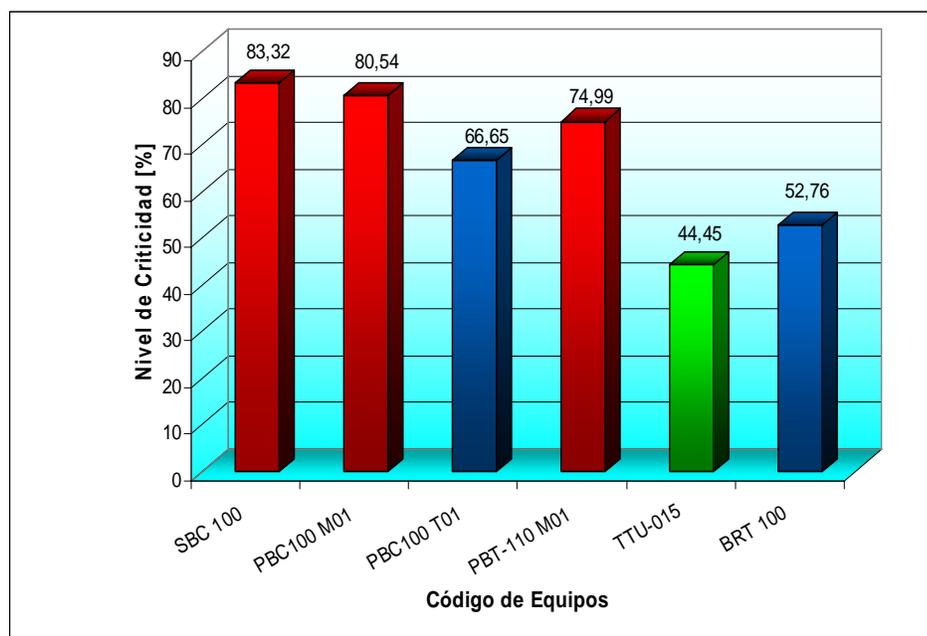


Figura N°4.26 Criticidad de los Equipos que Conforman el Subsistema Transportador Tubular del Sistema de Carga de urea

4.3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (AMEF) A LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CARGA DE UREA

Una vez obtenido los equipos críticos del subsistema Transportador Tubular (PBC100) del Sistema de carga de Urea, se elaboró un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) de los equipos que resultaron críticos. Como primer paso el ENT fijó el nivel de detalle a utilizar. Luego se establecieron las funciones y estándares de funcionamiento de estos equipos, sus fallas funcionales, los modos de falla de cada falla funcional y los efectos que produce cada modo de falla.

4.3.1 Definición de las funciones principales de los equipos críticos

Primeramente se revisaron los manuales del fabricante, luego se hicieron consultas a los operadores y al personal que trabaja con los equipos, Mediante este estudio se pudo conocer más a profundidad el sistema de carga de urea.

4.3.2 Fallas Funcionales

Para definir una falla funcional sólo se requiere escribir la función en sentido negativo, es decir, negar la función, de forma parcial o total.

Para identificar los modos y efectos de las fallas, se revisaron manuales de funcionamiento de los equipos en estudio, se consultó y entrevistó al personal de la empresa, también se tomo en cuenta literaturas que hacen referencias a fallas características de estos equipos, tomándose en cuenta algunas fallas que no han ocurrido pero que pudieran ocurrir.

A continuación en las tablas numeradas desde la 4.38 hasta la 4.46, se muestra el Análisis de Modos y Efectos de Falla hecho a cada uno de los equipos críticos.

Tabla N°4.38 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA		Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:
				Lino Márquez	04/09/08	1
		Subsistema: Transportador Tubular PBC 100 Equipo: Cinta Transportadora SBC 100		Revisado por:	Fecha:	De:
				Ing. José García	01/10/08	1
Función		Falla Funcional	Modo de Falla		Efecto de Falla	
1	Transportar urea desde la torre de transferencia costa adentro hasta el transportador elevado con carro deslizante a razón de 1.000 Ton/H y una velocidad de Transporte de 3,80 m/s	A La cinta es incapaz de transportar urea hasta el transportador elevado con carro deslizante	1	Entorchamiento de la cinta.	Al haber entorchamiento de la cinta ocurre de inmediato el derrame de urea, obligando a la paralización del proceso.	
			2	Tensión de la cinta mayor a la requerida para su funcionamiento.	La alta tensión en la cinta produce irregularidad en su forma tubular, ocasionando el derrame de material, generando esto la paralización del proceso de carga.	
			3	Ruptura de la cinta.	Al haber ruptura de la cinta se produce el derrame de urea. Esta situación genera la paralización del proceso de carga.	
			4	Desgaste de la cinta.	El desgaste de la cinta genera el deterioro prematuro de otros equipos del sistema, tales como los rodillos guías. A demás produce entorchamiento y desalineación de la cinta.	
			5	Desalineación de la cinta	Cuando se desalinea la cinta, ocurre de inmediato el derrame de material, obligando a la paralización del sistema para realizar la alineación de la misma.	

Tabla N°4.39 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA		Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:
				Lino Márquez	04/09/08	1
		Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Revisado por:	Fecha:	De:
		Equipo: Cinta Transportadora SBC 100		Ing. José García	01/10/08	1
Función		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de Falla	
	B	La cantidad de material entregado por la cinta es menor a 1000 Ton/H.	1	Tensión de la cinta menor a la requerida para su funcionamiento.	La falta de tensión en la cita no permite que esta se adhiera a los tambores, en consecuencia su velocidad es menor a la necesaria para transportar la cantidad de producto requerido, ocasionando pérdidas por demoras a la empresa.	
			2	Sobre llenado de la cinta	Al ocurrir el sobre llenado de la cinta el sistema automáticamente indica la falla, debido a que se mide la altura de material de la cinta, esta situación obliga a la paralización del sistema mientras se corrige la falla	

Tabla N°4.40 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA			Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:
		Subsistema: Transportador Tubular PBC 100			Lino Márquez	04/09/08	2
		Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02			Revisado por:	Fecha:	De:
				Ing. José García	01/10/08	4	
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla	
Impulsar la cinta transportadora para que se mueva a una velocidad de 3,8m/s	A	La unidad motriz no es capaz de impulsar la cinta transportadora.	1	Desalineación entre el motor y la caja reductora por pernos de anclaje flojos	Se genera fatiga y rotura de los bujes del acople, se dañan los cojinetes y ejes tanto del motor como de la caja reductora		
			2	Paralización súbita del reductor durante del proceso de carga.	Al ocurrir esta falla debe detenerse el motor impulsor de inmediato para prevenir que este se dañe, así como también proteger el acople. Por su puesto el proceso de carga se paraliza inevitablemente.		
			3	Desajuste del acople flexible entre el motor eléctrico y la caja de engranaje.	Este desajuste crea un alto nivel de vibración y puede causar daños irreversibles a otros componentes del equipo si no se paraliza el proceso.		
			4	Empacaduras de la caja reductora dañadas.	Al dañarse cualquiera de las empacaduras que posee la caja, ocurre el derrame de lubricante, esto puede causar daños irreversibles a los componentes del equipo.		
			5	Elementos de fijación en la caja reductora desajustados.	Esto produce altas vibraciones y ruidos excesivos, esto es un indicador de que debe paralizarse el equipo para evitar daños a otros componentes del sistema.		
			6	Nivel de aceite de la caja reductora bajo.	Esto requiere que se intervenga el equipo para corregir la falla, surtir con suficiente lubricante la caja y así evitar daños a los engranajes.		
			7	Desalineación en el eje de entrada y/o salida de la caja reductora.	A demás de las altas vibraciones, es posible que esto pueda dañar rápidamente tanto al motor como al tambor motriz.		

Tabla N°4.41 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA		Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:
				Lino Márquez	04/09/08	3
		Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Revisado por:	Fecha:	De:
		Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02		Ing. José García	01/10/08	4
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de Falla			
		8 Eje del motor gira en sentido contrario.	Se producen daños en los cojinetes y demás componentes internos. Esta situación obliga a la paralización del proceso de carga.			
		9 Fuga de aceite de la caja reductora.	Esto ocasiona que se intervenga el equipo para la corrección de la falla y así evitar daños al ambiente y al propio equipo.			
		10 Cable de la bobina de disparo roto, flojo o sulfatado.	Se produce una ausencia de corriente en el motor que hace que este no pueda arrancar.			
		11 Avería en los rodamientos del motor.	Aumenta el consumo de corriente del motor eléctrico acompañado de vibraciones y un ruido excesivo.			
		12 El motor se recalienta.	Luego de cierto tiempo de funcionamiento el indicador de temperatura del motor, reporta un grado de temperatura por encima del rango normal, llevando al operador a detener el equipo, evitando así daños irreversibles en el equipo.			
		13 Motor eléctrico dañado. Estator quemado.	El motor se detiene por alta temperatura de devanado. Se detiene el proceso de carga.			
		14 Anclajes de la chumacera ubicada entre el tambor y la caja reductora flojos.	Se origina altos niveles de vibración, dañando eje y rodamiento. Esto produce un movimiento irregular del tambor.			
		15 Fusibles del motor fundidos.	Se apaga el motor ya que no ingresa corriente hacia él.			

Tabla N°4.42 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA		Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:
				Lino Márquez	04/09/08	4
		Subsistema:	Equipo:	Revisado por:	Fecha:	De:
Transportador Tubular PBC 100	Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02	Ing. José García	01/10/08	4		
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de falla			
		16 Cortocircuito en el embobinado del motor.	Estando en funcionamiento, se produce el corto circuito, lo que produce una especie de explosión, la cual obliga a la paralización del equipo.			
		17 Tensión eléctrica muy baja	El motor no arranca debido a insuficiencia de energía.			
		18 Rodamientos del motor totalmente dañados.	Este hecho produce que el eje no gire con libertad, y más aun no permite que se inicie el funcionamiento normal del motor, ocasionando un alto consumo de amperaje.			
		19 Defectos en los dispositivos de arranque.	Debido a estos defectos el motor no arranca, esto no permite el despacho de material a los buques.			
		20 Espiras del motor en contacto.	Esto produce excesivas vibraciones lo que obliga a la paralización del equipo.			
		21 Mal funcionamiento de los dispositivos de protección del motor eléctrico.	El motor no se detiene y se puede recalentar ocasionando daños irreparables en los componentes internos del mismo.			
		22 Sobrecarga de energía.	Se producen daños en el embobinado y hay una alta probabilidad de que se produzca un cortocircuito que dañe el motor.			
		23 Ventilación del motor insuficiente.	Se producen daños en el embobinado y se puede producir un cortocircuito.			

Tabla N°4.43 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA		Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:	
				Lino Márquez	04/09/08	1	
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de Falla	
		Transportador Tubular PBC 100		Ing. José García	01/10/08	4	
		Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02					
	B	El equipo genera una velocidad en la cinta menor a 3,8m/s.	1	Desgaste en el eje de los tambores motrices.	Se crea un alto nivel de vibración por exceso de holgura entre el eje y los cojinetes. Esto puede afectar los cojinetes y otros componentes del equipo.		
			2	Desgaste del revestimiento del tambor motriz.	El desgaste de este revestimiento no permite que la cinta transportadora se adhiera con facilidad al tambor, reduciendo su velocidad.		
			3	Rodamientos del tambor motriz dañado.	Esto genera altas vibraciones, poniendo en peligro otros componentes del equipo, a demás aumenta el consumo de amperaje por parte del motor.		
			4	Velocidad del eje de salida de la caja menor a la requerida para el tambor impulsor.	Esto implica una velocidad del tambor motor menor a la requerida para que el transportador tubular entregue la cantidad de urea requerida para ese momento, causando demora en la carga de los buques.		
			5	Deterioro de rodamientos de ejes de entrada y/o salida de la caja reductora.	Esto afecta la velocidad del eje de salida de salida así como también puede causar vibraciones fuera de lo normal y un alto consumo de amperaje.		
			6	Rodamientos de los ejes de los piñones y coronas dañados.	Esto produce un funcionamiento descontrolado y desajustado de dichos engranajes, causando vibraciones fuera de lo normal acompañadas de ruidos excesivos, a demás causa variación en la velocidad de salida requerida.		

Tabla N°4.44 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA		Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:
				Lino Márquez	04/09/08	2
Función		Falla Funcional		Modo de Falla		Efecto de falla
						De:
1 Proporcionar 80KN/m de tensión a la Cinta del Transportador Tubular.		A El guinche es incapaz de proporcionar tensión a transportador tubular.		1 Cortocircuito en el embobinado del motor.		Estando en funcionamiento, se produce el corto circuito, lo que produce una especie de explosión, la cual obliga a la paralización del equipo.
				2 El motor se recalienta.		Luego de cierto tiempo de funcionamiento el indicador de temperatura del motor, reporta un grado de temperatura por encima del rango normal, llevando al operador a detener el equipo, evitando así daños irreversibles en el equipo.
				3 Tensión eléctrica muy baja		El motor no arranca debido a insuficiencia de energía.
				4 Rodamientos del motor totalmente dañados.		Este hecho produce que el eje no gire con libertad, y más aun no permite que se inicie el funcionamiento normal del motor, ocasionando un alto consumo de amperaje.
				5 Defectos en los dispositivos de arranque.		Debido a estos defectos el motor no arranca, esto genera irregularidad en la tensión de la cinta.
				6 Espiras del motor en contacto.		Esto produce excesivas vibraciones lo que obliga a la paralización del equipo.
				7 Mal funcionamiento de los dispositivos de protección del motor eléctrico.		El motor no se detiene y se puede recalientarse ocasionando daños irreparables en los componentes internos del mismo.
				8 Sobrecarga de energía.		Se producen daños en el embobinado y hay una alta probabilidad de que se produzca un cortocircuito que dañe el motor.

Tabla N°4.45 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA		Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:	
				Lino Márquez	04/09/08	3	
		Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Revisado por:	Fecha:	De:	
Equipo: Guinche Eléctrico Tensor de la Cinta PBT-110 M01		Ing. José García	01/10/08	3			
Función		Falla Funcional	Modo de Falla		Efecto de falla		
			9	Ventilación del motor insuficiente.	Se producen daños en el embobinado y se puede producir un cortocircuito.		
			10	Cable de la bobina de disparo roto, flojo o sulfatado.	Se produce una ausencia de corriente en el motor que hace que este no pueda arrancar.		
			11	Motor eléctrico dañado. Estator quemado.	El motor se detiene por alta temperatura de devanado.		
		B	El Guinche provee a la cinta una tensión menor a 80 KN/m	1	Rodamientos de las roldanas en el carro dañados	Al dañarse alguno de los rodamientos de estas roldanas el desplazamiento del tambor se realiza con un alto consumo de amperaje dificultando la obtención de la tensión nominal, a demás de provocar vibraciones capaces de dislocar el tambor y desalinear la cinta transportadora.	
				2	Avería en la conexión de la guaya con el motor	Esto impide que se alcance la tensión nominal de la cinta para el arranque del sistema.	
				3	Avería en los rodamientos del motor.	Aumenta el consumo de corriente del motor eléctrico acompañado de vibraciones y un ruido excesivo complicando la obtención de la tensión requerida.	

Tabla N°4.46 Hoja de información del Análisis de Modos y Efectos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		SISTEMA DE CARGA DE UREA			Realizado por:	Fecha:	Hoja N°:			
					Lino Márquez	04/09/08	1			
Función		Falla Funcional			Modo de Falla			Efecto de falla		
		Equipo: Guinche Eléctrico Tensor de la Cinta PBT-110 M01			Ing. José García	01/10/08	3			
	B	El Guinche provee a la cinta una tensión menor a 600 KN.			4	Rodamientos de las ruedas del carro tensor dañadas	Esta situación dificulta el desplazamiento del tambor tensor a demás puede desalinear la cinta transportadora.			
					5	Rodamientos del tambor tensor dañados	Debido a las vibraciones que esta falla produce, es posible que la cinta transportadora pierda su linealidad, a demás el consumo de amperaje es alto en el proceso de tensión de la cinta.			
					6	Pernos de ajustes del carro tensor flojos	Esta situación puede dislocar el carro tensor, evitando la tención nominal de la cinta.			
					7	Soportes de los rodamientos del tambor tensor desajustados.	Al desajustarse estos pernos, el tambor tensor pierde su estabilidad desalineando la cinta transportadora.			

Una vez realizado el Análisis de Modos y Efectos de Fallas, se pudo obtener los resultados que se presentan en la tabla 4.45 y los porcentajes presentados en las figuras 4.23 y 4.24.

Tabla N°4.47 Resultados del Análisis de Modos y Efectos de Falla para los Equipos Críticos

Equipos	Falla Funcional	Modo de Falla
Cinta Transportadora (SBC 100)	2	7
Unidad Motriz (PBC100 M01)	2	29
Guinche Eléctrico Tensor (PBT-110 M01)	2	18

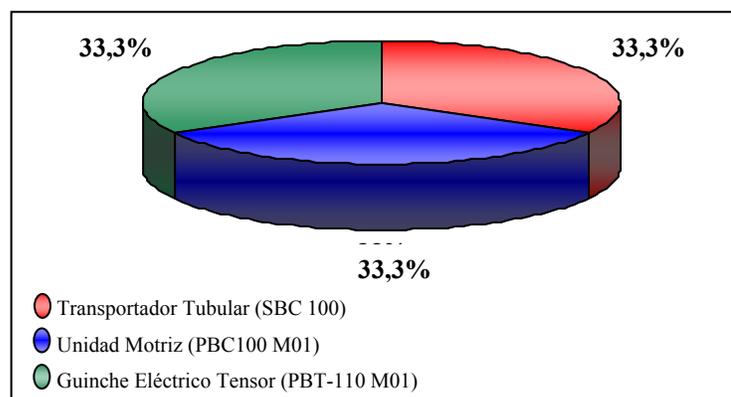


Figura N°4.27 Porcentaje de Falla Funcional por Cada Equipo Crítico

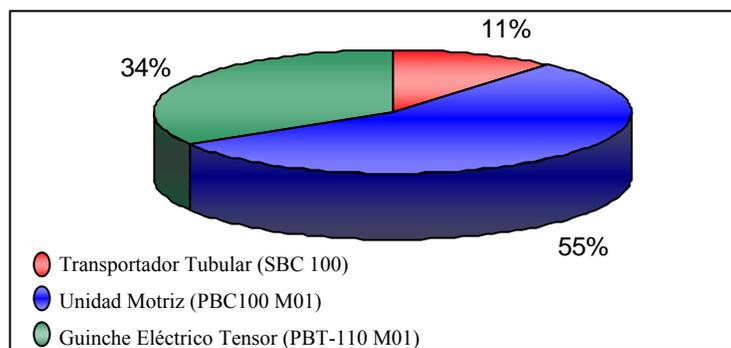


Figura N°4.28 Porcentaje de Modo de Falla por Cada Equipo Crítico

4.4 JERARQUIZACIÓN DE LOS MODOS DE FALLA

Con la finalidad de mejorar la confiabilidad del proceso productivo del sistema de carga de urea, aún cuando existan altas limitaciones en el presupuesto destinado por la empresa para el mantenimiento, y con el propósito de tener una estructura jerarquizada de los modos de falla de manera tal que se pueda invertir en un orden de prioridades, el ENT aprobó la realización de la metodología de jerarquización de los modos de falla de los equipos críticos. Esto tomando en cuenta que al realizarse el Análisis de Modos y Efectos de falla (AMEF), se consideran los modos de fallas más frecuentes, así como también los menos frecuentes. Con esta metodología, se consigue identificar cuales son los modos de falla que causan más daño a la rentabilidad de la empresa, permitiendo así reducir considerablemente las pérdidas de dividendos por causa de demoras en el proceso de carga de buques.

La recolección de la información necesaria para la ejecución de este estudio, se realizó a través una encuesta al ENT, donde se involucran los factores de frecuencia de falla, impacto en la producción e impacto en SIAHO, tal y como lo plantea la metodología de jerarquización de modos de falla (expuesta en el Capítulo II). A continuación, se muestra un ejemplo de la aplicación de la metodología a partir de la encuesta realiza al Gerente de Mantenimiento José García, tomando como insumo el modo de falla 1A1 donde se ubica el “Entorchamiento de la Cinta”.

Tabla N°4.48 Ponderaciones del Factor de Modo de Falla

FACTOR DE MODO DE FALLA			
Modo de Falla		Alcance	Escala
a)	0 Frecuencia \leq 5 años	La frecuencia del modo de falla es mayor o igual a cinco años.	1
b)	3 años < Frecuencia < 5 años	La frecuencia del modo de falla se encuentra en un rango de tiempo mayor de tres años y menor de cinco años.	2
c)	1 año < Frecuencia \leq 3 años	La frecuencia del modo de falla se encuentra en un rango de tiempo mayor de un año y menor igual de tres años.	3
d)	4 Meses \leq Frecuencia \leq 1 año	La frecuencia del modo de falla se encuentra en un rango de tiempo mayor de cuatro meses y menor o igual de un año.	4
e)	Más de 3 Modos de Falla en 1 año Frecuencia < 4 Meses	La frecuencia del Modo de falla es menor de cuatro meses.	5

Tabla N°4.49 Ponderaciones del Factor de Impacto en la Producción

FACTOR DE IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN		
Impacto en la Producción	Alcance	Escala
a) Pérdida menor de productividad	El modo de falla no causa pérdidas de producción significativa para la empresa.	1
b) Pérdida de producción 25%	El modo de falla causa una pérdida de producción de 25%.	2
c) Pérdida de producción 50%	El modo de falla causa una pérdida de producción de 50%.	3
d) Pérdida de Producción 75%	El modo de falla causa una pérdida de producción de 75%.	4
e) Daños irreversibles al sistema	El modo de falla causa daños irreversibles al sistema, el cual afecta la producción totalmente.	5

Tabla N°4.50 Ponderaciones del Factor de Impacto en el SIAHO

FACTOR DE IMPACTO EN EL SIAHO		
Evento Causado por el Modo de Falla	Alcance	Escala
a) Incidente	El modo de falla podría afectar la eficiencia del proceso, sin embargo no causa daños a los trabajadores ni al medio ambiente.	1
b) Accidente ambiental reportable /Lesión menor	<ul style="list-style-type: none"> ♦ El modo de falla causa leves daños al ambiente, los cuales son aliviados antes de causar daños mayores. ♦ El modo de falla origina lesiones que no causan ninguna incapacidad pero amerita asistencia médica. 	2
c) Incendio localizado	El modo de falla causa incendio, el cual puede ser extinguido antes de que cause daños mayores a la planta, personas o ambiente.	3
d) Incendio / Lesión incapacitante / área sensible al ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ♦ El modo de falla causa la emisión de agentes contaminantes, así como incendios en áreas sensibles al ambiente, dañándolo considerablemente. ♦ Este modo de falla es capaz de causar, incapacidad total permanente, incapacidad parcial permanente o incapacidad total temporal. 	4
e) Explosión / Muerte	El modo de falla origina explosiones causantes de muerte.	5

Una vez asignada una ponderación a cada factor, se debe escoger el valor más alto entre el factor de impacto en la producción y el factor de impacto en el SIAHO. Como se puede apreciar el factor de impacto en el SIAHO es más alto, ya que tiene una ponderación igual a 4, mientras que el de impacto en la producción es de 3. A continuación se procede a calcular la criticidad, la cual es asignada según la combinación de las ponderaciones establecidas para cada factor, evaluadas en la matriz de jerarquización de modos de falla. El eje horizontal indica las cinco escalas del Factor de Modo de Fallas, mientras que el eje vertical muestra las cinco escalas

del Factor de Impacto en el SIAHO y el Factor de Impacto en la Producción; en este caso se escoge el valor de Impacto en el SIAHO. En la figura 4.29 se muestra el nivel de criticidad obtenido del modo de falla en estudio mediante la aplicación de la matriz de jerarquización de modos de falla.

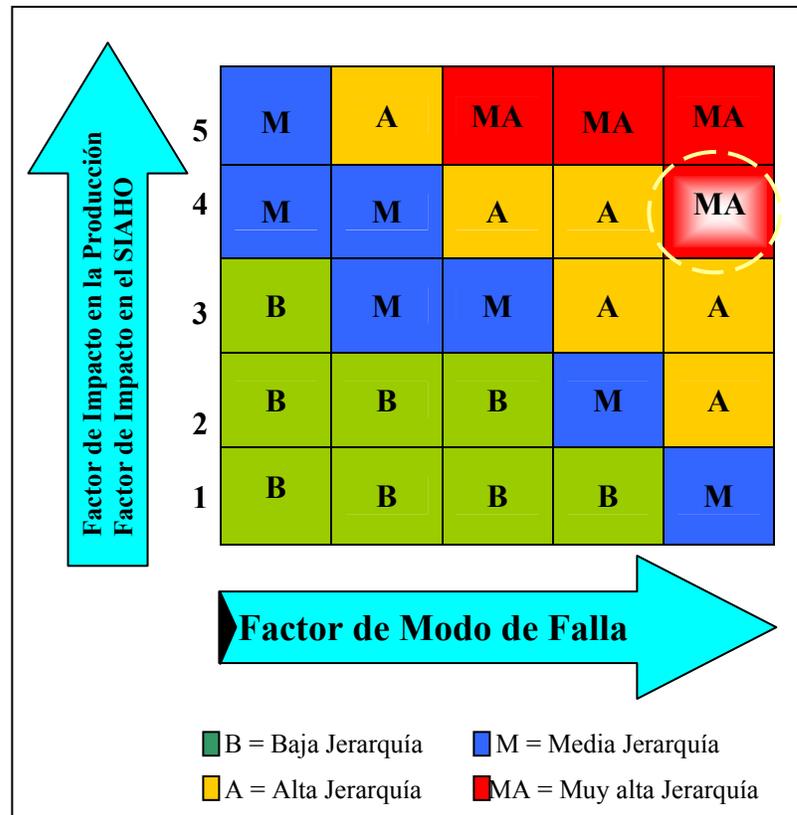


Figura N°4.29 Matriz de Jerarquización de Modos de Falla

En las tablas numeradas desde la 4.51 hasta la 4.56, se muestra un ejemplo los resultados de la encuesta hecha al ENT, donde se pueden ver las respuestas dadas por el Gerente de Mantenimiento para cada equipo crítico. Además de las ponderaciones por cada factor, se muestra también la evaluación de dichos factores en la matriz de jerarquización de modos de falla, de la cual se obtuvo el nivel de jerarquía de cada modo de falla por equipo crítico.

Tabla N°4.51 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.			SISTEMA DE CARGA DE UREA		Opinión de: José Gracia		Fecha: 20/10/08
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Cargo: Gerente de Mantenimiento		
			Equipo: Cinta Transportadora SBC 100				
F	FF	MF	MODOS DE FALLA	Factor Frecuencia	Impacto Negocio	SIAHO	Jerarquía
1	A	1	Entorchamiento de la cinta.	5	3	4	MA
1	A	2	Tensión de la cinta mayor a la requerida para su funcionamiento.	4	3	1	A
1	A	3	Ruptura de la cinta.	4	4	4	A
1	A	4	Desgaste de la cinta.	3	3	1	M
1	A	5	Desalineación de la cinta	5	3	4	MA
1	B	1	Tensión de la cinta menor a la requerida para su funcionamiento.	5	2	1	A
1	B	2	Sobre llenado de la cinta	4	2	2	M

Tabla N°4.52 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven <small>Petroquímica de Venezuela, S.A.</small>			SISTEMA DE CARGA DE UREA		Opinión de: José Gracia		Fecha: 20/10/08
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Cargo:		
			Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02		Gerente de Mantenimiento		
F	FF	MF	MODOS DE FALLA	Factor Frecuencia	Impacto Negocio	SIAHO	Jerarquía
1	A	1	Desalineación entre el motor y la caja reductora por pernos de anclaje flojos	4	3	1	A
1	A	2	Paralización súbita del reductor durante del proceso de carga.	2	4	2	B
1	A	3	Desajuste del acople flexible entre el motor eléctrico y la caja de engranaje.	3	3	1	M
1	A	4	Empacaduras de la caja reductora dañadas.	3	3	4	A
1	A	5	Elementos de fijación en la caja reductora desajustados.	2	4	4	M
1	A	6	Nivel de aceite de la caja reductora bajo.	3	2	4	A
1	A	7	Desalineación en el eje de entrada y/o salida de la caja reductora.	3	4	1	A
1	A	8	Eje del motor gira en sentido contrario.	2	3	1	M

Tabla N°4.53 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven <small>Petroquímica de Venezuela, S.A.</small>			SISTEMA DE CARGA DE UREA		Opinión de: José Gracia		Fecha: 20/10/08
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Cargo: Gerente de Mantenimiento		
			Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02				
F	FF	MF	MODOS DE FALLA	Factor Frecuencia	Impacto Negocio	SIAHO	Jerarquía
1	A	9	Fuga de aceite de la caja reductora.	3	4	4	A
1	A	10	Cable de la bobina de disparo roto, flojo o sulfatado.	3	2	1	B
1	A	11	Avería en los rodamientos del motor.	4	3	1	A
1	A	12	El motor se recalienta.	3	4	3	A
1	A	13	Motor eléctrico dañado. Estator quemado.	2	4	3	M
1	A	14	Anclajes de la chumacera ubicada entre el tambor y la caja reductora flojos.	4	1	1	B
1	A	15	Fusibles del motor fundidos.	4	1	1	B
1	A	16	Cortocircuito en el embobinado del motor.	3	4	3	A
1	A	17	Tensión eléctrica muy baja	3	3	1	M
1	A	18	Rodamientos del motor totalmente dañados.	3	3	1	M
1	A	19	Defectos en los dispositivos de arranque.	3	2	1	B
1	A	20	Espiras del motor en contacto.	2	4	3	M

Tabla N°4.54 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven <small>Petroquímica de Venezuela, S.A.</small>			SISTEMA DE CARGA DE UREA		Opinión de: José Gracia		Fecha: 20/10/08
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Cargo:		
			Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02		Gerente de Mantenimiento		
F	FF	MF	MODOS DE FALLA	Factor Frecuencia	Impacto Negocio	SIAHO	Jerarquía
1	A	21	Mal funcionamiento de los dispositivos de protección del motor eléctrico.	3	4	3	A
1	A	22	Sobrecarga de energía.	2	4	1	M
1	A	23	Ventilación del motor insuficiente.	3	4	3	A
1	B	1	Desgaste en el eje de los tambores motrices.	3	3	1	M
1	B	2	Desgaste del revestimiento del tambor motriz.	3	3	1	M
1	B	3	Rodamientos del tambor motriz dañado.	4	3	1	A
1	B	4	Velocidad del eje de salida de la caja menor a la requerida para el tambor impulsor.	3	4	1	A
1	B	5	Deterioro de rodamientos de ejes de entrada y/o salida de la caja reductora.	3	3	1	M
1	B	6	Rodamientos de los ejes de los piñones y coronas dañados.	2	4	1	M

Tabla N°4.55 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

 Pequiven <small>Petroquímica de Venezuela, S.A.</small>			SISTEMA DE CARGA DE UREA		Opinión de: José Gracia		Fecha: 20/10/08
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Cargo: Gerente de Mantenimiento		
			Equipo: Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01				
F	FF	MF	MODOS DE FALLA	Factor Frecuencia	Impacto Negocio	SIAHO	Jerarquía
1	B	1	Cortocircuito en el embobinado del motor.	3	4	2	A
1	B	2	El motor se recalienta.	3	4	3	A
1	B	3	Tensión eléctrica muy baja	3	1	1	B
1	B	4	Rodamientos del motor totalmente dañados.	3	2	1	B
1	B	5	Defectos en los dispositivos de arranque.	3	3	1	M
1	B	6	Espiras del motor en contacto.	2	4	1	M
1	B	7	Mal funcionamiento de los dispositivos de protección del motor eléctrico.	3	4	3	A
1	B	8	Sobrecarga de energía.	2	3	3	M
1	B	9	Ventilación del motor insuficiente.	2	2	1	B
1	B	10	Cable de la bobina de disparo roto, flojo o sulfatado.	3	2	1	B
1	B	11	Motor eléctrico dañado. Estator quemado.	2	4	1	M

Tabla N°4.56 Hoja de información de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

 Pequiven <small>Petroquímica de Venezuela, S.A.</small>			SISTEMA DE CARGA DE UREA		Opinión de: José Gracia		Fecha: 20/10/08
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100		Cargo: Gerente de Mantenimiento		
			Equipo: Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01				
F	FF	MF	MODOS DE FALLA	Factor Frecuencia	Impacto Negocio	SHA	Jerarquía
1	A	1	Rodamientos de las roldanas en el carro dañados	3	3	1	M
1	A	2	Avería en la conexión de la guaya con el motor	2	2	4	M
1	A	3	Avería en los rodamientos del motor.	3	2	1	B
1	A	4	Rodamientos de las ruedas del carro tensor dañadas	3	4	1	A
1	A	5	Rodamientos del tambor tensor dañados	4	3	1	A
1	A	6	Pernos de ajustes del carro tensor flojos	2	3	4	M
1	A	7	Soportes de los rodamientos del tambor tensor desajustados.	3	3	4	A

Una vez que se les ha realizado la encuesta a todos los integrantes del equipo natural de trabajo, el siguiente paso es obtener un nivel de jerarquía definitivo para cada modo de falla que represente la mayoría de las opiniones de los encuestados. Para esta determinación el ENT estableció, que el nivel de jerarquía definitivo será aquel que la mayoría de los encuestados asignen por cada modo de falla, en caso de existir empates entre dos o tres niveles de jerarquía, se escogerá el nivel mayor.

Con la finalidad de guiar los trabajos de mantenimiento, primordialmente a aquellos componentes de equipos que causan fallas con más frecuencia y que implican un alto impacto en el proceso productivo del sistema de carga de urea, el ENT estableció que sólo se tomarían en cuenta para mejorar el plan de mantenimiento existente, los modos de falla con una “Muy Alta Jerarquía”.

Esto le permitirá a la empresa enfocar sus esfuerzos de una manera responsable y auditable, sobre todo en aquellos componentes que al fallar, causan considerables pérdidas financieras por demoras en el proceso de carga de urea, además de reducir las consecuencias en las seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional.

En las tablas numeradas desde la 4.57 hasta la 4.62, se muestra el resultado final de esta jerarquización de modos de falla por equipos críticos, donde se puede apreciar el nivel de jerarquía que asignó cada integrante del ENT a cada modo de falla, esto después de haber evaluado cada una de las ponderaciones en estudio, en la matriz de jerarquización de modos de falla. Además se puede apreciar también en estas tablas, el nivel de jerarquía final de cada modo de falla.

Tabla N°4. 57 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Cinta Transportadora SBC 100

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.			SISTEMA DE CARGA DE UREA Subsistema: Transportador Tubular PBC100 Equipo: Cinta Transportadora SBC 100				José Gracia	Robin Sánchez	Neyfabian Martín	José López	Miguel Aguana	Jesús Aguilera	Freddy Malavé	Jerarquía Definitiva
F	FF	MF	MODOS DE FALLA											
1	A	1	Entorchamiento de la cinta.				MA	MA	MA	A	MA	A	A	MA
1	A	2	Tensión de la cinta mayor a la requerida para su funcionamiento.				A	M	B	B	A	M	M	M
1	A	3	Ruptura de la cinta.				A	B	M	A	A	A	A	A
1	A	4	Desgaste de la cinta.				M	M	A	A	M	M	M	M
1	A		Desalineación de la cinta				MA	A	M	MA	MA	A	M	MA
1	B	1	Tensión de la cinta menor a la requerida para su funcionamiento.				A	A	M	A	A	MA	A	A
1	B	2	Sobre llenado de la cinta				M	A	A	A	M	M	A	A

Tabla N°4.58 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.			SISTEMA DE CARGA DE UREA				José Gracia	Robin Sánchez	Neyfabian Martín	José López	Miguel Aguana	Jesús Aguilera	Freddy Malavé	Jerarquía Definitiva
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100 Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01- PBC100 M02											
F	FF	MF	MODOS DE FALLA											
1	A	1	Desalineación entre el motor y la caja reductora por pernos de anclaje flojos	A	MA	A	A	A	A	A	A	A	A	
1	A	2	Paralización súbita del reductor durante del proceso de carga.	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
1	A	3	Desajuste del acople flexible entre el motor eléctrico y la caja de engranaje.	M	A	A	MA	A	MA	MA	MA	MA	MA	
1	A	4	Empacaduras de la caja reductora dañadas.	A	M	A	M	A	A	A	A	A	A	
1	A	5	Elementos de fijación en la caja reductora desajustados.	M	A	A	A	A	A	MA	A	A	A	
1	A	6	Nivel de aceite de la caja reductora bajo.	A	A	A	A	M	M	M	A	A	A	
1	A	7	Desalineación en el eje de entrada y/o salida de la caja reductora.	A	M	A	M	M	M	M	M	M	M	
1	A	8	Eje del motor gira en sentido contrario.	M	B	B	B	M	B	B	B	B	B	
1	A	9	Fuga de aceite de la caja reductora.	A	M	M	A	A	MA	A	A	A	A	
1	A	10	Cable de la bobina de disparo roto, flojo o sulfatado.	B	B	B	M	A	A	M	M	M	B	
1	A	11	Avería en los rodamientos del motor.	A	MA	A	A	MA	M	A	A	A	M	

Tabla N°4.59 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.			SISTEMA DE CARGA DE UREA								
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100								
			Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02								
F	FF	MF	MODOS DE FALLA	José Gracia	Robin Sánchez	Neyfabian Martín	José López	Miguel Aguana	Jesús Aguilera	Freddy Malavé	Jerarquía Definitiva
1	A	12	El motor se recalienta.	A	M	A	A	M	B	A	A
1	A	13	Motor eléctrico dañado. Estator quemado.	M	B	A	A	B	A	A	A
1	A	14	Anclajes de la chumacera ubicada entre el tambor y la caja reductora flojos.	B	M	B	B	A	A	M	B
1	A	15	Fusibles del motor fundidos.	B	A	A	A	A	M	A	A
1	A	16	Cortocircuito en el embobinado del motor.	A	A	M	M	M	M	B	M
1	A	17	Tensión eléctrica muy baja	M	M	M	M	M	B	A	M
1	A	18	Rodamientos del motor totalmente dañados.	M	MA	A	MA	A	MA	A	MA
1	A	19	Defectos en los dispositivos de arranque.	B	M	A	MA	A	MA	A	A
1	A	20	Espiras del motor en contacto.	M	B	M	B	B	M	B	B
1	A	21	Mal funcionamiento de los dispositivos de protección del motor eléctrico.	A	MA	A	A	B	B	A	A
1	A	22	Sobrecarga de energía.	M	M	M	M	A	B	B	M
1	A	23	Ventilación del motor insuficiente.	A	B	A	A	B	A	A	A

Tabla N°4.60 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla de la Unidad Motriz PBC100 M01 - PBC100 M02

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.			SISTEMA DE CARGA DE UREA				José Gracia	Robin Sánchez	Neyfabian Martín	José López	Miguel Aguana	Jesús Aguilera	Freddy Malavé	Jerarquía Definitiva
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100											
			Equipo: Unidad Motriz PBC100 M01											
F	FF	MF	MODOS DE FALLA											
1	B	1	Desgaste en el eje de los tambores motrices.				M	A	A	M	MA	A	MA	A
1	B	2	Desgaste del revestimiento del tambor motriz.				M	A	B	M	A	A	A	A
1	B	3	Rodamientos del tambor motriz dañado.				A	MA	A	MA	M	A	MA	MA
1	B	4	Velocidad del eje de salida de la caja menor a la requerida para el tambor impulsor.				A	M	M	M	A	M	M	A
1	B	5	Deterioro de rodamientos de ejes de entrada y/o salida de la caja reductora.				M	A	M	A	A	M	A	A
1	B	6	Rodamientos de los ejes de los piñones y coronas dañados.				M	M	A	A	M	M	M	M

Tabla N°4.61 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.			SISTEMA DE CARGA DE UREA				José Gracia	Robin Sánchez	Neyfabian Martín	José López	Miguel Aguana	Jesús Aguilera	Freddy Malavé	Jerarquía Definitiva
			Subsistema: Transportador Tubular PBC 100											
			Equipo: Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01											
F	FF	MF	MODOS DE FALLA											
1	B	1	Cortocircuito en el embobinado del motor.				A	A	M	M	M	B	B	M
1	B	2	El motor se recalienta.				A	A	MA	MA	MA	A	M	MA
1	B	3	Tensión eléctrica muy baja				B	M	M	B	M	B	M	M
1	B	4	Rodamientos del motor totalmente dañados.				B	MA	MA	A	MA	A	A	MA
1	B	5	Defectos en los dispositivos de arranque.				M	A	M	MA	A	A	A	A
1	B	6	Espiras del motor en contacto.				M	M	A	MA	A	A	A	A
1	B	7	Mal funcionamiento de los dispositivos de protección del motor eléctrico.				A	A	MA	A	M	A	A	A
1	B	8	Sobrecarga de energía.				M	B	M	A	M	A	M	M
1	B	9	Ventilación del motor insuficiente.				B	M	A	A	M	A	A	A
1	B	10	Cable de la bobina de disparo roto, flojo o sulfatado.				B	B	M	M	A	M	A	M
1	B	11	Motor eléctrico dañado. Estator quemado.				M	B	M	B	B	A	B	B

Tabla N°4.62 Resultado final de la Jerarquización de los Modos de Falla del Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.			SISTEMA DE CARGA DE UREA Subsistema: Transportador Tubular PBC 100 Equipo: Guinche Eléctrico Tensor PBT-110 M01				José Gracia	Robin Sánchez	Neyfabian Martín	José López	Miguel Aguana	Jesús Aguilera	Freddy Malavé	Jerarquía Definitiva
F	FF	MF	MODOS DE FALLA											
1	A	1	Rodamientos de las roldanas en el carro dañados				M	A	A	A	MA	A	M	A
1	A	2	Avería en la conexión de la guaya con el motor				M	M	M	A	M	A	A	M
1	A	3	Avería en los rodamientos del motor.				B	A	A	A	A	A	A	A
1	A	4	Rodamientos de las ruedas del carro tensor dañadas				A	A	M	M	A	M	MA	A
	A	5	Rodamientos del tambor tensor dañados				A	M	M	A	MA	A	A	A
	A	6	Pernos de ajustes del carro tensor flojos				M	A	B	M	M	B	B	M
	A	7	Soportes de los rodamientos del tambor tensor desajustados.				A	M	M	M	M	B	A	M

Finalmente después de tener un nivel de jerarquía para cada modo de falla de los equipos críticos, se pudo obtener los resultados que se presentan en la tabla 4.63, así mismo en la figura 4.30 se puede apreciar la distribución porcentual de la cantidad de modos de falla por cada nivel de jerarquía, y finalmente en la tabla 4.64 se muestra un resumen con los modos de falla que resultaron con muy alta jerarquía.

Tabla N° 4.63 Nivel de Jerarquización de los Modos de falla por cada Equipo Crítico

Equipo Crítico	Baja Criticidad	Media Criticidad	Alta Criticidad	Muy Alta Criticidad
Cinta Transportadora (SBC 100)	0	2	3	2
Unidad Motriz (PBC100 M01)	4	7	15	3
Guinche Eléctrico Tensor (PBT-110 M01)	1	7	8	2
Total	5	16	26	7

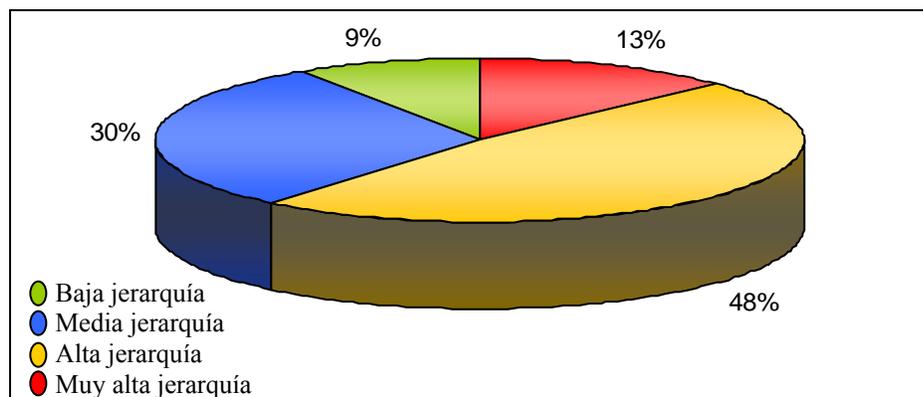


Figura N°4.30 Distribución Porcentual del Nivel de Jerarquización de los Modos de Falla de los Equipos Crítico

Tabla N°4.64 Modos de Falla Con Muy Alta Jerarquía

Entorchamiento de la cinta	Cinta SBC100
Desalineación de la cinta	
Desajuste del acople flexible entre el motor eléctrico y la caja de engranaje	Unidad Motriz
Rodamientos del motor totalmente dañados	
Rodamientos del tambor motriz dañado	
El motor se recalienta	Guinche Tensor
Rodamientos del motor totalmente dañados	

4.5 ESTUDIO DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

El estudio de la confiabilidad de equipos, es una herramienta que sirve como instrumento para estimar cual es la probabilidad de que los equipos cumplan con las funciones para las cuales fueron instalados, en un periodo de tiempo determinado. Los resultados arrojados por este estudio son de gran ayuda a la organización, ya que a través de ellos se puede obtener una visión del estado en el cual se encuentran los equipos, y a pesar de que solo representan una probabilidad, con ello se da una orientación de cómo adaptar las acciones de mantenimiento al contexto operacional de los equipos a estudiar. Para este caso en particular, el estudio de la confiabilidad es realizado a aquellos componentes de los equipos críticos que causaron los modos de falla con mayor nivel de jerarquización (Muy Alta Jerarquía), por lo tanto la confiabilidad será, la probabilidad de que el equipo realice el trabajo requerido sin que aparezca en él, el modo de falla en estudio en un tiempo determinado.

Como primer paso para la estimación de la confiabilidad de estos componentes de equipos críticos, el ENT decidió elegir un período adecuado para la aplicación del análisis. Este período fue considerado desde el primero de Enero del año 2007 hasta el 31 de Diciembre de ese mismo año. Es importante aclarar que la gerencia de mantenimiento no tiene una metodología implementada que les permita obtener una data histórica del comportamiento de los equipo, sin embargo en los cuadernos de actividades diarias donde los operadores toman los apuntes de las eventualidades que se presentan en el proceso de carga de buques, se pudo recoger la información necesaria para este estudio estadístico.

Después de hacer una revisión exhaustiva de los cuadernos de los operadores, se pudo obtener los tiempos entre fallas (TEF) de los equipos críticos en el período establecido, los cuales fueron ordenados y clasificados por modos de falla. Es importante acotar que aun cuando se cuenta con esta data, el ENT decidió que se

aplicara el AMEF por considerar que era importante definir cada uno de los efectos de falla correspondientes a los modos de falla en estudio, los cuales se utilizaron para definir las actividades de mantenimiento. La tabla 4.65, muestra los TEF correspondiente al entorchamiento de la cinta SBC100, el cual es uno de los modos de falla con una muy alta criticidad. En el apéndice B se muestran los TEF correspondientes a los demás modos de falla en estudio.

Tabla N°4.65 Datos recolectados para la Cinta Transportadora SBC 100

Fuente: Pequiven-Jose

 Pequiven Petroquímica de Venezuela, S.A.		Equipo:			Modo de Falla:		
		Cinta Transportadora (SBC10)			Entorchamiento de la Cinta		
N°	Parda		Arranque		TEF (Días)	TEF (Horas)	TFS (Horas)
	Fecha	Hora	Fecha	Hora			
----	----	----	12/01/2007	09:25am	----	----	----
1	22/02/2007	04:37am	22/02/2007	11:21am	41	979	6
2	19/04/2007	09:16am	19/042007	03:39pm	56	1341	5
3	04/07/2007	12:08pm	04/07/2007	07:42pm	76	1820	7
4	28/07/2007	02:27pm	29/07/2007	12:12am	24	571	10
5	14/09/2007	02:52am	14/09/2007	08:56am	47	1128	5
6	18/10/2007	03:32am	18/10/2007	11:25am	34	811	7
7	22/12/2007	02:49am	22/12/2007	05:30pm	65	1551	4

4.5.1 Estimación de la Confiabilidad Utilizando el Software Autocon 1.0

Autocon 1.0, es un software desarrollado en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente (UDO), Núcleo de Anzoátegui. Este software permite la estimación de la confiabilidad de un equipo a través de la distribución de Weibull, ofreciendo la posibilidad de trabajar en función de los tres parámetros asociados a la Distribución de Weibull, como lo son el parámetro de forma β , el parámetro de escala η , y el parámetro de posición γ .

En este estudio se realizó la estimación de la confiabilidad de los componentes de los equipos críticos, que causaron los modos de falla altamente críticos. A continuación se muestra el procedimiento para la estimación de la confiabilidad utilizando Autocon 1.0, para los TEF correspondiente al entorchamiento de la cinta SBC100.

a) Introducción de los Datos:

Los datos generales, como nombre del operador, nombre de la planta donde se está realizando el estudio, son introducidos en la primera pantalla generada por el software, también se escoge el modelo estadístico a utilizar, en este caso en particular se seleccionó el modelo paramétrico.

En la segunda pantalla, se introducen los datos de los equipos a estudiar, su nombre, código y ubicación, en esta parte también se introducen uno a uno los tiempos entre falla del equipo (en este caso los TEF por cada modo de falla). Es importante mencionar que este programa presenta la limitación de aceptar un mínimo de cinco valores de TEF por equipo, en nuestro caso se contó con muestras de más de cinco valores ver, figura 4.31.

The screenshot shows a software window titled "Datos" with a blue background. At the top center, there is a white box with the text "Ingreso de Datos". Below this, there are three input fields with labels: "Nombre del Equipo:" containing "Cinta Transportadora", "Código del Equipo:" containing "SBC 100", and "Ubicación del Equipo:" containing "Transportador Tubular (PBC100)". Below these fields is a yellow "Aceptar" button. In the lower section, there is a table with a header "T.E.F." and seven rows of numerical values: 571, 811, 979, 1128, 1341, 1551, and 1820. To the right of the table is an empty input field, a yellow button with a checkmark, and a red button with an "X". Below the table is another yellow "Aceptar" button.

Figura N°4.31 Ingreso de los TEF del Entorchamiento de la cinta SBC100

Fuente: Software Autocon 1.0

b) Determinación de las Frecuencias Acumuladas de Falla:

En la tercera pantalla (figura 4.32), se muestra el cálculo automático que el software hace de la frecuencia acumulada de falla para el entorchamiento de la Cinta Transportadora SBC 100; se observa los valores de i , que son los eventos de falla, TEF y $\%F_{(i)}$ que son las frecuencias acumuladas de falla también la escala a la cual se graficará.

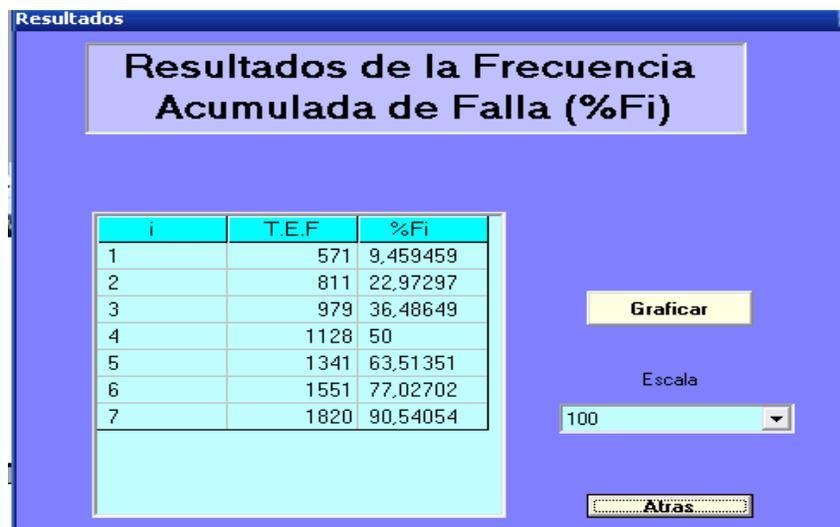


Figura N°4.32 Resultados de la Frecuencia Acumulada de Falla
Fuente: Software Autocon 1.0

c) Gráficas en el Diagrama de Weibull:

La cuarta pantalla (figura 4.33), muestra las tres gráficas resultantes en el papel de Weibull; la gráfica de color Azul representa la posición original, según los datos de los TEF ingresados en función de la frecuencias de falla acumulada ($\%F_{(i)}$), valores presentados en la figura 4.27, luego de esto se procede a la evaluación de la gráfica, es decir, se decide si la misma es una recta o no, es caso de ser una recta el software arroja los valores de los parámetros de forma, escala y posición; mientras que en el caso contrario se debe linealizar la gráfica, en este caso se considera que la línea es una recta, por consiguiente el software traslada la línea azul al punto de Weibull obteniéndose la línea de color verde y así mismo los parámetros de confiabilidad.

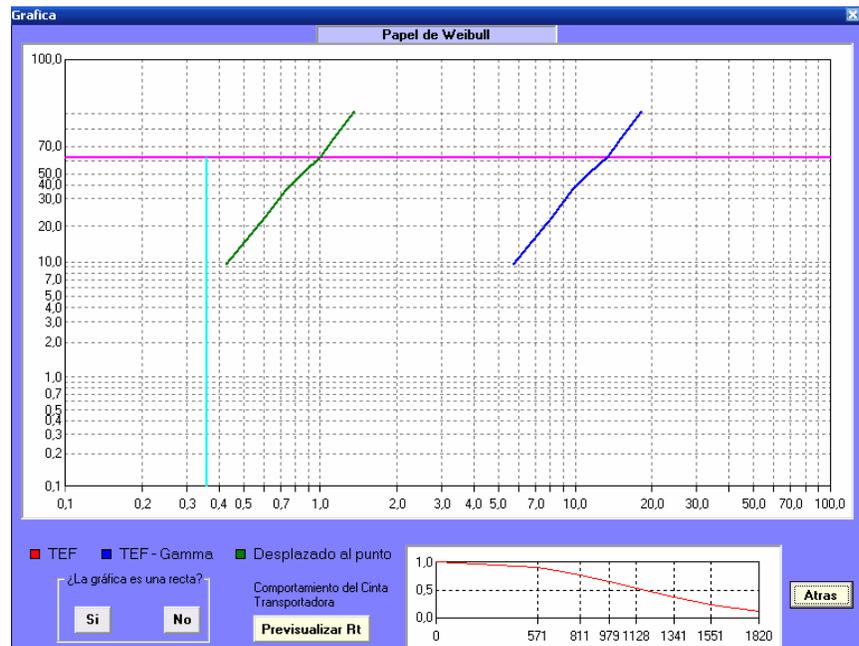


Figura N°4.33 Gráfica en el Papel de Weibull del Entorchamiento de la Cinta SBC100

Fuente: Software Autocon 1.0

En la figura 4.34 se observa el comportamiento de la confiabilidad en función del tiempo con respecto al entorchamiento de la Cinta Transportadora SBC100, es decir, la probabilidad de aparición del modo de falla durante el periodo de estudio.



Figura N°4.34 Comportamiento de la Confiabilidad en el Tiempo de la Cinta Transportadora SBC100

Fuente: Software Autocon 1.0

d) Estimación de la Confiabilidad:

La quinta pantalla generada por el programa, muestra los valores de los parámetros de Weibull, de forma β , de escala η y de posición γ , en esta misma pantalla se ingresa el tiempo de estudio, para el cual el ENT quiere estimar la confiabilidad y el software presenta automáticamente el resultado de la confiabilidad para este valor introducido.

En la figura 4.35 se observa los valores del parámetro de Weibull, así como el valor de la confiabilidad para un tiempo de novecientos sesenta horas (960H), tiempo equivalente a cuarenta días. Para este tiempo seleccionado el ENT decidió establecer un mínimo de confiabilidad para cada equipo del 95%; confiabilidades por debajo del valor establecido requerirán ajustes, a través del cálculo de tiempos de intervención que permitan mantener este parámetro por encima de los valores demandados, persiguiéndose así la disminución de las frecuencias de fallas producidas.

Parámetro	Valor
Parámetro de Forma (β)	2.645849
Parámetro de Escala (η) (Horas)	1336.058
Parámetro de Posición (γ) (Horas)	0
Tiempo en Estudio (Horas)	960
La Confiabilidad del Equipo Cinta Transportadora es:	.6589949

Figura N°4.35 Resultados de Parámetros de Confiabilidad de Weibull de la Cinta Transportadora PBC100

Fuente: Software Autocon 1.0

En la figura anterior se observa que el valor resultante de la confiabilidad de la cinta transportadora se encuentra por debajo de la confiabilidad mínima fijada por el ENT para los equipos críticos.

Es por esto que es necesario el cálculo del tiempo mínimo de intervención para que este parámetro se mantenga por lo menos en un 95% en este equipo con respecto al modo de falla en estudio. Este cálculo también se puede realizar con el software Autocon 1.0, basta solo con fijar la confiabilidad y este arroja el tiempo de intervención del equipo, ver la figura 4.36

Parámetro	Valor	Estado
Parámetro de Forma (β)	2,645849	
Parámetro de Escala (η) (Horas)	1336,058	
Parámetro de Posición (γ) (Horas)	0	
Tiempo en Estudio (Horas)	434.8027	<input checked="" type="checkbox"/>
La Confiabilidad del Equipo Cinta Transportadora es:	.95	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura N°4.36 Tiempo Estimado para una Confiabilidad de 0.95
Fuente: Software Autocon 1.0

e) Resumen de Resultados :

En la figura 4.37 se observa un reporte del equipo, en el cual se refleja el nombre del usuario, nombre del operador de turno, nombre de la planta, nombre del equipo y su

código, a demás de la etapa de vida en la que se encuentra el equipo, su probabilidad de falla y la confiabilidad del mismo. Cabe destacar que en este reporte no se especifica el modo de falla en estudio, esto se debe a que el software está diseñado para trabajar con TEF de equipos, sin embargo se puede ver que funciona muy bien con tiempos entre fallas provenientes de modos de falla específicos.

La información correspondiente a la confiabilidad asociada a los restantes modos de falla en estudio, se muestra en el apéndice C, mientras que en la tabla 4.66 se muestran los resultados finales del estudio de la confiabilidad, realizado a los componentes de los equipos críticos que causan los modos de falla con altos niveles de criticidad (Muy Altamente Críticos).

Reporte de Equipo

Reporte Individual de Equipo

Operador de Turno: LINO MÁRQUEZ

Planta: SISTEMA DE CARGA DE UREA

Ubicación del Equipo: Transportador Tubular (PBC100)

Nombre del Equipo: Cinta Transportadora

Código del Equipo: SBC 100

Fecha de Estudio: 03/08/2010 09:14:32 a.m.

Etapa del Equipo: Etapa de Desgaste

Probabilidad de Fallas: DESDE el arranque del equipo

Integracion

Otro

Imprimir

Atras

La Confiabilidad de Cinta Transportadora a los 435horas es **0.95**

Figura N°4.37 Reporte Final del Software para la Cinta Transportadora SBC100
Fuente: Software Autocon 1.0

Tabla N°4.66 Resultados de los Parámetros de Mantenimiento para la Cinta Transportadora PBC100

EQUIPO CRÍTICO	MODO DE FALLA CON MUY ALTA CRITICIDAD	CONFIABILIDAD				
		η	β	γ	$R_{(t=960)}$	t para $R=0.95$
Cinta Transportadora (SBC100)	Entorchamiento de la cinta	1336,06	2,65	0	0,66	434,80
	Desalineación de la cinta	1304,03	3,17	-0,32	0,68	510,49
Unidad Motriz (PBC100 M01)	Desajuste del acople flexible entre el motor eléctrico y la caja de engranaje	1308,24	4,54	0	0,78	680,12
	Rodamientos del motor totalmente dañados	1466,82	4,20	0	0,84	723,11
	Rodamientos del tambor motriz dañado	1284,52	3,76	0	0,72	583,61
Guinche Eléctrico Tensor (PBT 110 M01)	El motor se recalienta	1203,93	4,55	0	0,70	626,90
	Rodamientos del motor totalmente dañados	1316,51	4,78	0	0,80	706,82

4.5.2 Validación de los Resultados Obtenidos con el Software Autocon 1.0

Para la validación de los resultados de la estimación de la confiabilidad obtenidos a través del software Autocon 1.0, se hizo una comparación con el valor de confiabilidad para el entorchamiento de la cinta transportadora SBC100 obtenido mediante el software y el valor obtenido mediante el método manual de Weibull para el mismo modo de falla. A continuación se describe el procedimiento para el cálculo de la confiabilidad a través del método manual de Weibull.

a) En primer lugar, se ordenaron los tiempos entre fallas de forma creciente (TEF), tomando en cuenta que el número total de anotaciones realizadas es el tamaño de la muestra (n), esto se puede observar en la tabla 4.67.

Tabla N°4.67 Tiempos Entre Falla Ordenados de Forma Creciente del Entorchamiento de la Cinta Transportadora SBC100

i	TEF (Horas)
1	571
2	811
3	979
4	1128
5	1341
6	1551
7	1820

b) En segundo lugar se realizó el cálculo de la frecuencia acumulada de falla $F_{(i)}$ por medio de la ecuación 2.11, la cual corresponde a un número de muestra menor de veinte ($n \leq 20$):

$$F_{(i)} = (i-0,3)/(n+0,4) \quad \text{Ec. 2.11}$$

Para un valor $i = 1$, se tiene que:

$$F_{(i)} = (i-0,3)/(n+0,4) = (1-0,3)/(7+0,4) = 9,46$$

De la misma manera a través de la ecuación 2.11, se calculó la frecuencia acumulada de falla para los demás valores de muestra $i = 2, 3, 4, \dots, 7$ y en la tabla 4.68 se muestran estos resultados.

Tabla N°4.68 Frecuencia de Falla Acumulada del Entorchamiento de la Cinta Transportadora SBC100

i	TEF/100 (Horas)	% $F_{(i)}$
1	5,71	9,46
2	8,11	22,97
3	9,79	36,49
4	11,28	50,00
5	13,41	63,51
6	15,51	77,03
7	18,20	90,54

c) El tercer paso, fue graficar en el papel de Weibull los valores de los TEF en el eje horizontal, mientras que los valores de la frecuencia acumulada de falla ($F_{(i)}$) en el eje vertical, para de esta manera obtener la curva TEF vs $F_{(i)}$ como se muestra a continuación de la gráfica color azul en la figura 4.38.

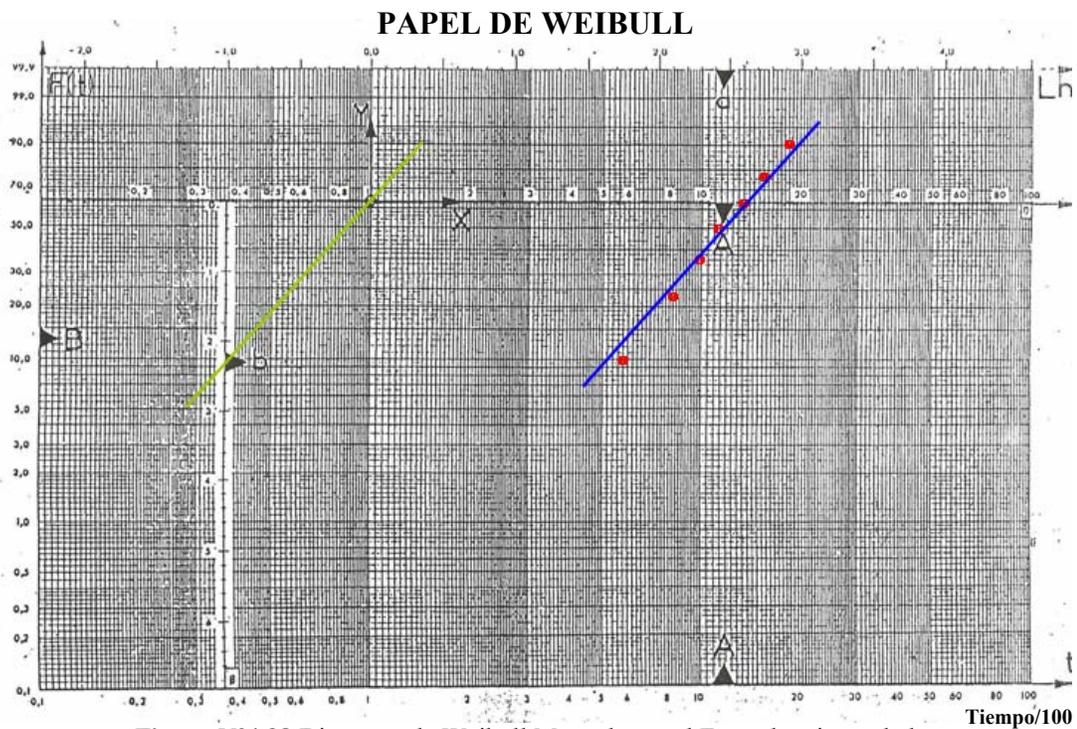


Figura N°4.38 Diagrama de Weibull Manual para el Entorchamiento de la Cinta Transportadora SBC100

Después de haber graficado sobre el papel de Weibull, se puede apreciar que los puntos obtenidos pueden representar una línea recta, por consiguiente se considera que la línea obtenida es una recta. Posterior a la comprobación de la linealidad de la gráfica, se obtiene el valor del parámetro de escala ($\eta=1380$) en la horizontal y trasladando una paralela a la recta al punto de Weibull (línea de color verde en la figura 4.38) se halló el valor del parámetro de forma ($\beta=2,5$).

e) Una vez obtenido los tres parámetros se procede con el cálculo de la confiabilidad en el tiempo propuesto, mediante la ecuación 2.5, de la siguiente manera:

$$R(t) = \exp[-[(t- \gamma)/\eta]^\beta] = \exp[-[(960-0)/1380]^{2,5}] = 0,6678 \quad \text{Ec. 2.5}$$

Por último se comparan los resultados de la confiabilidad obtenidos mediante los dos métodos descritos anteriormente. En la tabla 4.69 se puede ver los valores de la confiabilidad obtenidos por ambos métodos.

Tabla N° 4.69 Comparación de Resultados de Confiabilidad para el Entorchamiento de la Cinta Transportadora SBC100

Método	Parámetro de Forma β	Parámetro de Escala η	Parámetro de Posición γ	Confiabilidad para T = 960H
Software Autocon 1.0	2,65	1336,06	0	0,6589
Weibull Manual	2,50	1380,00	0	0,6678

Para establecer la validación de los resultados obtenidos mediante el software, se procedió a calcular el porcentaje de error, dicho cálculo arrojó resultados satisfactorios ya que el porcentaje de error resultante es menor que 5%, quedando validado los resultados del software. A continuación se muestra el cálculo del porcentaje de error.

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{R_{(t)Manual} - R_{(t)Software}}{R_{(t)Manual}} \right| * 100 = \left| \frac{0,6678 - 0,6589}{0,6678} \right| * 100 = 1,33 \%$$

4.6 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE

Actualmente la Gerencia de Mantenimiento de Pequiven cuenta con un plan de mantenimiento, el cual tiene muchos años en ejecución, sin embargo esta gerencia considera que los planes de mantenimiento para el sistema de carga de urea deben ser dinámicos, por consiguiente ha establecido que deberían ser actualizados cada dos años. Hay que destacar la importancia de la renovación de los planes de mantenimiento para dicho sistema, ya que el ambiente al cual se encuentran expuestos los equipos, contribuye considerablemente a su deterioro, debido a que están ubicados a la orilla del mar, además tienen en sus adyacencias muchas empresas petroquímicas las cuales mantienen el ambiente con muchos agentes corrosivos.

Es importante señalar que este plan de mantenimiento no ha sido cumplido de una manera eficiente y oportuna, trayendo esto como consecuencia que el 40% de los trabajos de mantenimiento sean correctivos, siendo este un indicador negativo para la rentabilidad de la empresa, ya que se espera que estos trabajos no superen el 20%. Este alto porcentaje de mantenimiento correctivo se debe a varias razones, entre ellas está el incumplimiento del trabajo preventivo; este incumplimiento se debe en muchos casos a que la falla se adelanta a la fecha del trabajo preventivo.

Comparando las frecuencias de mantenimiento que se tienen establecidas para ejecutar los trabajos preventivos, dirigidos a mitigar los modos de falla que resultaron con muy alta criticidad, con las frecuencias determinadas para mantener una confiabilidad de 95%, se pudo constatar que para todos los modos de falla en estudio, las frecuencias de intervención calculada es menos prolongada, por ejemplo en el caso de los rodamientos del motor de la Unidad Motriz PBC 100 M01, la frecuencia de sustitución de este componente es cada seis meses, sin embargo de acuerdo a los cálculos realizado la frecuencia no debe ser menor a las 724 horas (aproximadamente un mes).

Es importante recordar, que estos resultados son el producto de la utilización de una data histórica de fallas del equipo, dichas fallas son provenientes propiamente del agotamiento de su vida útil, pero hay que tomar en cuenta también que la ocurrencia de fallas potenciales crónicas en otros componentes del equipo, pueden causar la falla prematura en el rodamiento, además otros trabajos de mantenimientos como limpieza y pintura, humedad en el área, lubricación, entre otros, pueden ser la causa de la anticipación de la falla y por ende de la gran diferencia entre la frecuencia actual y la calculada.

Uno de los factores más significativos que se debe tomar en cuenta, es la disponibilidad de repuestos en el stock de materiales. La indisponibilidad de repuestos impide la realización del mantenimiento preventivo, en esta situación también cobra importancia la jerarquización de los modos de falla, ya que es importante el establecimiento de prioridades cuando se quiere mantener un stock de repuestos y más aún, cuando existen limitaciones de tiempo y recursos para la adquisición de los materiales.

Es elemental dejar claro entonces, que mas allá de tener un buen plan de mantenimiento que contenga tareas adecuadas de ejecución, con una frecuencia ajustada a la realidad del proceso productivo, hay que tomar en cuenta algunos factores ligados a las políticas de la empresa, tales como la disposición del personal capacitado, la disponibilidad de repuestos, y todo aquello que permita realizar el mantenimiento de una manera eficiente y oportuna.

El plan de mantenimiento que se muestra a continuación busca mitigar los problemas, principalmente asociados con los modos de falla con una muy alta criticidad, determinados mediante la jerarquización de los modos de falla, sin embargo este se hará efectivo si se toman las previsiones y se evitan en lo posible, los problemas relacionados con las políticas de la empresa mencionados anteriormente.

4.7 PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SISTEMA DE CARGA DE UREA

En la realización de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo para los equipos críticos del sistema de carga de urea, se tomó como punto de partida los efectos de falla correspondientes a los modos de falla que resultaron con mayor Jerarquía, determinados mediante la metodología de jerarquización de modos de falla. Las tareas propuestas están enfocadas en tres niveles de incidencia sobre el modo de falla en estudio, como son el componente relacionado directamente con la falla, otros componentes del equipo y el reacondicionamiento del equipo. Esto con la intención, de atacar la falla desde el componente o equipo que la produce, hasta toda aquella anomalía capaz de fomentar su aparición. En la figura 4.34 se muestra esquemáticamente el radio de acción que tienen las tareas de mantenimiento sobre el modo de falla.

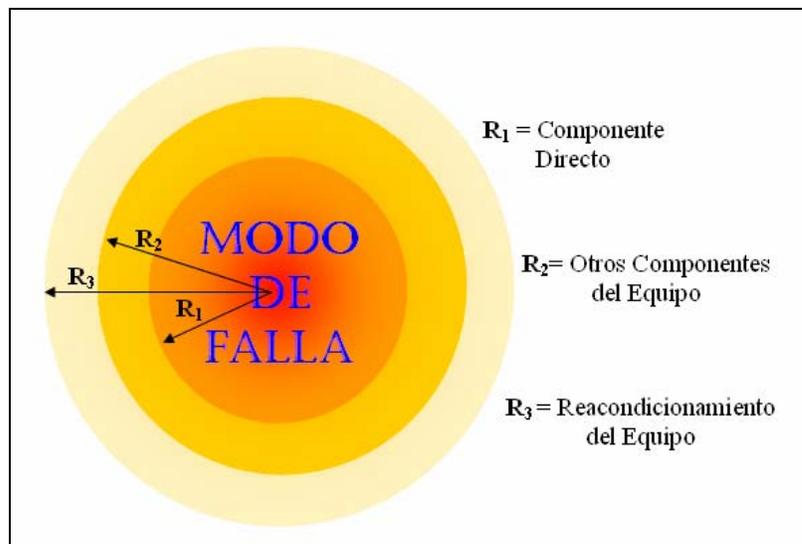


Figura N° 4.39 Radio de Acción de las Tareas de Mantenimiento en el Modo de Falla
Fuente: Propia

En la Figura 4.39 se muestra tres radios de acción de los trabajos de mantenimiento. El radio uno (R_1) representa las tareas destinadas hacia los

componentes que generan directamente los modos de falla con una muy alta jerarquía. El segundo radio de acción (R_2), contempla las tareas dirigidas sobre aquellos componentes del mismo equipo que al fallar pudieran causar la falla del componente que produce el modo de falla en estudio, y por último se muestra el radio R_3 que representa las tareas de reacondicionamiento del equipo, en virtud de mantenerlo trabajando bajo las mejores condiciones posibles.

Como se aprecia en la figura anterior, mientras más cercano se esté del epicentro del problema, mayor es la incidencia que tiene la tarea de mantenimiento sobre la erradicación de la falla, sin embargo se considera que la combinación de todos ellos sería lo más indicado para mitigar estos modos de falla tan perjudiciales para la empresa.

En cuanto la frecuencia de mantenimiento para la ejecución de las diferentes tareas preventivas, se tomó como insumo en primer lugar las frecuencias calculadas necesarias para mantener una confiabilidad de los equipo de 95%, estas frecuencias fueron revisadas y ajustadas por el ENT a la realidad operacional de la planta, sin dejar a un lado las recomendaciones del fabricante, juicio de expertos y experiencias con equipo similares.

Este programa se dividió en 48 semanas e individualizó por cada equipo crítico, y muestra la tarea a realizar, el personal necesario para ejecutar la tarea, las horas hombre estimadas y la semana en la que se programa la intervención del equipo. Es importante resaltar que al aplicarse este plan de mantenimiento, los trabajos correctivos que se aplicarían a los componentes que generan los modos de falla con muy alta jerarquía, quedarían muy por debajo del 20% ya que el 94% de las tareas propuestas son de tipo preventivo. A continuación, en las tablas numeradas desde la 4.70 hasta la 4.75 se muestra la propuesta de mejoras al plan de mantenimiento de los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

❖ CONCLUSIONES

1. El diagnóstico de la situación operacional del Sistema de Carga de Urea, permitió conocer realmente como es el proceso de carga, así mismo fue posible conocer los subsistemas que lo conforman y los equipos involucrados en dicho proceso, la manera como funcionan e interactúan entre ellos y sus estándares de funcionamiento.
2. Con el Análisis Impacto – Esfuerzo se consiguió jerarquizar los subsistemas que conforman el Sistema de Carga de Urea, permitiendo que gran parte de los esfuerzos de mantenimiento sean dirigidos a aquel subsistema con la prioridad más alta, el cual fue el Subsistema Transportador Tubular PBC100.
3. La aplicación de la metodología D.S. de análisis de criticidad, permitió identificar el nivel de criticidad de los equipos que integran el Subsistema Transportador Tubular PBC100, de los cuales resultaron tres equipos críticos, como son La Cinta Transportadora SBC100, La Unidad Motriz PBC100 M01 y El Guiche Eléctrico Tensor PBT-110 M01. Esta estructura jerarquizada facilitó la toma de decisiones para la creación del plan de mantenimiento para dichos equipos críticos.
4. Por medio de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), fue posible identificar las funciones, las fallas funcionales, los modos de fallas y los efectos de falla de los tres equipos críticos del Sistema de Carga de Urea. Esta

información, fue la base para la creación de las actividades de mantenimiento de los equipos críticos del sistema de carga de urea.

5. La jerarquización de los modos de falla de los equipos críticos del sistema de carga de urea, permitió obtener una estructura jerarquizada de los modos de falla, con un nivel de criticidad para cada uno de ellos, de los cuales el 13% resultó con muy alta criticidad, llevando a enfocar las tareas preventivas directamente sobre estos modos de falla con mayor nivel de criticidad.
6. Con la estimación de la confiabilidad, se pudo conocer cuál es la probabilidad de que los equipos críticos del sistema de carga de urea funcionen satisfactoriamente sin que presenten los modos de falla con muy alta criticidad, en un periodo de tiempo de 960 horas. Así mismo se pudo conocer también, la frecuencia de mantenimiento necesaria para mantener una confiabilidad de 95%.
7. La planificación del mantenimiento para los equipos críticos del sistema de carga de urea, fue realizada tomando en cuenta principalmente los efectos de falla correspondientes a los modos de falla que resultaron ser Muy Altamente Críticos, de acuerdo a la aplicación de la metodología de la jerarquización de los modos de falla, donde se planificaron tareas con incidencia directa sobre el componente que causa la falla en estudio, a demás tareas sobre otros componentes que fomentan este modo de falla y tareas de reacondicionamiento del equipo crítico.

❖ RECOMENDACIONES

1. Implementar el plan de mantenimiento al sistema de carga de urea propuesto en este trabajo de grado.
2. Mantener un stock de repuestos donde se incluyan principalmente los materiales que se utilizaran en las tareas propuestas en este trabajo. Así mismo el personal de mantenimiento prestará el apoyo necesario al personal de procura de materiales para lograr dicho stock.
3. Difundir la información de este trabajo a todo el personal de la planta para que conozcan cuales equipos ponen en riesgo la rentabilidad de la empresa cuando fallan, igualmente cuales de ellos tienen mayor impacto en la seguridad personal y el ambiente, esto ayudará a que el trabajador actúe con mayor responsabilidad.
4. Crear una base de datos que permita obtener el historial de mantenimiento de los equipos que conforman el sistema de carga de urea del muelle petroquímico General de división José Antonio Anzoátegui.
5. Incorporar indicadores de gestión de mantenimiento, a fin de evaluar los resultados de acciones tomadas en esta área y poder rectificarlas a tiempo de ser necesario.
6. Estimar la confiabilidad utilizando tiempos entre falla actuales, ya que los tiempos entre fallas utilizados en este trabajo fueron tomados del año 2007 debido a que en ese año se inició este estudio. Esto permitirá que el plan de mantenimiento se ajuste más a la realidad operativa de los equipos.

BIBLIOGRAFIAS

1. K. Arenas, **“Estudio de las Fallas que se Presentan en las Cabrias de la Taladros de PDVSA”** Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2005).
2. R. Ramos, **“Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo a la Línea de Producto Retornable de una Embotelladora de Bebidas Gaseosas”** Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2004).
3. G. Jiménez y N. Carmona **“Análisis de Criticidad y Evaluación Económica de los Programas de Mantenimiento de los Equipos Rotativos asignados al área de Mantenimiento de la Planta de Extracción San Joaquín-PDVSA GAS”** Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2002).
4. D. Suárez, **“Guía Teórico – Práctico Mantenimiento Mecánico”**, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2001).
5. M. Cáceres, **“Cómo Incrementar la Competitividad del Negocio mediante Estrategias para Gerenciar el Mantenimiento”** Soluciones Integrales Corporativas ICS GROUP S.A. 15. Maracaibo, Zulia, Venezuela (2008).
6. L. Brito **“Como Elaborar un Plan de Mantenimiento Preventivo”** Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos13/mante/mante.shtml> (2005).
7. L. A. Tavares, **“Administración Moderna de Mantenimiento”** San Pablo, Brasil (1998).

8. R. Huerta, **“El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional”**.
Disponible en: http://www.confabilidad.net/art_05/RCM/rcm_8.pdf (2008).
9. D. Zabala, **“Técnicas Avanzadas de Inspección en Válvulas de Proceso y Control Para Establecer un Plan de Mantenimiento”**, Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2007).
10. L. Montaña, **“Diseño de un Sistema de Mantenimiento con Base en Análisis de Criticidad y Análisis de Modos y Efectos de Falla en la Planta de Coque de Fabricación Primaria en la Empresa Acerías Paz del Río S.A.”** Trabajo de Grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Duitama, Escuela de Ingeniería Electromecánica, Duitama, Colombia (2006).
11. C. Parra y A. Crespo, **“Modelo Integral Para Optimizar la Confiabilidad en Instalaciones Petroleras”**, PDVSA Intevep, Venezuela (2006).
12. L. D. Torres, **“Mantenimiento. Su implementación y Gestión”**, UNIVERSITAS, Segunda Edición, Argentina (2005).
13. O. Salazar, **“Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para las Líneas de Recepción-Secado de Maíz”**, Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2008).
14. L. Amendola, **“Modelos Mixtos de Confiabilidad”**, Universidad Politécnica Valencia España Dpto. Proyectos de Ingeniería. (2003).
15. L. Valladares, **“Elaborar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad dirigido a los activos involucrados en el proceso de fabricación”**

- de válvulas de Gas Lift en Macco de Venezuela c.a. bajo los requisitos de la Norma ISO 9001:2000**”, Trabajo de Grado presentado ante la Universidad De Oriente como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico (2007).
16. D. Suárez, **“Clasificación de Equipos en Función de su Criticidad”**. Introducción para el estudio de equipos. Confima & Consultores. Puerto la Cruz (2007).
17. D. Gutiérrez, **“Evaluación Técnica del Comportamiento Operacional Basada en los Indicadores de Efectividad de los Aeroenfriadores de Procesos del Mejorador de Crudo de PDVSA – PETROCEDEÑO”**, Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico (2009).
18. I. Escala, **“Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los Equipos Rotativos y Estáticos que conforman la planta procesadora de sal refinada de la distribuidora SAL BAHIA C.A.”**, Tesis de Grado, Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, Venezuela (2009).
19. W. Pirelly, **“Manual de Fabricación de Bandas y Rodillos Transportadores”**, Editorial Mac Graw Hilln, Impreso en Madrid, España (1999).
20. O. Galindo, **“Usos y Aplicaciones de la Urea”**, disponible en: <http://www.textoscientificos.com/quimica/urea> (2005).

APÉNDICE “A”**FORMATO DE ENCUESTA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD METODOLOGÍA DS**

Fecha: ___/___/___

Equipo (Código): Cinta de Transportadora (SBC 100)

Encuestado: José Rodríguez

Cargo: Supervisor de Operaciones

A continuación se le formulará una serie de preguntas de selección simple, marque con una (X) la respuesta que considere correcta, si no comprende algún ítem de esta encuesta se le prestará la colaboración necesaria. La total comprensión y la realización de esta encuesta son de suma importancia para la empresa.

1. Cantidad de fallas ocurridas en el año 2007

Equipo Estático	Selección
1a) 0 < Fallas < 1	
1b) 1 < Fallas < 3	
1c) Fallas ≥ 3	

Equipo Dinámico	Selección
1a) Fallas = 1	
1b) 1 < Fallas < 12	X
1c) Fallas ≥ 12	

2. Tiempo Promedio Tuera de Servicio (MTFS) durante el año 2007 expresado en horas

$$MTFS = \frac{\sum TFS}{\sum FallasOcurridas}$$

OPCIONES	SELECCIÓN
2A) TPFS ≤ 4	
2B) 4 < TPFS ≤ 8	
2C) TPFS > 8	X

3. Disponibilidad de repuestos durante el año 2007 (DR)

$$DR = \frac{CantidadSatisfecha}{CantidadDemandada} \times 100\%$$

OPCIONES	SELECCIÓN
3A) DR ≥ 80%	
3B) 50% ≤ DR < 80%	
3C) DR < 50%	X

4. Cumplimiento del mantenimiento preventivo (CMP) durante el año 2007

$$CMP = \frac{\text{Ordenes Ejecutadas}}{\text{Ordenes Programadas}} \times 100\%$$

OPCIONES	SELECCIÓN
4A) $75\% \leq CMP \leq 100\%$	
4B) $50\% \leq CMP < 75\%$	X
4C) $0\% \leq CMP < 50\%$	

5. Efectividad del equipo durante el año 2007 (E)

$$E = \frac{\text{Hrs. Efectivas}}{\text{Hrs. Calendario}} \times 100\%$$

OPCIONES	SELECCIÓN
5A) $E \geq 80\%$	
5B) $50\% \leq E < 80\%$	X
5C) $E < 50\%$	

En caso de que hayan ocurrido fallas, se calcula de la siguiente forma:

$$E = \frac{\text{Hrs. Efectivas}}{\text{Hrs. Calendario} - \sum TFS} \times 100\%$$

6. Backlog o Trabajo pendientes durante el año 2007 (B) expresado en semanas

OPCIONES	SELECCIÓN
6A) $0 \leq B < 2$	
6B) $2 \leq B \leq 5$	X
6C) $B > 5$	

8. Efecto sobre la seguridad del personal y/o el ambiente (SIAHO) durante el año 2007

OPCIONES	SELECCIÓN
7A) Sin Consecuencias	
7B) Efecto Temporal	X
7C) Efecto Permanente	

9 Costo de Producción

OPCIONES	SELECCIÓN
8A) Igual a la meta	
8B) Menor a la meta	
8C) Mayor a la meta	X

Leyenda:

MTSF: Tiempo promedio fuera de servicio

$\sum TFS$: Sumatoria de los tiempos fuera de servicio

Hrs.: Horas

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	<p>“MEJORAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DEL SISTEMA DE CARGA DE UREA BASADO EN LA CONFIABILIDAD”</p> <p>CASO: SISTEMA DE CARGA DE UREA GRANULAR DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO GENERAL DE DIVISIÓN JOSÉ ANTONIO ANZOÁTEGUI</p>
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E-MAIL
Márquez González, Lino Eduardo	CVLAC: 16.893.086 E-MAIL: linoeduardom@gmail.com E-MAIL:
	CVLAC: E-MAIL:
	CVLAC: E-MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Mantenimiento, Sistema de Carga de Urea, Transportador Tubular
Análisis de Criticidad, Análisis de Modos y Efectos de Falla,
Jerarquización de Modos de Falla, Estimación de Confiabilidad.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental proponer mejoras al plan de mantenimiento basado en la confiabilidad de los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea del Complejo Petroquímico General de División José Antonio Anzoátegui. Para el desarrollo de esta investigación, primero se procedió a describir el contexto operacional de la planta, seguidamente se realizó un análisis Impacto-Esfuerzo con el objeto de priorizar los subsistemas que conforman el sistema de carga de urea, y orientar las acciones de mantenimiento a aquel que resulte con la prioridad más alta. Luego se realizó un análisis de criticidad, a fin de dirigir los esfuerzos de la gestión de mantenimiento hacia los equipos, cuya indisponibilidad tenga el mayor impacto sobre la producción, seguridad y el medio ambiente; es decir los equipos más críticos. Posteriormente, se ejecutó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), donde se establecieron las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla de todos los equipos críticos, permitió seleccionar la tarea de mantenimiento a realizarse. Seguidamente se realizó una estimación de la confiabilidad de los equipos críticos, para posteriormente obtener las frecuencias de mantenimiento. Ya con toda esta información disponible, se diseñó el Plan de Mantenimiento, de los equipos críticos del Sistema de Carga de Urea, con los cuales, se logrará disminuir la incidencia de fallas de los equipos y asimismo disminuir las pérdidas por demoras en el proceso, obteniéndose un considerable ahorro de recursos económicos, con un notorio aumento en la producción y una alta calidad en el servicio que garantice la satisfacción de los clientes.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Prof. Villarroel Delia	CVLAC:	5.189.938			
	E_MAIL	deliavs@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Ing. García José	CVLAC:	7.765.321			
	E_MAIL	josegarcia@pequiven.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Prof. Suárez Diógenes	CVLAC:	5.333.471			
	E_MAIL	diogenessuarezq@yahoo.es			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Prof. Edgar Rodríguez	CVLAC:	4.012.952			
	E_MAIL	rmedgar5@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

<u>2010</u> AÑO	<u>12</u> MES	<u>02</u> DÍA
---------------------------	-------------------------	-------------------------

LENGUAJE: SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. LINOMÁRQUEZ.doc	application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
 I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u
 v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO MECÁNICO. _____

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PRE-GRADO. _____

ÁREA DE ESTUDIO:

Sistemas Dinámicos _____

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI. _____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién lo participará al Consejo Universitario”.

AUTOR

LINO E. MÁRQUEZ G.

TUTOR

PROF DELIA VILLARROEL

JURADO

PROF DIÓGENES SUÁREZ

JURADO

PROF EDGAR RODRÍGUEZ

COORDINADOR DE SUBCOMISIÓN DE TESIS

PROF. DIÓGENES SUÁREZ