



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

MANTENIBILIDAD EN PROYECTOS DE INVERSION

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN GESTION Y
DIRECCION DE EMPRESAS

JOSE LEONIDAS OYANADEL CORTES

PROFESOR GUÍA:
LUIS ZAVIESO SCHWARTZMAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
IVAN BRAGA CALDERON
JUAN MEDEL FERNANDEZ

SANTIAGO DE CHILE
JULIO 2013

RESUMEN

En los proyectos de inversión que ha desarrollado Codelco, en los últimos años, han existido dificultades para cumplir los plazos y costos comprometidos, por no haber considerado la mantenibilidad de las plantas e instalaciones que se construyeron en las diferentes etapas de ingeniería.

En general, el principal problema que se ha identificado es la baja participación de los operadores y mantenedores de las futuras instalaciones, en el diseño de ingeniería en las distintas etapas de un Proyecto. Además, como factores contribuyentes aparecen aspectos organizacionales, los cuales alejan al proyecto de las áreas que finalmente van a operar y mantener las plantas e instalaciones.

Las dificultades que se han experimentado, han provocado pérdidas de producción, incumplimiento de costos y plazos, lo que finalmente compromete la credibilidad del dueño.

Codelco, está en una fase de inversiones para asegurar su liderazgo en la industria del cobre, y para ello está desarrollando sus Proyectos Estructurales, en los cuales no puede haber atrasos y debe asegurar los costos y producción comprometida.

En este trabajo, se desarrolla una metodología para asegurar que el concepto de mantenibilidad, sea considerado en proyectos de inversión, desde la etapa de prefactibilidad hasta la construcción y puesta en marcha. El método se aplica al proyecto Ministro Hales de Codelco, en la Planta de Chancado.

La aplicación del método, comenzó en la etapa de ingeniería de detalles, desde donde se realiza talleres de trabajo para incluir la mantenibilidad como un requisito para las instalaciones, en ellas se detectó que el diseño debía mejorar aspectos de mantenimiento. Al simular la planta, se encuentra que los planes de mantenimiento y las condiciones de diseño no responden a lo esperado tanto en desempeño como costos. Se encuentra además, que la selección de equipos, no considera aspectos tales como el costo del ciclo de vida, lo que traslada costos desde la inversión a la operación.

El aplicar el método ha permitido anticipar problemas de diseño, los cuales se pueden resolver a un menor costo cuando se está en las etapas de diseño y construcción, luego en operación esto se podrá hacer también pero a costos bastantes superiores y comprometerán el cumplimiento de las promesas del proyecto (plazo, producción y costos).

El método propuesto, se puede aplicar a otros proyectos, porque entrega criterios replicables y actividades que se pueden ejecutar, desde la prefactibilidad hasta la puesta en marcha de los mismos.

SUMMARY

In the projects of inversion that it has developed Codelco, in the last years, they have existed difficulties to fulfill the terms and committed costs, for having considered the maintenance of the plants and installations that it is built in the different stages of engineering.

In general, the main problem that has identified is the low participation of the operators and maintenance people of the future installations, in the design of engineering in the different stages of a project. Moreover, as contributing factors they appear aspects from organization, those which move aside to the project of the areas that finally are about to operate and keep the plants and installations.

The difficulties that it been experimented, have caused losses of production, nonfulfillment of costs and terms, which finally compromises the credibility of the owner.

Codelco, is in a phase of inversions to secure your leadership in the industry of the copper, and for it it is developing your Estructurals Projects, in those which cannot have delays and must secure the costs and committed production.

In this work, a methodology is developed to secure that the concept of mantenibilidad, is considerate being planned of inversion, from the stage of profile to the construction and starting. The method it is applied to the Ministro Hales project of Codelco, in the Plant of Crusher.

The application of the method, it began in the stage of engineering of details, from in which is carried out workshops of work to include the mantenibilidad as a requirement for the installations, in them/it detected that the design must improve aspects of maintenance. when simulating the plant, it finds that the plains of maintenance and the conditions of design do not answer it waited so much in acting as costs. It finds moreover, that the selection of equipment, consider aspects just as the cost of the cycle of life, which moves costs from the inversion to the operation.

The apply the method has permitted anticipate problems of design, those which can decide to a smaller cost when it is in the stages of design and construction, then in operation this will be able to do also but to enough superior costs and will compromise the fulfillment of the promises of the project (term, production and costs).

The proposed method, can apply to other projects, because gives replicableses criterions and activities that can execute, from the profile to the start-up of the same.

DEDICO ESTE TRABAJO A MIS PADRES, ESPOSA E HIJOS

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mayor gratitud a mis Hijos y Verónica por el tiempo que me dieron, para realizar los estudios que con este trabajo termino, gracias por la paciencia.

A mis compañeros de equipo, con quienes compartimos grandes momentos y de seguro seguiremos unidos más allá del programa. Gracias por el apoyo permanente durante estos dos años.

A mi profesor guía por su apoyo y motivación en los momentos en que se perdía la claridad y me orientó para seguir adelante.

A mi profesor invitado, su apoyo fue fundamental para terminar este trabajo, con sus consejos y mirada visionaria del negocio de Codelco.

Finalmente gracias a mis padres, que han permitido que haya recorrido este camino, por su apoyo y formación de familia, por haberme permitido recorrer este camino.

Gracias a todos.

Abril 2013

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
Introducción	1
Descripción de la Organización	2
Contexto Específico	3
Capítulo I Visión en el Desarrollo de Proyectos	5
Capítulo II Tareas de Mantenibilidad	10
Importancia de la Mantenibilidad	13
Elementos de la Mantenibilidad	14
Mantenibilidad y sus Interrelaciones	22
Descripción de las Tareas de Mantenibilidad	26
Capítulo III Tareas de Confiabilidad Operacional	46
Descripción de las Tareas de Confiabilidad Operacional	47
Capítulo IV Apoyo Logístico	65
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	71
Análisis de las Tareas de Mantenimiento	73
Análisis de Apoyo Logístico	75
Modelamiento de la Disponibilidad	77
Recursos Humanos y su Capacitación	79
Capítulo V Costos del Ciclo de Vida	81
Tarea Análisis de Costos del Ciclo de Vida	89
Tarea Validación y aceptación del Costo de Mantenimiento	92
Capítulo VI Caso Ministro Hales	94
Análisis de Mantenibilidad	95
Antecedentes Técnicos	97
Consideraciones Técnicas	98
Confiabilidad y Homologación de Equipos	99
Resultados	100
Ciclo de Vida	101
Capítulo VII Conclusiones y Recomendaciones	103
Bibliografía	105
Anexo A Tareas de Mantenimiento en SAP	106
Anexo B Resumen de Productos de Mantenibilidad	111
Anexo C Base de Datos de Fallas de Equipos Principales	127
Anexo D Plan Matriz de Equipos Principales (Preliminar)	133
Anexo E Cálculo de Disponibilidad y Confiabilidad	135

Introducción

Codelco es el primer productor de cobre del mundo y posee, además, cerca del veinte por ciento de las reservas mundiales del metal.

El nombre Codelco representa a la Corporación Nacional del Cobre de Chile, una empresa autónoma propiedad del Estado chileno, cuyo negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta convertirlos en cobre refinado, y su posterior comercialización.

Posee activos propios por más de US 20.279 millones y un patrimonio que en 2010 ascendió a US\$4.531 millones. Codelco, en el 2010, produjo 1,76 millón de toneladas métricas de cobre refinado (incluida su participación en el yacimiento El Abra). Esta cifra equivale al 11% de la producción mundial. Su principal producto comercial es el cátodo de cobre grado A.

La compañía ejecuta sus operaciones a través de seis divisiones mineras más la Fundición y Refinería Ventanas, que pertenece a Codelco desde mayo de 2005. Su estrategia corporativa es coordinada desde la Casa Matriz ubicada en Santiago de Chile.

La Corporación participa además en la propiedad de importantes empresas mineras, como Minera Gaby S.A., donde posee el 100% de la propiedad, y como El Abra, en la que posee el 49%; y otras asociaciones mineras orientadas a la explotación geológica, tanto en Chile como en el exterior.

Para mantener su capacidad productiva y su posición de mercado, debe desarrollar inversiones por unos 20 mil millones de dólares en los próximos años. Estas inversiones se deben materializar en el mediano plazo y hoy se encuentra desarrollando su proyecto Mina Ministro Hales, con una inversión de 2.300 millones de dólares. Este proyecto forma parte de una cartera de inversiones llamada Proyectos Estructurales.

En la historia de Codelco, el desarrollo de proyectos de inversión, ha tenido dificultades en lo que respecta a la consideración del ciclo de vida de los activos y la mantenibilidad de sus nuevas instalaciones. Ello ha conllevado a retrasos en la puesta en marcha y entrada en régimen de las nuevas plantas; y además, ha debido asumir mayores costos, producto de rediseños y cambios en la etapa de construcción y puesta en marcha, por no haber considerado en las etapas de pre- factibilidad y factibilidad las condiciones de mantenibilidad y el ciclo de vida de los nuevos activos.

A raíz de lo anterior, la Gerencia Corporativa de Excelencia Operacional, diseñó una norma interna que regula las diversas actividades que se deben realizar en términos de anticipar los problemas de diseño y mantenibilidad. Sin embargo, la existencia de esta norma no ha resuelto los problemas y esto ha quedado demostrado en proyectos recientes (Planta de Tratamiento de Minerales en Pila, Mina Gaby, Sulfuros RT fase I).

En el desarrollo de un proyecto de inversión, que sobrepase los 10 millones de dólares, la responsabilidad de llevarlo desde la pre-factibilidad hasta la ejecución y puesta en marcha es de la Vicepresidencia de Proyectos.

La participación de las áreas que operarán y realizarán el mantenimiento de los activos, se limitan al rol de "cliente" que recibe las instalaciones y las pone en marcha para lograr las condiciones de diseño y cumplir con las metas productivas. La participación

en las distintas etapas, está dada en un grado menor en las etapas donde se definen los distintos procesos y equipos y el dimensionamiento de las plantas.

En este trabajo, se desarrollará una metodología, para asegurar el cumplimiento de los requerimientos de la mantenibilidad y ciclo de vida de los activos en proyectos de inversión, y con ello lograr el cumplimiento de plazos y costos en los proyectos estructurales de Codelco, para que cumplan con las promesas de producción, en la oportunidad que el dueño está esperando.

1. Descripción de la Organización

Codelco, opera seis Divisiones: Chuquicamata, Radomiro Tomic, El Salvador, Andina, El Teniente, Ventanas. Actualmente se encuentra desarrollando la séptima División Ministro Hales.

Ministro Hales (MH) es un proyecto estructural que tiene por finalidad incrementar el valor de la Corporación mediante la explotación y tratamiento de los minerales del yacimiento MH, originalmente conocido como Mansa Mina, que posee recursos totales del orden de 1.300 millones de toneladas (ley media de 0,96 de cobre) de los cuales se explotarán vía rajo abierto reservas por 289 millones de toneladas de mineral, dando lugar, a contar de fines de 2013, a una producción equivalente a 170.000 toneladas métricas de cobre fino y 300 toneladas de plata cada año en promedio.

El monto de la Inversión es de 2.300 millones de dólares y debe iniciar sus operaciones en el cuarto trimestre de 2013.

Mina

En el área Mina, el proyecto contempla las inversiones requeridas para que la División Ministro Hales desarrolle el pre-stripping más grande de la minería chilena, a través de la remoción de material estéril de 238 millones de toneladas y la construcción de la mina a rajo abierto, trabajos que fueron iniciados en abril de 2011 y se extenderán hasta mediados de 2013. Con posterioridad a ello, se explotará el rajo de MH a un ritmo de 50.000 toneladas por día, para lo cual se considera el uso de 42 camiones (peak) de 400 toneladas cortas, 4 palas de cable eléctricas con capacidad de 73 yardas cúbica (y3), 2 palas electro-hidráulicas de 52 y3, 4 perforadoras eléctricas de 110.000 libras de pulldown, equipos de movimiento de tierra y apoyo, junto con las inversiones requeridas en infraestructura y servicios.

Infraestructura

El área de infraestructura se emplazará al sur del rajo, en una superficie cercada de aproximadamente 126 hectáreas donde se encuentran las instalaciones que prestarán servicios de mantención -taller de camiones, naves de lubricación y de lavado de equipos, patio de neumáticos y bodegas-, como también las instalaciones de administración e ingeniería: bodegas, instalaciones para contratistas, atención del personal y una estación de combustible de vehículos menores. El diseño considera un barrio cívico urbanizado cercano al área.

Concentradora

El procesamiento de sus minerales se realizará en una planta concentradora independiente (stand-alone). El beneficio del mineral comprende los procesos de chancado primario, transporte en correas, acopio, molienda (un molino SAG y dos de bolas) y flotación.

Tostación – Fundición - Refinería

El concentrado de cobre, que contiene arsénico (As), será procesado en una nueva planta de tostación y entregará una calcina de bajo contenido de arsénico (As) y alta concentración de cobre, la que será procesada hasta cátodo de alta pureza en fundición y refinería.

2. Contexto Específico

Codelco gestiona y ejecuta su extensa cartera de proyectos de inversión a través de la Vicepresidencia de Proyectos (VP), organización experta en la materia que conceptualiza, diseña, construye y pone en marcha todos aquellos proyectos con base geo-minero-metalúrgica que superan los US\$ 10 millones.

En las etapas pre-inversionales (estudios de pre-factibilidad y factibilidad) la VP procura maximizar la rentabilidad de la inversión, agregando valor en cada una de las fases de desarrollo, con el objetivo de ofrecer el mejor negocio posible a la Corporación. Luego, en la etapa de ejecución inversional, busca capturar la promesa ofrecida privilegiando los aspectos plazo, costo, calidad y sustentabilidad, con un estándar de gestión de proyectos de alto nivel que se orienta a maximizar el valor económico de Codelco.

Cada proyecto, tiene una organización dedicada que incluye una Gerencia y todas las áreas de apoyo para concretarlo.

A lo largo del tiempo han existido dificultades para el cumplimiento de los plazos y costos, dado que hay aspectos que no son considerados en las distintas etapas de los proyectos. Dentro de estos aspectos están la mantenibilidad y el ciclo de vida de los activos, los cuales impactan al momento de la puesta en operación de las nuevas instalaciones. Existen costos asociados a rediseños, para cumplir con la mantenibilidad en las nuevas instalaciones, estos sobrecostos hacen que la operación tenga que asumir costos (OPEX) mayores a los planificados.

Los problemas se pueden resumir en:

- a) Baja participación del Cliente en las etapas de Perfil, Pre-factibilidad y factibilidad.
- b) Actores no cumplen su rol conforme lo indica la Norma Interna, en cuanto a responsabilidad, derechos y atribuciones.
- c) No se incorpora cliente en el desarrollo de los entregables del sistema de gestión de mantenimiento del ciclo de vida de los activos.
- d) Entregables de las fases del proyecto no definidos y no acordados entre Proyecto y Cliente, por ende son desconocidos y no hay conformidad del Cliente.
- e) Poco o nulo involucramiento del cliente en los análisis de mantenibilidad y confiabilidad.
- f) Permanente rotación de los representantes del Cliente.

3. Descripción

El presente trabajo busca desarrollar una metodología, que se pueda aplicar en el desarrollo de un proyecto, desde la etapa de perfil hasta su construcción y puesta en operación, para cumplir las promesas de costos, producción y plazos.

En cada etapa, deben existir tareas claras a cumplir por los diferentes interesados en el proyecto (stakeholders), que resguarden las consideraciones de diseño para obtener instalaciones mantenibles y un diseño del sistema de gestión de mantenimiento, que velará por el ciclo de vida de los nuevos activos.

CAPITULO I

1.1 Visión en el desarrollo de los Proyectos

En 1996 el Project Management Institute (PMI), asociación profesional dedicada al progreso del estado del arte en todo lo referente a la dirección de proyectos, publicó el Project Management Body Knowledge (PMBOK), lo cual ha permitido tener una visión estructurada de los procesos que participan en el desarrollo de los proyectos.

1.2 Nuestra Situación

La Corporación del Cobre, tiene un proceso inversional que para los próximos años bordeará los 20 mil MUS\$ en recursos, los cuales serán adquiridos en el mercado, es decir gastos externos a la empresa, en más de un 90%. Existen muchos ejemplos en el ámbito corporativo, de cómo nuestras instalaciones de una u otra forma han sufrido constantes pérdidas o fallas reiterativas durante su puesta en marcha, lo que hace que se tenga que invertir tiempo y dinero para ponerlas a operar de acuerdo a los requerimientos y condiciones del medio, es decir, de acuerdo a las condiciones originales que permitieron justificar la inversión.

Por otro lado, es necesario agregar que los requerimientos de producción, durante la fase de operación y mantención de las instalaciones, hacen que constantemente las instalaciones y su personal estén sometidos a presiones relacionadas con un sinnúmero de elementos que provocan pérdidas adicionales y mayores costos de producción.

Esta situación provoca una cadena de causa-efecto de fallas, que van deteriorando cada vez más el desempeño de las instalaciones, convirtiéndose en verdaderos círculos cerrados, que hacen que cada vez se haga más difícil revertirlas. En la figura 1-1, se muestra una de las diversas cadenas de causa-efecto que se pueden construir.

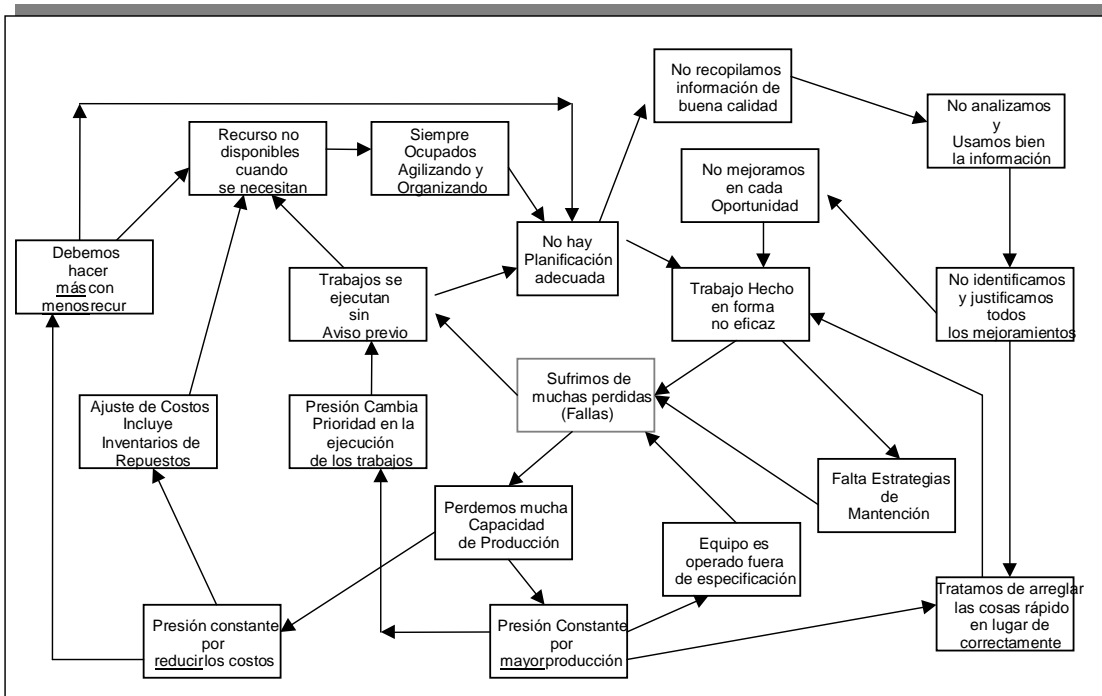


Figura 1-1 Ejemplo de una red de Causa-Efecto de las Fallas

Estas redes de causas y efecto, son posibles de minimizar al considerar en los diseños de las instalaciones, los aspectos que influyen en ellas y que son vulnerables a que la instalación vea reducida su confiabilidad, para cumplir determinada misión, dándole una mayor flexibilidad a la operación y al mantenimiento de ellas.

Las características operacionales de un sistema o instalación, así como el tipo de mantenimiento y reparación de los equipos de dicha instalación, están principalmente determinados por el tipo y calidad de diseño que se realice.

Durante la fase de diseño y construcción, los aspectos de Mantenibilidad tradicionalmente han sido desarrollados solo como un aspecto tangencial del diseño y no como un factor central de los Proyectos, basado principalmente en el expertizaje que pudiera tener el diseñador, primando frecuentemente el interés de la organización del Proyecto por lograr los objetivos de desempeño del desarrollo de un proyecto, minimizando los costos.

Esta situación ha estado cambiando y frecuentemente se ha prestado mayor atención al desempeño futuro del proyecto, como también a la operación y mantenimiento de las nuevas instalaciones, lo cual permite entregar a los usuarios instalaciones más confiables y con factores de mantenibilidad incorporados durante el desarrollo del proyecto.

Para tales efectos es fundamental contar con elementos estructurados durante las fases de diseño y construcción de la instalación, que permitan operar posteriormente, de acuerdo a estándares de Mantenibilidad adecuados.

1.3 ¿Qué Hacer?

Con el objeto de contribuir al mejoramiento continuo, es necesario incorporar con mayor énfasis, en nuestros procesos de gestión de proyectos, algunos aspectos que están siendo cada vez más recurrentes:

i. Considerar en los Proyectos de Inversión todo el Ciclo de Vida de la Instalación.

Las etapas de desarrollo de un proyecto abarcan desde la idea original de una oportunidad de negocio, que requiere de alguna forma de proyecto de inversión, hasta la aprobación o autorización de la correspondiente materialización, con el correspondiente plazo y presupuesto.

Esta etapa comprende todas las fases de ingeniería, desde el nivel de “perfil” pasando por la “Prefactibilidad” y luego la “Factibilidad”, en conjunto con la validación de toda la información de terreno: geológica, de reservas, metalúrgica, geotécnica y de suelos, geodésica, climática, etc., como también la estimación del presupuesto y la evaluación económica bajo criterios objetivos y estandarizados.

Dentro de estos completos estudios que tienen en cuenta una diversidad de especialidades, no se considera, por lo general, el análisis profundo de las fases de operación, mantención y cierre de las instalaciones, dando por hecho que esta situación le corresponde realizarlas a otras organizaciones. Es necesario orientar el desarrollo de los proyectos considerando todos los aspectos que influyen en su adecuado

desempeño, es decir, a que cubra todos los aspectos relacionados con todo el ciclo de vida de las instalaciones y equipos.

ii. Incrementar la Incorporación de los Conceptos de Mantenibilidad en los Proyectos de Inversión

Por diversas razones ha existido, en el desarrollo de los proyectos de inversión, una falta de incorporación de estudios estructurados y análisis profundos de la Mantenibilidad futura que tendrán las instalaciones que se proyectan, lo cual generalmente ha provocado más de un dolor de cabeza a los operadores y mantenedores, cuando estas instalaciones son puestas en servicio.

Si consideramos que las grandes oportunidades de mejorar las instalaciones se encuentran durante las fases iniciales de diseño, es indudable que es allí es donde se deben colocar los grandes esfuerzos por entregar un producto que considere todos estos aspectos. Tal como se mencionó, el ciclo de vida de las instalaciones se divide en términos generales en las fases de: planificación, diseño, construcción, operación y cierre.

Como se muestra en la figura 1-2, la conceptualización del proyecto determina los dos tercios de la definición final de la instalación. Las fases de diseño que siguen, determinan adicionalmente el 20% de la definición final de la instalación.

De acuerdo a ello, se estima que aproximadamente el 95%, en promedio, de la configuración final de una instalación queda determinada durante las tres primeras fases de ella, dejando solo un margen de un 5 % para realizar algunas mejoras a dicha instalación durante las fases de operación y mantención

Las decisiones realizadas tempranamente en las fases de conceptualización y de diseño de una planta o equipo, pueden tener efectos significativos sobre los costos operacionales de esos equipos durante toda su vida útil. Así, la decisión para incluir un programa de Mantenibilidad en un proyecto de inversión, incluyendo aspectos de Inspecciones Sintomáticas y monitoreo de las condiciones de los equipos, tendrá un impacto positivo mayor en los costos del ciclo total de vida de la instalación, si se realizan durante la fase de la planificación. Cuando la toma de decisión por incorporar dichos conceptos es realizada con posterioridad al inicio de las operaciones de la instalación, es más dificultoso, con costos muy superiores y demoras mayores, lograr los beneficios antes mencionados.

Incidencia en el Mejoramiento del Ciclo de Vida durante las fases de desarrollo de un Proyecto de Inversión

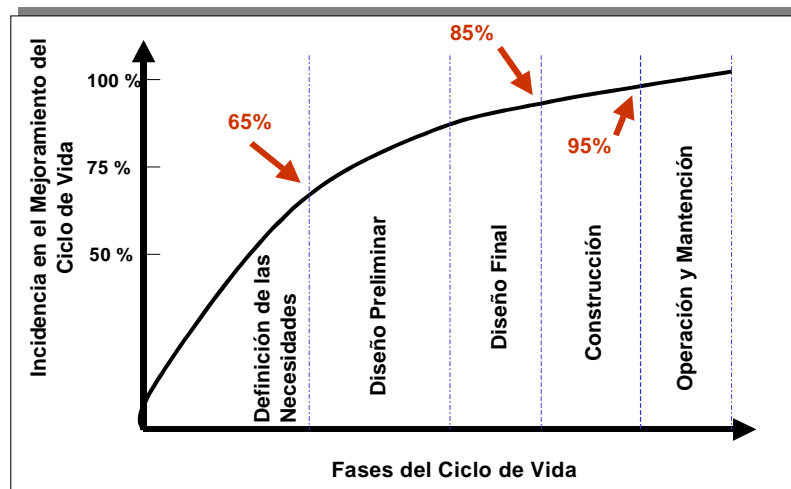


Figura 1-2 Desarrollo de un Proyecto

Los análisis de Confiabilidad tienen una incidencia posterior directa en:

- Pérdida de Producción por interrupciones
- Pérdida operacional por restablecimiento de proceso
- Holguras de capacidad/equipos
- Altos Inventarios de repuestos
- Sobredotación de Operadores./Mantenedores
- Cultura de las Emergencias
- Emergencias de Mantenimiento, con un factor de costos 3:1 (no planificado versus planificado)
- Inventarios de producto en proceso
- Proceso de puesta en marcha de instalaciones con problemas
- Mayor seguridad operacional del equipo o planta, debido a que los posteriores responsables, es decir, Operadores y Mantenedores, junto a Diseñadores, Ingenieros de Proyecto, Fabricantes y Proveedores, participan aportando su experiencia durante la fase de conceptualización y diseño.

Esta situación se puede observar en la figura 1-3, donde se muestra el impacto económico versus la oportunidad de implantar cualquier mejoramiento en una instalación con relación a las fases de su ciclo de vida.

Impacto económico versus la Implantación de mejoramientos

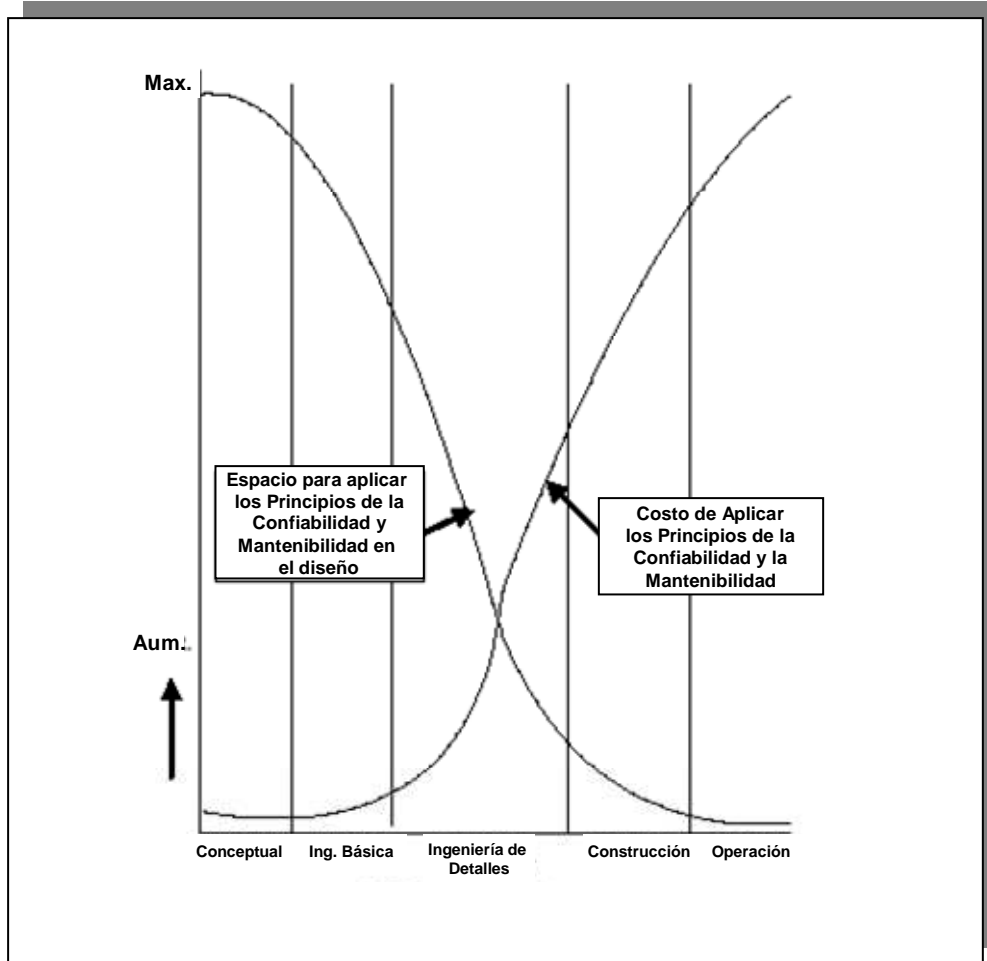


Figura 1-3 Impacto en los Costos al Implantar los de Confiabilidad y Mantenibilidad

Lamentablemente, ya sea por desconocimiento u otras razones, los administradores de proyectos frecuentemente optan por aceptar las economías de costo en el corto plazo, mediante la no incorporación de los conceptos de Mantenibilidad en la fase de diseño del proyecto. Sin embargo, el aumento de los costos asociado al mantenimiento y de los costos de apoyo incurridos durante la operación, serán significativamente superiores a haber considerado los análisis mencionados durante la fase de diseño conceptual y básico.

iii. Considerar en el Proyecto los Costos del Ciclo de Vida de la Instalación

El control de los costos durante todo el ciclo de vida de las instalaciones debe ser una preocupación primaria durante el desarrollo, el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y el reemplazo de los sistemas e instalaciones en la Corporación del Cobre.

1.4 ¿Cómo Hacerlo?

El tema en cuestión no es nuevo en nuestra Corporación y han sido diversos los intentos por tratar de cambiar nuestra forma habitual de hacer las cosas y cada uno de ellos ha contribuido con su aporte, a pequeñas mejoras que hoy nos tienen en la actual situación.

Esta podría eventualmente ser considerada aceptable si no tuviéramos sobre nuestras cabezas los constantes ciclos de los precios del cobre que hacen que la competitividad en el mercado de nuestro producto, sea cada vez más difícil.

1.5 Metodología

Esta metodología pretende entregar los conceptos de la mantenibilidad, para incorporarlos a los proyectos de inversión, dentro de un contexto global del desarrollo del diseño de ingeniería de dichos proyectos.

Pretende además, integrar estos conceptos a las distintas disciplinas que intervienen en el desarrollo de un proyecto, a través de la entrega de los elementos básicos que son comunes a todo programa de mantenibilidad en un proyecto, describiendo las tareas y actividades asociadas con esos elementos, y proporcionando las guías necesarias para seleccionar esas tareas y actividades.

CAPÍTULO II

TAREAS DE MANTENIBILIDAD

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo está dirigido a entregar los conceptos y la aplicación de las tareas de mantenibilidad necesarias a desarrollar en los proyectos de la Corporación. La implementación efectiva de estas tareas es esencial para asegurar que las características de mantenibilidad sean compatibles con las necesidades de los clientes y por ende cumplan con los requerimientos especificados e cada proyecto.

Las tareas de mantenibilidad aquí consideradas son:

- Definición de los Requerimientos de Mantenibilidad
- Definición de la Estructura de Descomposición de los Equipos
- Análisis de la Mantenibilidad
- Desarrollo de un Programa de Mantenibilidad
- Evaluación de la Mantenibilidad del Diseño
- Estándares y Checklist de Diseño de la Mantenibilidad del Diseño
- Validación & Aceptación de Mantenibilidad Construida

2.1.1 El concepto de Mantenibilidad.

Los primeros estudios relacionados con la mantenibilidad fueron iniciados a contar de la década de los 50's. Antes la mantenibilidad era vista en el diseño como una cosa de sentido común". Sin embargo, los aspectos relacionados con el cumplimiento de los presupuestos de inversiones, la programación y el enfoque sobre el desempeño de las instalaciones de los proyectos, hicieron que los aspectos relacionados con la preocupación por considerar la mantenibilidad de las instalaciones proyectadas, quedarán durante mucho tiempo en segundo plano.

Esta situación ha estado cambiando debido a que las presiones por bajar los costos operacionales y las necesidades de mejores niveles de disponibilidad de equipos han ocasionado la incorporación de tecnología cada vez más compleja con el objeto de aumentar la capacidad productiva de las instalaciones, esto ha dado origen a la necesidad de considerar en forma prioritaria, los análisis de la mantenibilidad futura en el diseño que tendrán estos equipos, pasando a constituirse en un aspecto de alta relevancia en cada una de las fases del proyecto.

La rapidez de cómo se ha incorporado las nuevas tecnologías, ha traído a su vez un aumento de la demanda de mantenimiento para estos equipos, lo cual ha demandado mayores conocimientos y habilidades por parte del personal de mantenimiento. Los sistemas han llegado a ser tan complejos que una sola persona no puede enfrentar el mantenimiento con la sola ayuda de sus conocimientos, requiere la participación de muchas otras, con conocimientos que involucran a distintas disciplinas. Para enfrentar esta realidad es fundamental que exista una instancia durante el diseño de las instalaciones donde se descubran las debilidades y los potenciales problemas de mantenimiento que podrían hacer disminuir la disponibilidad y aumentar los costos de

mantenimiento de estas instalaciones. Si esto no se hiciera de esta forma, las modificaciones al diseño, que afectan a los parámetros de producción y a los costos asociados de las instalaciones, continuarán realizándose durante la fase operacional de ellas, con costos altamente significativos. Por lo tanto, el objetivo es diseñar bajo el concepto de la mantenibilidad.

El objetivo final que se busca cuando se desarrolla un producto a través de un proyecto, o es adquirido, es que se encuentre disponible para operarlo y que pueda desempeñar las funciones para lo que fue diseñado durante toda la vida útil de él. Por lo tanto, al diseñar este producto, no se puede pensar solo en términos de ser entregados al cliente para que lo utilice (o opere), transfiriéndole la responsabilidad de solucionar todos los problemas que se le presenten con posterioridad. El producto suministrado requiere para cumplir con los objetivos para los que fue construido, todo el apoyo que sea necesario durante toda su vida útil, lo cual se traduce en una efectiva combinación de niveles adecuados de confiabilidad, mantenibilidad, logística, operación eficiente y medidas de seguridad para quienes lo utilizarán, todo ello con el fin de que esté disponible durante su uso a lo largo de tiempo operacional para el cual fue diseñado.

La mantenibilidad es un elemento clave para proveer este apoyo efectivo, una adecuada planificación del mantenimiento, y la detección prematura de las modificaciones y actualizaciones que se requieran a través de toda su vida útil. Este capítulo se concentrará en presentar la mantenibilidad y su integración con las diferentes disciplinas de la ingeniería y el proceso de diseño. El proceso de mantenibilidad se enfocará en cómo ésta debe ser desarrollada y que documentación típica debe generarse en un proyecto.

2.1.2 ¿Qué es Mantenibilidad?

Es un concepto que mide la efectividad con la cual un sistema o equipo es restablecido a su estado operacional después de fallar. También, es la probabilidad que un sistema que ha fallado pueda ser restablecido a su condición operacional en un intervalo de tiempo de detención especificado. ¿Cuán fácil es diagnosticar el problema que dio origen a la falla del sistema y cuán fácil es reemplazar el componente fallado después que el diagnóstico ha sido efectuado?

Un sistema que no es confiable y que este propenso a fallas parciales o completas, o si es dificultoso encontrar que está causando el mal funcionamiento, o si es dificultoso el obtener y reemplazar los componentes fallados, provocará serios problemas que deben ser corregidos. Casi todos los textos relacionados con el tema de la mantenibilidad definen este concepto de maneras ligeramente diferente. Sin embargo, consolidando las ideas de todos ellos, se puede realizar la siguiente definición:

Mantenibilidad: Es la facilidad y la economía de tiempo y recursos con que un equipo o instalación puede permanecer en, o ser restaurado a, una condición especificada cuando el mantenimiento es realizado por personal que tiene el nivel de destreza, usando procedimientos prescritos y recursos necesarios para cada uno de los niveles de mantenimiento y reparación preestablecidos.

En este contexto, es una función del diseño. Por lo anterior, la mantenibilidad es un parámetro de diseño. Aun cuando existen otros factores que influyen en el

restablecimiento de las condiciones operacionales de un equipo en un estado de falla, tales como la especialización de las personas y un sistema del suministro adecuado que pueden ayudar a mantener las detenciones de las instalaciones y equipos a un mínimo absoluto, es la mantenibilidad inherente que determina este mínimo.

El mejoramiento de la capacitación o los apoyos logísticos no pueden compensar eficazmente los efectos sobre la disponibilidad de un producto mal diseñado. La mantenibilidad se refiere a las medidas que se toman “durante el desarrollo, diseño e instalación de un producto manufacturado que reduce el mantenimiento requerido, las horas hombres, herramientas, logística, niveles de destreza e instalaciones, asegurando que el producto reúna los requerimientos para el uso que se pretende”.

Por ahora, es suficiente hacer notar que la mantenibilidad, es una característica del diseño, que concierne a la facilidad relativa, a los costos, a la prevención de las fallas (mantener un componente en una condición especificada) o corrigiendo las fallas (restaurando un componente a una condición especificada) a través de las acciones del mantenimiento. Al diseñar enfocados en la mantenibilidad, deseamos desarrollar un producto que sea utilizable (fácilmente reparable) y soportable (pueda ser mantenido o restablecido a una condición utilizable, a un nivel de costo/efectividad adecuado). El mantenimiento y la mantenibilidad están cercanamente relacionados, y para muchos es difícil hacer una clara distinción entre ellas.

1. El mantenimiento se refiere a las medidas que son tomadas por el usuario de un producto, para mantenerlo en condiciones operables o repararlo para mantenerlo en condiciones operables.
2. La mantenibilidad se refiere a las medidas que se toman durante el diseño y el desarrollo de un producto, para incorporarles características que aumentarán las facilidades para el mantenimiento y asegurar que cuando el producto sea utilizado durante su operación tengan un mínimo de detenciones, y los apoyos logísticos que deberán tener durante todo su ciclo de vida.

En forma más simple:

1. El Mantenimiento es el acto de reparar o dar servicio al equipo.
2. La Mantenibilidad es un parámetro de diseño que pretende minimizar los tiempos de reparación.

2.2 IMPORTANCIA DE LA MANTENIBILIDAD

Los objetivos básicos de diseñar enfocado en la mantenibilidad son el cumplimiento de los requerimientos operacionales para el producto y la reducción de los costos de la logística de apoyo del mantenimiento.

Durante el desarrollo de las especificaciones de una instalación o equipo, predominan los factores que se relacionan con su desempeño y su apariencia física (dimensiones, peso, etc.). Esta actitud puede ser extremadamente perjudicial, especialmente cuando

ocurre la primera falla y esto provoca que la disponibilidad de partes críticas y la facilidad del mantenimiento pongan la operación del equipo en un estado crítico.

Un gran sistema o instalación puede ser desarrollado con el mejor diseño posible, utilizando las tecnologías más modernas, puede ser considerado una obra de arte de la ingeniería y funcionar mejor que cualquier sistema competitivo, pero a quien le serviría sí:

- La falla del equipo no puede ser diagnosticada al nivel de detalle necesario para determinar con precisión el problema en un corto tiempo.
- Las partes de repuestos no se encuentran disponibles en forma rápida.
- Las reparaciones requieren de tiempos muertos extremadamente largos.
- La instalación de las partes de repuestos es extremadamente dificultosa.
- El chequeo y/o ajuste de las partes de repuestos es dificultoso.

Los crecientes costos de operación y los costos de los servicios de apoyo de los sistemas y equipos, en parte debido a las fallas y a las consiguientes reparaciones, son las razones básicas para enfatizar la importancia de la mantenibilidad.

Hoy en día aproximadamente un tercio de las organizaciones en las empresas están relacionadas con los aspectos del mantenimiento en forma directa y un tercio de los costos operacionales se originan con el mantenimiento. La importancia de aplicar a los proyectos los conceptos que están detrás de la mantenibilidad se puede resumir en:

- Reducir los tiempos y costos de el mantenimiento proyectada a través de las modificaciones del diseño dirigidas a simplificar el mantenimiento.
- Determinación de la mano de obra y otros recursos relacionados requeridos para llevar a cabo el mantenimiento proyectado.
- Usar los datos de mantenibilidad para estimar la disponibilidad.

Cuando los principios de la ingeniería de mantenibilidad han sido aplicados efectivamente a cualquier producto, se pueden esperar los siguientes resultados:

- Reducción de las detenciones y consecuentemente un aumento en su efectividad operacional o disponibilidad.
- Restablecimiento eficiente de las condiciones operacionales de los productos cuando fallas aleatorias son las causa de las detenciones.
- Maximización de la efectividad operacional a través de la eliminación de aquellas fallas que son causada por el tiempo o el desgaste.

2.3 ELEMENTOS DE LA MANTENIBILIDAD

Es necesario tener en cuenta, durante toda la fase del diseño, qué debe ser hecho para mantener el sistema durante su fase de operación. Ya sea para que el sistema no falle durante toda esta fase o por si algunas partes del sistema fallan y sea necesario reemplazarlas.

Interrogantes como las siguientes deben tener respuestas:

- ¿Qué partes se visualiza que tendrán una alta tasa de fallas y como será su diagnóstico?
- ¿Pueden ser diagnosticados varios problemas a la vez? ¿Cuán rápido puede ser diagnosticado un problema? ¿Si existe una falla intermitente, puede la información ser recuperada más tarde, durante esta anomalía? ¿Si una falla no puede ser aislada o la capacidad de auto diagnóstico del sistema es insuficiente, el restablecimiento de la operación es una tarea de alto consumo de tiempo?
- ¿Cuán fácil un sistema puede ser reparado? ¿El sistema ha sido segmentado en unidades de fácil reemplazo? ¿Está la parte dañada conectada por cientos de puntos de conexión? ¿Puede utilizarse algún software para detectar y rutear y hacer transparente la falla para el usuario?
- ¿Dónde se guardarán las partes de repuestos? ¿Cuántas partes de repuestos se solicitarán? ¿Existirán partes perdidas en otras bodegas? ¿Existirá un sobre suministro de alguna unidad y un desabastecimiento de otras?
- ¿Una unidad fallada será desechada o reparada? ¿Si va a ser reparada, donde será reparada? ¿Qué equipo y qué personal será requerido para hacer el trabajo?
- ¿Estarán las partes críticas disponibles cuando se realicen las reparaciones de las unidades? ¿Estarán siendo fabricados esas partes críticas cuando se requieran? ¿Tendrá el proveedor las partes falladas en stock cuando se requieran? ¿Estará en el mercado el proveedor de estas partes?

Durante la fase de diseño éstas y otras muchas interrogantes deben ser analizadas y tener una respuesta adecuada. Un diseño que sea eficaz en los costos y que sea sustentable debe tomar en cuenta las consideraciones de los aspectos de mantenibilidad que surgen en cada una de las fases del proyecto. Por lo que es responsabilidad de los ingenieros asegurar que dichas consideraciones y los factores relacionados con ellos, reciban toda la atención durante el proceso de diseño.

Todos los esfuerzos por establecer estrategias y requerimientos de mantenimiento tendrán muy poco efecto si el diseño no toma en cuenta las características particulares del campo del mantenimiento. Por lo que, se necesita de cuidadosas planificaciones y esfuerzos sistemáticos para atraer la atención de los diseñadores sobre importantes aspectos de la mantenibilidad que deben ser incorporados en los diseños de las instalaciones.

Estos esfuerzos deberán estar enfocados en factores tales como evaluaciones de mantenibilidad, características del diseño de la mantenibilidad, parámetros de mantenibilidad, y demostraciones de la mantenibilidad. Cada uno de estos factores involucra a otros sub-factores como por ejemplo: manejo físico de equipos, estandarización, intercambiabilidad, factores humanos (ergonómicos), seguridad, etc., todos ellos jugando un papel importante sobre las características finales del diseño.

Para tales efectos el diseño debe tener una forma estructurada para realizar el análisis de todos aquellos factores que tendrán una consecuencia sobre la mantenibilidad del sistema. Se deben considerar muchos factores relacionados con la Mantenibilidad

durante las diferentes fases del desarrollo del proyecto. Estos factores están relacionados con las consideraciones del diseño, el análisis de los sistemas, las filosofías de administración de los servicios de terceros, verificaciones y pruebas que se presentan a continuación.

2.3.1 Factores de Confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la probabilidad que un sistema o producto realice en forma satisfactoria su función, en un periodo de tiempo determinado cuando es operado bajo condiciones especificadas.

La frecuencia de mantenimiento de un sistema dado está impactado por su confiabilidad. En general la confiabilidad de un sistema es inversamente proporcional a la frecuencia de fallas o acciones de mantenimiento correctivo que el sistema pueda tener. La falla es la cesación de la función o actuación de un equipo o sistema.

La meta de una organización de mantenimiento eficaz es proporcionar la actuación del sistema requerida al más bajo costo. Esto significa que el mantenimiento que se realice debe estar basado en una comprensión clara de las fallas en cada uno de los niveles del sistema. Los componentes del sistema pueden degradarse o pueden fallar y aun así no causar una falla del sistema; un ejemplo simple de ello es la falla del faro delantero en un automóvil. La falla de ese componente tiene un efecto pequeño en la actuación del sistema global. Recíprocamente, varios componentes degradados pueden ser combinados para causar una falla en el sistema aun cuando no se haya producido ninguna falla en ningún sistema individual.

2.3.2 Factores de Costos de Mantenimiento

Los costos de mantenimiento son generados como un resultado de las acciones de mantenimiento preventivas y mantenimiento correctivo y están basadas en el consumo de los recursos utilizados en realizar estas acciones de mantenimiento. Tales recursos pueden incluir partes de repuestos con los inventarios asociados, utilización de equipos de apoyo y de prueba, personal, instalaciones y manejo de datos.

Los costos asociados con la ejecución del mantenimiento son los principales elementos de los costos totales del ciclo de vida de la instalación o equipo. Un objetivo de la mantenibilidad en el diseño es efectuar una reducción de los costos totales del ciclo de vida a través de la minimización de los costos de apoyo. Algunas de las formas más comunes de medir este factor son:

- Costos de mantenimiento por hora de operación del sistema
- Costos de mantenimiento por acciones de reparación
- Costos de mantenimiento por mes
- La razón entre los costos de mantenimiento y los costos totales del ciclo de vida.

2.3.3 Factores de Mano de Obra de Mantenimiento

Los factores de mantenibilidad considerados previamente están relacionados con los tiempos de mantenimiento y los costos asociados con la ejecución de tareas de mantenimiento programadas o no.

Frecuentemente es factible reducir los tiempos de mantenimiento aumentando el número de personal de mantenimiento. Esta situación puede no ser efectiva en costos, aun cuando el nivel de expertizaje de los recursos no sea de alto nivel. Así un sistema altamente mantenible es el resultado de un compromiso económico entre los tiempos utilizados, las horas hombre, la destreza del personal y los requerimientos de equipos e instalaciones.

Algunos de las más comunes formas de medir este factor son:

- Horas Hombre de mantenimiento por la ejecución de las tareas.
- Horas Hombre de mantenimiento por mes.
- Horas Hombre de mantenimiento por horas de operación.

2.3.4 FACTORES HUMANOS

Se debe tener en cuenta que el producto generado por un proyecto será operado y mantenido por personas de características variadas, por lo que el diseño debe tener en cuenta este factor.

Esta disciplina identifica la estructura y las características del equipo que impiden la adecuada ejecución de la tarea de mantenimiento, inhibiendo o limitando el movimiento del cuerpo del mantenedor y también identifica los requerimientos necesarios para mantener una eficiente área de trabajo para el mantenedor. La incorporación de estos conceptos en el diseño en forma temprana puede asegurar la obtención de menores tiempo para efectuar las reparaciones, costos más bajo de mantenimiento, mejoramiento de los sistemas de apoyo y mejoramiento de la seguridad.

2.3.4.1 Factores Antropométricos

Están relacionados con las dimensiones y características del cuerpo humano, incluyendo la altura de pie, la altura en la posición "sentado", tamaño de los brazos, peso, etc. Cuando se hagan los requerimientos de mantenibilidad, en algunos casos estos parámetros deben ser tomados en cuenta.

2.3.4.2 Factores Sensoriales del Ser Humano

Estos factores están relacionados con las capacidades sensoriales del ser humano, tales como visión, audición, olfato, tacto, etc. Se deben considerar en el diseño de centros de trabajo de diagnóstico y pruebas, consolas de control, elementos de monitoreo. La ingeniería debe estar en conocimiento de las capacidades del ser humano y aplicarlas efectivamente en el diseño. Una aplicación común de estos elementos esta relacionado con los niveles de iluminación y ruido que deben ser manejados en los diferentes lugares de las instalaciones del proyecto.

2.3.4.3 Factores Fisiológicos del Ser Humano

Es importante reconocer el impacto sobre el estrés, que produce el medio ambiente sobre la eficiencia de desempeño del ser humano, entendiendo como tal, a las situaciones externas o de medio ambiente que causa que la productividad disminuya. Esto incluye aspectos tales como alto o bajos niveles de temperatura, humedad, altos niveles de vibración, altos niveles de ruido, altos niveles de radiación magnética u de otro tipo, toxicidad por elementos químicos, en la vecindad donde ese están realizando las actividades de mantenimiento.

2.3.4.4 Factores Sociológicos del Ser Humano

Esto está relacionado con las características de la mente del ser humano, por ejemplo los rasgos emocionales, respuestas de actitudes, y patrones conductuales relativos al desarrollo de las acciones de mantenimiento. Aun cuando se pueden disponer de todos los recursos materiales para realizar las tareas de mantenimiento, la efectividad de ella está fuertemente impactada por la motivación del personal, la iniciativa, la confianza, etc.

Las políticas y los procedimientos de mantenimiento pueden ser percibidos como muy complicados y complejos, o un estilo inadecuado de la administración o de la supervisión, pueden ocasionar frustración y una actitud negativa. Por otro lado, si las tareas de mantenimiento caen en la rutina, esto podría afectar a las tareas de mantenimiento a través de una mayor frecuencia de errores y riesgos para la seguridad de las personas. Adecuados programas de capacitación y entrenamiento pueden ayudar a disminuir estos problemas.

2.3.5. Factores de Apoyo Logístico

El desarrollo de la estrategia del mantenimiento y de la logística, en el ciclo de vida de la instalación, debe incluir en forma temprana las características de mantenibilidad del diseño.

La estrategia de mantenimiento es a su vez un plan para el mantenimiento y apoyo de las instalaciones finales a través un programa durante su operación.

Provee las bases para el diseño de los sistemas de apoyo operacional y también define el programa del apoyo logístico, el cual determina las solicitudes de repuestos y herramientas necesarias para el mantenimiento.

El uso de otros recursos de la logística, tales como las herramientas y equipo de prueba, instalaciones y partes de repuesto, serán optimizados incluyendo la planificación de la mantenibilidad como un elemento operacional importante.

La derivación de estos planes en forma temprana en el ciclo de vida, congela muchos aspectos operacionales, permitiendo un diseño integrado y un desarrollo de la planificación de la logística de apoyo.

2.3.5.1 Factores de Apoyo de Abastecimiento

Esto está relacionado con las consideraciones de partes y repuestos y los correspondientes inventarios para las instalaciones que se diseñen. Esto influye directamente sobre los tiempos de efectividad de las tareas de mantenimiento, y consecuentemente con los tiempos de detención de los equipos. El tipo y cantidad de

las necesidades de los repuestos deberán ser determinados con la participación todos los niveles de mantenimiento. Definiciones, tales como el número de repuestos a ser adquiridos, su frecuencia y los proveedores de ellos, ayudarán a minimizar los tiempos de adquisición. Para estos efectos debe tenerse en cuenta:

- Requerimientos de partes de repuestos: deben ser resultado del análisis de las tareas de mantenimiento preventiva y correctiva.
- Ciclos completos de mantenimiento: esto incluye elementos que están a la espera de ser instalados y el tiempo que toma el procesamiento de restituir estos elementos en el inventario.
- Los tiempos de adquisición: esto involucra las tasas de demanda del elemento y el nivel de stock será una función del tiempo de adquisición.
- Proveedores y Obsolescencia de los componentes: muy frecuentemente, en los casos donde existe un solo proveedor, se adquieren grandes cantidades de repuestos debido a que estos elementos pueden no continuar siendo fabricados por el proveedor original.
- Criticidad de los componentes: en casos donde los elementos pueden ser críticos para la operación es recomendable tener un nivel mayor de elementos almacenados.
- Costo de los repuestos: este factor juega un rol importante en la definición de los niveles de almacenamiento e influye directamente en la definición del costo total del ciclo de vida de la instalación.

Se debe tener en cuenta, que los conceptos de confiabilidad y la teoría de las probabilidades son herramientas comúnmente utilizadas para la determinación de los niveles de stock de los repuestos y las probabilidades de contar con éxito con el repuesto en el momento cuando se requiera.

2.3.5.2 Factores de Equipos de Prueba y de Diagnóstico

Los equipos de prueba y diagnóstico son un elemento importante en la infraestructura global de la logística de apoyo al mantenimiento.

El diagnóstico es una medida de la habilidad para descubrir las fallas del sistema y aislarlas al nivel más bajo de los componentes.

La velocidad con que se diagnostican las fallas, puede influir fuertemente en el tiempo de detención y los costos de mantenimiento.

Con los adelantos de la tecnología la capacidad y la complejidad de los sistemas aumentan, por lo que se debe usar elementos de diagnósticos automáticos para reducir la necesidad de personal de mantenimiento altamente entrenado y especializado y disminuir los costos de mantenimiento evitando el reemplazo erróneo de equipo no-defectuoso.

2.3.6 Factores Organizacionales y de Personal

Los factores relacionados con el personal son función del tipo, magnitud y complejidad de las actividades de mantenimiento para una instalación determinada.

Estos factores son un indicador del grado de mantenibilidad inherente del diseño de una instalación o equipo determinado. Esto a modo de ejemplo pueden ser:

- Tiempo de mano de obra directa que se utiliza para la ejecución del mantenimiento.
- Mano de obra indirecta (terceros) utilizada en apoyar las actividades de mantenimiento.
- Tasas de Retiro y reemplazo de la mano de obra.
- Periodos y tasas de entrenamiento anticipado del personal.
- Tiempos de procesamiento de las órdenes de trabajo, o la frecuencia del procesamiento de las órdenes de trabajo por unidad de tiempo.
- Atrasos promedios en la atención de una llamada de mantenimiento.

2.3.7 Factores de Instalaciones

El factor relacionado con las instalaciones de mantenimiento impacta directamente con la facilidad de economía del mantenimiento.

Algunos de los factores más relevantes relacionados son:

- Utilización de la instalación: se refiere al porcentaje de utilización en términos de la ocupación de los espacios.
- Utilización de energía: puede ser expresado por unidad de energía consumida por acción de mantenimiento.
- Costo total de la instalación: esto puede ser descompuesto en costos variable y costos fijos.

2.3.8 Factores de Manejo y Transporte

El sistema de apoyo tiene que responder frente a las demandas de mantenimiento provenientes de áreas geográficas amplias, por lo que es fundamental contar con adecuados medios de transporte para el personal y para el manejo de los equipos de mantenimiento.

2.3.9 Factores de Documentación

La documentación técnica es un aspecto importante para el análisis de mantenibilidad de las instalaciones. Se deben tener claramente establecidos los procedimientos de las principales actividades del mantenimiento, asegurando con ello la seguridad de las personas que realizarán las tareas y el tiempo de respuesta a dichas tareas.

2.3.10 Factores de Recursos Computacionales y Software

La incorporación de los recursos computacionales y el software correspondiente, son elementos que no pueden faltar dentro de un análisis de mantenibilidad para una instalación. Esto asegura un manejo ordenado de toda la información del mantenimiento, constituyendo además de un elemento de comunicación con los clientes, dando cumplimiento a sus diferentes requerimientos.

2.3.11 Factores de Accesibilidad

La accesibilidad es la facilidad con que un equipo o elemento puede accederse durante el mantenimiento y puede impactar fuertemente el tiempo del mantenimiento si no se toma en cuenta en el diseño, sobre todo en sistemas donde el mantenimiento es crítico.

Cuando la accesibilidad es pobre, se producen a menudo otras fallas, causadas por la remoción/desconexión y la reinstalación o conexión en forma incorrecta de los otros elementos que estorban el acceso, lo cual causa un mayor trabajo de mantenimiento.

La accesibilidad de todos aquellos elementos reemplazables y mantenibles, producirá un gran ahorro de tiempo y energía a los mantenedores.

2.3.12 Factores de Visibilidad

La visibilidad es un elemento del diseño que provee al mantenedor del sistema, el acceso visual a un componente del sistema durante las tareas de mantenimiento. Incluso las tareas de corta duración como la inspección de componentes puede aumentar el tiempo de detención de un equipo si éste se encuentra bloqueado a la vista.

A través de un diseño que permita una gran visibilidad se reduce fuertemente los tiempos de mantenimiento.

2.3.13 Factores de Simplicidad

La simplicidad del sistema está relacionada con el número de subsistemas que están dentro, el número de partes en un sistema, y si las partes son estándares o especiales.

La simplificación del sistema reduce la inversión de los repuestos, refuerza la efectividad de las reparaciones, y reduce el costo global del sistema aumentando la confiabilidad.

Se reducen los costos de capacitación y entrenamiento. El mantenimiento requiere personal experimentado en las cantidades y niveles de habilidad directamente relacionados con la complejidad de las características de mantenimiento del sistema. Un sistema fácilmente mantenible puede ser rápidamente puesto en operación a través de las habilidades de reparación del personal de mantenimiento, aumentando de esta forma la disponibilidad del sistema.

2.3.14 Factores de Intercambiabilidad

La Intercambiabilidad se refiere a la habilidad de un componente para ser reemplazado por un componente similar sin el requisito previo de la re-calibración.

Esta flexibilidad en el diseño reduce el número de procedimientos de mantenimiento y por consiguiente reduce los costos de mantenimiento. La intercambiabilidad también permite el crecimiento del sistema con mínimos costos asociados, debido al uso de normas o elementos comunes.

2.3.15 Factores de Disponibilidad

La disponibilidad de un sistema se expresa como la probabilidad de que el sistema se encuentre en un estado operacional cuando se le requiera en un tiempo cualquiera. La disponibilidad es primordialmente una función de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

Un beneficio importante de usar el análisis de disponibilidad, es la de establecer los parámetros de la confiabilidad y los parámetros de la mantenibilidad a través de un compromiso económico entre ambos parámetros.

2.3.16 Factores Económicos

Los aspectos económicos, durante la fase de diseño y construcción de una instalación, son altamente relevantes por cuanto impactan directamente la operación y el mantenimiento de ellas, tal como lo discutiremos en extenso en los capítulos siguientes.

2.4. LA MANTENIBILIDAD Y SUS INTERRELACIONES

2.4.1 Relación de la Mantenibilidad con la Operación y los Costos.

Mantenibilidad es una medida del desempeño de un producto, que afecta el logro del cumplimiento de la misión para la cual fue diseñado, la operación de las instalaciones y los costos de su mantenimiento. Frecuentemente se piensa que el desempeño de las instalaciones está solo relacionada con la velocidad, la capacidad, el rango, y otras medidas "normales". Sin embargo, un producto que requiere una cantidad no adecuada de tiempo u otros recursos para permanecer en un estado operable o para ser reparado (es decir, una pobre mantenibilidad) estará indisponible cuando se necesite o será de un costo exagerado su operación.

La mantenibilidad es importante para la operación o el logro del cumplimiento de la meta porque afecta directamente la disponibilidad de los equipos e instalaciones. Por supuesto que equipos e instalaciones que nunca fallan siempre estarán disponibles para el uso, pero tales elementos son muy raros.

Cuando un equipo falla se debe restaurar a su estado funcional tan rápidamente como sea posible. Sin tener en cuenta si los componentes de los equipos sean reparables o no (es decir, ellos pueden ser elementos desechables), es importante que las fallas puedan ser económicamente diagnosticadas y que estos componentes sean removidos o reemplazados rápidamente. Por supuesto, que un equipo completo no puede diseñarse para ser reparable; el análisis económico puede concluir su reemplazo total. Incluso en estos casos, el producto puede requerir la calibración o alguna reparación de algún tipo; así que la mantenibilidad es una consideración importante.

2.4.2 Relación de la mantenibilidad con la Confiabilidad

La mantenibilidad y la confiabilidad son las dos principales características de cualquier sistema que se combinan para dar forma al índice de efectividad normalmente usado y que corresponde a la disponibilidad.

Mientras la mantenibilidad es importante como un factor de disponibilidad, también merece la consideración sustancial como una característica del sistema individual. A menudo, la confiabilidad y la mantenibilidad, son consideradas como disciplinas complementarias. Esta relación se puede entender mejor considerando la ecuación para la disponibilidad inherente (Ai):

$$A_i = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} \times 100 \%$$

En esta expresión se puede observar que los parámetros que la componen TMEF (Tiempo Medio Entre Fallas) y TMPR (Tiempo Medio Para Reparar) corresponden a los parámetros asociados a la confiabilidad y a la mantenibilidad respectivamente. Esta relación muestra el grado de dependencia que existe entre estos dos conceptos.

2.4.3 Relación de la Mantenibilidad con los Costos del Ciclo de Vida.

Al considerar el efecto de la mantenibilidad sobre los costos, se debe tener en cuenta todos los costos asociados con el ciclo de vida del equipo o instalación, desde el nacimiento de una instalación o equipo hasta su cierre o reemplazo (es decir, los costos de la adquisición, de su operación y mantenimiento durante toda su vida útil, y posteriormente su cierre o reemplazo).

Estos costos totales se denominan los costos de ciclo de vida:

Costo de Vida = Inversión + Costo Operación + Costo Mantenimiento + Costo Cierre

Los costos de operación y mantenimiento representan el porcentaje substancial (>85%) del costo total de vida, y son fijados en su mayor parte por decisiones de diseño tomadas durante etapas de ingeniería del proyecto. Es posible que los costos de ciclo de vida se puedan descomponer en cuatro categorías: investigación y desarrollo, producción y construcción, operación y mantenimiento, y reemplazo y cierre.

Las tareas y procedimientos de desarrollo de mantenibilidad están dirigidas a asegurar que los efectos de las actividades de mantenimiento sobre la Efectividad de Equipamiento y el Costo de Vida estén sujetos a las metas del proyecto. Por lo extenso y lo relevante de este tema se hace necesario hacer un desarrollo más profundo de él en el Capítulo V.

2.4.4 Otras Relaciones

La mantenibilidad está relacionada con muchas otras disciplinas de diseño y de apoyo logístico, a través de un intercambio de información en ambos sentidos con cada una de ellas, lo cual permite desarrollarse y complementarse. Estas relaciones son influenciadas y apoyadas por un acercamiento entre estas disciplinas y la mantenibilidad para desarrollar y fabricar un producto.

La figura 2-1 muestra algunas de las disciplinas más importantes con las que la mantenibilidad tiene relación.

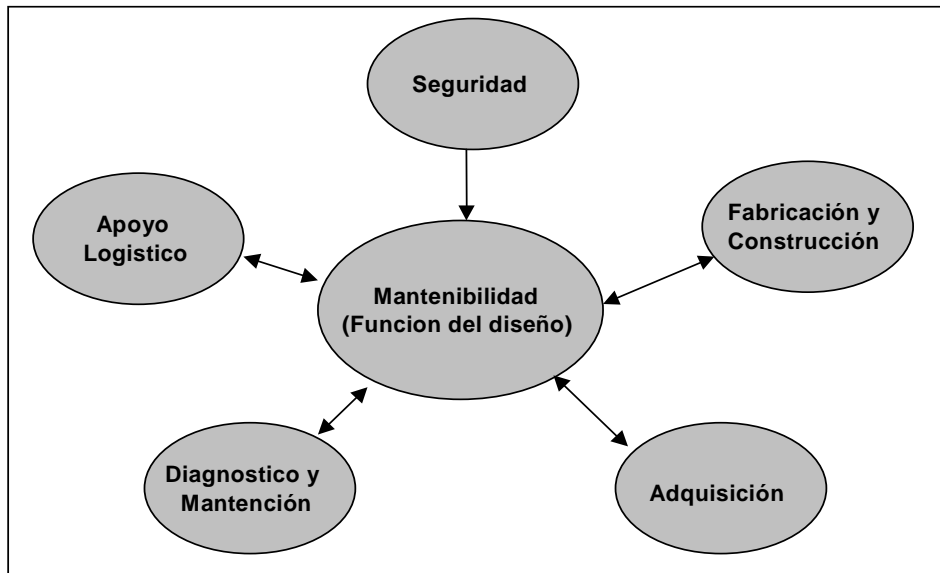


Figura 2-1 Algunas disciplinas claves con las cuales la mantenibilidad esta relacionac

2.4.4.1 Fabricación y Construcción

Los procesos industriales usados para transformar el diseño a un producto tangible determinan si el diseño inherente de la mantenibilidad del producto se logra. Es esencial que la mantenibilidad diseñada no sea comprometida por los requerimientos de fabricación, por lo que los ingenieros de fabricación y los planificadores deben estar involucrados durante la etapa de diseño.

Sin su involucramiento, las características de mantenibilidad que se diseñen para el producto pueden hacer que el producto sea difícil o demasiado caro de fabricar.

2.4.4.2 Seguridad

Al diseñar para la mantenibilidad, el ingeniero de mantenibilidad debe estar constantemente consciente de la relación entre la mantenibilidad y la seguridad. La seguridad incluye el diseño del producto y los procedimientos de mantenimiento para minimizar la posibilidad de daño al producto durante el servicio de mantenimiento, y para minimizar la posibilidad de daño al personal de operación y mantenimiento.

2.4.4.3 Diagnósticos y el Mantenimiento

La comprobación se ha introducido como un subconjunto de la mantenibilidad. Fue definida como una característica del diseño que permite determinar el estado de un elemento, detectar y aislar las fallas eficientemente (a un costo adecuado).

El diagnóstico consiste en los procedimientos, el software y el hardware de mantenimiento que pueden ser manuales, automáticos, y semiautomático, que permiten determinar el estado, detectar y aislar las fallas. Los procedimientos, el hardware y el software requerido dependerán en gran medida del diseño de mantenibilidad (por ejemplo, las características de comprobación). Los diagnósticos son solo un aspecto del mantenimiento. Todos los procedimientos de mantenimiento son determinados en gran medida por el diseño. Un diseño altamente mantenible requerirá la menor cantidad de equipos de apoyo y procedimientos.

2.4.4.4 Apoyo Logístico

Los requerimientos de apoyo logístico son muy influenciados por las decisiones de mantenibilidad en el diseño. Los resultados del análisis de mantenibilidad son usados por los encargados de la logística para diseñar las siguientes cinco categorías principales de la logística de apoyo:

- Mano de obra y personal
- Equipos de apoyo y de prueba
- Requerimientos de Instalaciones
- Desarrollo de la Capacitación
- Repuestos
- Manuales técnicos

Recíprocamente, el apoyo logístico suministrado para un producto afectará el nivel en el cual la mantenibilidad inherente de un producto se desenvuelve. Es decir, aun cuando la mantenibilidad inherente reúna o exceda los requerimientos del diseño, la mantenibilidad operacional observada será como se espera sólo sí el apoyo logístico requerido esté disponible.

Además, el concepto de apoyo y cualquier limitación del cliente o requerimientos respecto a datos técnicos, equipos de apoyo, capacitación, apoyo de ingenieros de terreno, compras de repuestos, apoyo de depósito de contratistas, movilidad, y personal de apoyo deben ser considerados durante todos los análisis económicos y análisis del diseño.

Un aumento del aspecto más crítico de la logística es la obsolescencia de partes internas. A veces estas partes "desaparecen" porque los procesos industriales subyacentes se eliminan por razones ecológicas o económicas.

A veces las partes son desplazadas por otras que incorporan una nueva tecnología pero no son idénticas en la forma, ataque, y función. Cualquiera sea la razón, las partes (y procesos) obsoletas son a menudo pasadas por alto y el problema es crítico. Las compras de por vida son una manera de cubrir la obsolescencia.

2.4.4.6 La Mantenibilidad y el Proceso de Adquisición

La mantenibilidad es un requerimiento de desempeño del cliente. En la adquisición de un nuevo producto, el cliente debe seleccionar ya sea un producto estandarizado y ofrecido por el proveedor o debe contratar un suministrador para que este le entregue un producto que reúna todos los requisitos de desempeño que él desea.

2.5 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DE MANTENIBILIDAD

La implementación efectiva de tareas de mantenibilidad que sean aplicables a través de todas las fases del proyecto, son esenciales para asegurar las características de mantenibilidad sean compatibles con las necesidades de los clientes o usuarios del proyecto, y por ende cumplan con los requerimientos especificados.

Las tareas de mantenibilidad están dirigidas específicamente a incorporar las características que provocarán una facilidad del mantenimiento, tales como la oportuna detección de fallas, los accesos, facilidad para las inspecciones, las reparaciones, pruebas y tiempos de inspección. Se pretende que al realizar estas tareas se produzcan datos para ser utilizados durante la planificación de la operación y de la logística de apoyo.

Es aconsejable que las tareas de mantenibilidad sean integradas a la totalidad de los aspectos técnicos del proyecto y deban ser realizadas en forma concurrente con las otras tareas de ingeniería para permitir que las características de mantenibilidad sean diseñadas tempranamente y se pueda evaluar su efectividad.

A continuación se describen las tareas que aseguran los aspectos de Mantenibilidad en proyectos de inversión:

Definición de los Requerimientos de Mantenibilidad

Definición de la Estructura de Descomposición de los Equipos

Análisis de la Mantenibilidad

Desarrollo de un Programa de Mantenibilidad

Evaluación de la Mantenibilidad del Diseño

Estándares y Check list de Diseño de la Mantenibilidad del Diseño

Validación & Aceptación de Mantenibilidad Construída.

2.5.1 TAREA DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE MANTENIBILIDAD

Esta tarea se realiza para determinar la especificación del producto con relación a la definición de las metas, la identificación de los criterios de diseño, los objetivos y los requerimientos de la mantenibilidad en forma cuantitativa y cualitativa, para lograr un producto mantenible dentro de las limitaciones operacionales impuestas por el proyecto. Está basada en las metas del cliente, en los resultados de los análisis de los sistemas del proyecto, en las evaluaciones económicas y en los análisis y modelamiento especiales que se realicen al diseño.

De modo de asegurar el logro de las metas y objetivos del programa de mantenibilidad en el proyecto, es necesario desarrollar los requerimientos de mantenibilidad los cuales incluyen la anticipación a las limitaciones operacionales, las cuales cuando existen

resultan en requerimientos de mantenibilidad que se deben incorporar al diseño de las instalaciones. Los requerimientos de mantenibilidad pueden ser desarrollados para todos o cualquier componente o sistema de la instalación.

2.5.1.1 Requerimientos Cuantitativos

Los requerimientos cuantitativos son usualmente el resultado de los análisis de mantenibilidad basados en los requerimientos de los sistemas, con las asignaciones de mantenibilidad realizadas al nivel de módulo, conjunto o componente que sea necesario, y plasmado en un modelo matemático. Ejemplos de requerimiento cuantitativos son: Horas Hombre de mantenimiento por horas de operación, Tiempo Medio Para Reparar, Tiempo Medio Para Restablecer el Sistema, tiempos para detectar y aislar la falla de los sistemas, tiempos de remoción/instalación de elementos, costos de mantenimiento por horas de operación, etc. Los requerimientos cuantitativos pueden ser establecidos en cualquier nivel de mantenimiento.

2.5.1.2 Requerimientos Cualitativos

Los requerimientos cualitativos se utilizan para cumplir dos objetivos. Primero, resultan de las características del diseño las que no pueden ser cuantificadas directamente con respecto a la mantenibilidad, pero que son vitales para lograr los requerimientos cuantitativos. El segundo propósito de los requerimientos cualitativos es cumplir con los requerimientos de los clientes y resaltar las características de mantenibilidad del proyecto, de modo de hacerlo mas efectivo y aceptado por parte del cliente.

Los requerimientos cualitativos son los más significativos para los diseñadores, mientras que los requerimientos cuantitativos requieren de análisis y pruebas para determinar los valores, estos requerimientos son directamente aplicables al proceso de diseño.

2.5.1.3 Requerimientos Ergonómicos

Este factor es altamente relevante y debe ser considerado en la definición de los requerimientos de mantenibilidad del proyecto. El medio ambiente donde se realizará el proyecto muchas veces influye en que se deban considerar aspectos que permitan a las personas desarrollar las actividades de mantenimiento en forma adecuada.

2.5.1.4 Aplicación

Esta tarea se aplica a todos los componentes y sistemas del proyecto.

Los requerimientos de mantenibilidad del proyecto deben ser desarrollados al comienzo, y traducidos en criterios de diseño de mantenibilidad antes del inicio de las actividades de diseño. Una vez establecidos, los requerimientos de mantenibilidad serán aplicados a todas las fases de desarrollo del proyecto: ingeniería de pre-factibilidad, ingeniería de factibilidad, ingeniería de detalles, construcción, etc.

2.5.1.5 Responsabilidades

El cliente y el Diseñador tienen una responsabilidad compartida para desarrollar los requerimientos de mantenibilidad que apoyen las necesidades y objetivos del usuario.

2.5.1.6 Requerimientos de Información

Para preparar esta tarea, el cliente y el diseñador deben aportar con los datos necesarios:

2.5.1.6.1 Datos del Cliente

El Cliente usualmente provee información y requerimientos de mantenibilidad relativo al proyecto, las cuales se colocan en las bases técnicas. Estos datos son esenciales para el diseñador, para desarrollar esta tarea dentro del proyecto. Los tipos de datos usualmente suministrados son:

- Requerimientos cualitativos/cuantitativos de mantenibilidad para el proyecto para varios niveles de mantenimiento.
- Concepto de mantenimiento deseado.
- Requerimientos medioambientales especiales de mantenimiento
- Requerimientos del proyecto relacionados con la logística.
- Normas especiales aplicables al proyecto.

2.5.1.6.2 Datos del Diseñador

Las políticas y prácticas desarrolladas por el diseñador deberán ser utilizadas en conjunto con la información suministrada por el cliente para definir los requerimientos de mantenibilidad que finalmente se aplicarán al proyecto.

2.5.1.7 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado un conjunto de requerimientos de diseño los cuales deberán ser implementados por la organización de diseño.

2.5.2 TAREA DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS EQUIPOS

Descomponer los equipos desarrollados por el proyecto en componentes de menor nivel de modo de enfocar directamente en ellos todas las actividades de mantenibilidad que se deben realizar dentro del proyecto.

La Estructura de Descomposición de los Equipos (EDE) originados por el proyecto, es una herramienta básica y necesaria para dar inicio a las actividades de mantenibilidad en todo proyecto. Despliega y define los productos desarrollados por el proyecto y los relaciona con los elementos de trabajo que se deben realizar en cada uno de ellos para mantenerlos adecuadamente.

Por tal razón la EDE juega un papel importante en la planificación y asignación de la responsabilidades técnicas y administrativas del mantenimiento futuro del producto de un proyecto, monitorea y controla, entre otros, los progresos y el estado de avance de los esfuerzos de la ingeniería, la asignación de los recursos, la estimación de costos, los gastos y el comportamiento de los costos y los aspectos técnicos del proyecto.

Los objetivos de la EDE fundamentalmente son los siguientes:

- Proveer un mecanismo para analizar y registrar toda la información relacionada con un equipo en particular que genera el proyecto.
- Proveer un mecanismo para medir y controlar el desempeño de las actividades de mantenibilidad dentro del proyecto.
- Permitir la comparación de las tareas de mantenibilidad entre proyectos similares.
- Proveer información clara y manejable para la toma de decisiones por parte del Cliente y el Jefe del Proyecto.
- Apoyar en el seguimiento del estatus de la ingeniería, la asignación de los recursos, la estimación de los costos, los gastos, el desempeño de los aspectos técnicos de las tareas de mantenibilidad y el control de sus costos.

2.5.2.1 Descripción General

La EDE provee las bases para interrelacionar todas las tareas de mantenibilidad asociadas a cada componente físico a implementar, tales como el seguimiento del desarrollo de la ingeniería, las adquisiciones, la documentación, la planificación, la programación, la estimación de costos, la confección del presupuesto, la preparación y la administración de contratos de terceros, la administración del mantenimiento futuro, etc.

2.5.2.1.1 Beneficios de la Estructura de Descomposición de Equipos (EDE)

La EDE ayuda en varias formas durante la vida del proyecto:

- Permite tener una relación de las partes del producto que ha generado el proyecto en forma clara y ordenada, las relaciones de las tareas de mantenibilidad que se deberán cumplir entre cada una de ellas.
- Permite una asignación clara de las responsabilidades técnicas y administrativas derivadas de la planificación de las actividades de mantenibilidad en el proyecto.

2.5.2.1.2 Utilización de la EDE

La EDE entrega una referencia para la especificación de los objetivos de mantenibilidad del proyecto, definiendo para cada uno de sus elementos, los requerimientos de mantenibilidad del cliente, relacionándolos jerárquicamente entre ellos y con los procesos o tareas que se requieren para su completitud.

Cada uno de los elementos de la EDE provee un punto en el cual se resumen los compromisos de los cumplimientos de mantenibilidad.

La EDE se utiliza básicamente en los siguientes aspectos de la mantenibilidad:

2.5.2.1.2.1 Planificación y Control de las actividades de Mantenibilidad

La EDE permite desarrollar en forma estructurada cada una de las actividades relacionadas con la Mantenibilidad, para tomar el control sobre ellas.

2.5.2.1.2.2 Desarrollo de la Programación

La EDE es la base para la comunicación entre las disciplinas del diseño y sirve de nexo entre la planificación, la programación, la estimación de costos, el presupuesto, la contratación de servicios, la configuración de la estrategia de mantenimiento del producto del proyecto, etc.

La EDE apoya a la programación de las actividades de mantenibilidad del proyecto a través de la asignación de tiempos para cada uno de los elementos de los niveles inferiores de su estructura.

2.5.2.1.2.3 Estimación de Costos

La EDE ayuda a realizar una estimación sistemática de los costos del ciclo de vida del producto generado por el proyecto, a través de la utilización de suficientes niveles de quiebre que permitan la definición de los costos de los componentes individuales.

El contar con una base de datos de costos de mantenibilidad del proyecto, permite compararlos con otros costos de proyectos similares.

2.5.2.1.2.4 Formulación y Asignación del Presupuesto

Cada uno de los elementos de la EDE en su nivel más bajo tiene asignado un presupuesto de mantenimiento durante todo su ciclo de vida. De esta forma el presupuesto de mantenimiento de la instalación completa puede ser conocido en cualquier nivel, realizando para ello solo la suma del presupuesto de los niveles inferiores.

2.5.2.1.2.5 Definición de Requerimientos Técnicos y de Mano de Obra

La EDE a través de la definición de las necesidades de mantenimiento y de las programaciones de estas actividades, provee el marco para proyectar a través de todo el ciclo de vida de la instalación, los fondos y requerimientos de la mano de obra que se necesitarán.

2.5.2.1.2.6 Análisis de Riesgos

La EDE permite realizar en forma adecuada los análisis de Modos, Efectos y Criticidad de las fallas (FMECA).

2.5.2.1.2.7 Planificación de Adquisiciones

La EDE permite realizar el proceso de adquisiciones de los repuestos y herramientas necesarias para cada uno de los elementos considerados, asociándole las especificaciones correspondientes.

2.5.2.1.2.8 Medición del Desempeño de la Mantenibilidad

La EDE ayuda a administrar la medición del desempeño de las actividades de mantenibilidad del proyecto, a través del aseguramiento de que todos los productos

originados por el proyecto han sido considerados e identificados en los análisis de mantenibilidad del proyecto.

2.5.2.1.2.9 Generación de Control de Avances

Las programaciones orientadas a las generaciones de productos permiten en forma simple monitorear los avances del proyecto en todos sus aspectos.

2.5.2.1.2.10 Licitaciones

La relación de trabajos que se deduce de la confección de la EDE permite determinar qué productos y servicios serán entregados por terceros.

La preparación de las partidas que requiere incorporarse en un contrato con terceros, amerita tener una buena claridad de los servicios que son necesarios contar, para satisfacer un requerimiento particular del proyecto. Esto solo es posible lograrlo a través de una adecuada preparación de la EDE.

2.5.2.2 Selección de los elementos de la EDE

Cada uno de los elementos representará puntos de resumen para el cumplimiento y la medición de los requerimientos de mantenibilidad del producto del proyecto

La descomposición del proyecto no incluirá elementos que no puedan ser representados físicamente.

2.5.2.3. Niveles de Descomposición

Los niveles de la EDE reflejan el quiebre lógico del trabajo que se requiere para completar y controlar las actividades de mantenimiento futuro a través de la utilización de niveles más bajos, que provean un nivel progresivo mayor de descripción y detalle. El número de niveles está establecido por la extensión de la descripción bajo un nivel en el cual un componente individual puede ser identificado y asociado a una pieza de equipo o estructura.

Los niveles de descomposición que se consideren deben entre otras cosas:

- Permitir que los elementos de la descomposición trabajen en forma independiente entre ellos.
- Tener un tamaño de descomposición que sea manejable.
- Permitir el manejo de las decisiones en forma flexible.
- Monitorear y medir el programa de ejecución del mantenimiento futuro.
- Proveer los recursos necesarios para la ejecución de las tareas contempladas en cada uno de sus elementos.

En la figura 3.4.1 siguiente, se muestra una propuesta de trabajo para una descomposición de los proyectos.

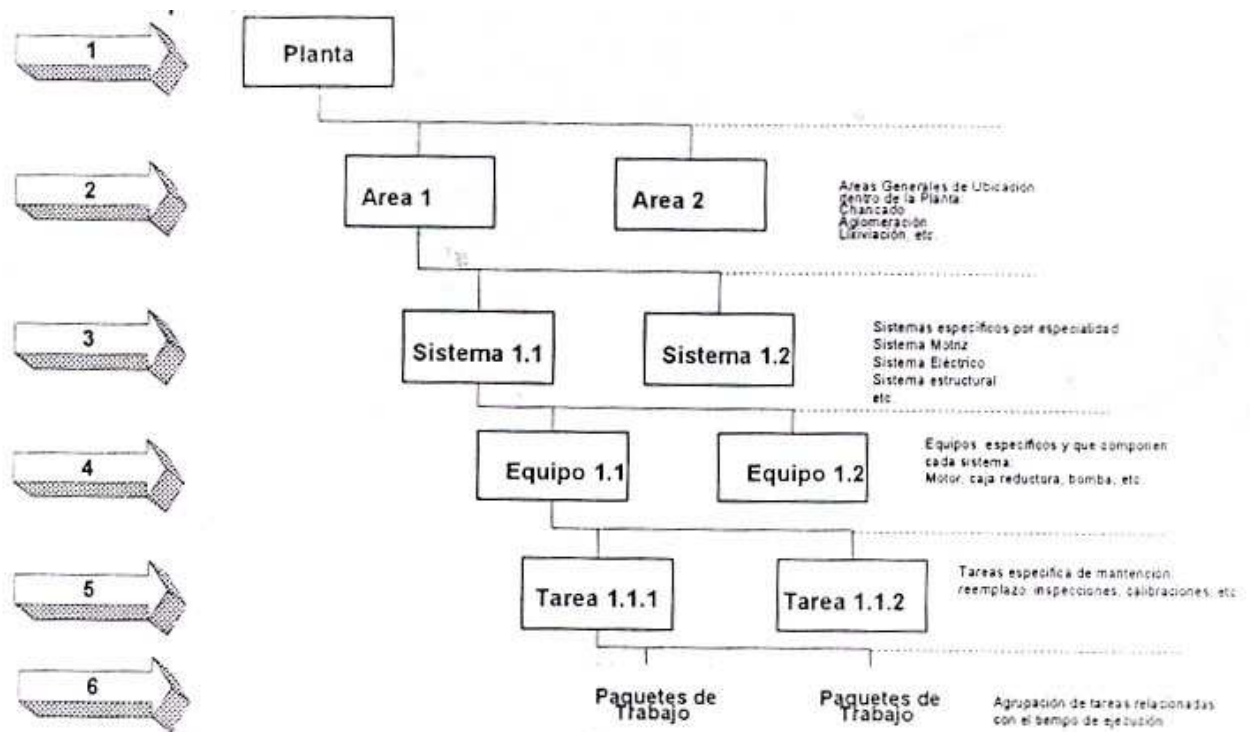


Figura 3.4.1 Niveles de Descomposición de la Planta

De acuerdo a esta descomposición la definición de cada uno de sus niveles es la siguiente:

- **Nivel 1: Planta o Proceso Productivo**

Corresponde al título del proceso productivo donde se encuentran localizados los diferentes elementos originados por el proyecto.

- **Nivel 2: Área o Flota**

Corresponde a la subdivisión del proceso productivo en elementos de menor magnitud. Estas áreas, como conjunto, logran los objetivos estipulados por el proyecto, pero en forma independiente no cumplen necesariamente los objetivos del negocio. Una planta puede tener un área o varias.

- **Nivel 3: Sistema**

Corresponde a la subdivisión de las áreas de la planta en sistemas más específicos que la componen.

- **Nivel 4: Equipos**

En este nivel es donde se generan las diferentes acciones para construir cada uno de los sistemas definidos. Es el nivel central de la EDE, es el que se utiliza para la

planificación y el control de las actividades del mantenimiento debido a que representa el trabajo que se debe realizar dentro de un único elemento de la EDE.

Virtualmente todos los aspectos de la medición del desempeño del mantenimiento futuro desembocan en este nivel, incluyendo, entre otros, el alcance formal del trabajo, su presupuesto, su programación, la asignación de responsabilidad del trabajo, su costo, la evaluación de su desarrollo, la identificación de problemas, el análisis de riesgos y las acciones correctiva.

2.5.2.4 Aplicación

Esta tarea se aplica a través del ciclo de vida del proyecto, el desarrollo de su ingeniería va incrementando el conocimiento respecto a las diferentes acciones que se deben realizar para llegar a concretarlo.

Esta situación se refleja en el enriquecimiento que sufre la EDE a través de la necesidad de incorporar mayores niveles de descomposición, para absorber de esa forma la mayor cantidad de información con que se cuenta a medida que la ingeniería se desarrolla.

Por esta razón es que se considerará adecuada la siguiente relación de los niveles de descomposición del proyecto y las fases en que se encuentra:

- **Fase de Ingeniería de Perfil:** durante esta fase la ingeniería permite esbozar hasta un nivel 2 y en forma muy general el desarrollo de la EDE. Se asegurará con esto una identificación general de las principales tareas y productos que se desean realizar.
- **Fase de Ingeniería de Pre-factibilidad:** durante esta fase la información del proyecto está en una etapa bastante general pero ya entrega antecedentes que son necesarios incorporarlos a una EDE, para estos efectos se deberá considerar una descomposición hasta el Nivel 3.
- **Fase de Ingeniería de Factibilidad:** durante esta fase la incorporación de mayores antecedentes del proyecto permite ya considerar una descomposición del proyecto hasta el Nivel 4. Ya es posible en esta fase preparar en forma general una matriz de responsabilidades, la estimación de costos y la programación de las actividades de mantenibilidad del proyecto con el objeto que sirva de base para su solicitud de fondos inversionales.
- **Fase de Ingeniería de Detalles:** durante esta fase la gran cantidad de información existente permite enriquecer y ajustar todas las consideraciones de mantenibilidad del proyecto. En esta fase se debe tener ya definido el diccionario con las características detalladas de cada uno de los elementos finales de la EDE y ya deben estar definidos, con el máximo nivel de detalles, las tareas, los requerimientos de recursos, la programación, los presupuestos, etc.

2.5.2.5 Responsabilidades

El encargado de la mantenibilidad del proyecto en conjunto con el cliente deberá desarrollar la EDE.

2.5.2.6 Resultados

Esta tarea generará una estructura de elementos físicos originados por el proyecto y ordenado en forma de “árbol”. Además, generará un diccionario con toda la información técnica y administrativa para cada uno de los elementos de la EDE.

Esta estructura deberá ser continuamente revisada para incorporar los cambios que se vayan produciendo durante el desarrollo del proyecto.

2.5.3 TAREA ANÁLISIS DE MANTENIBILIDAD

Es un análisis del diseño del proyecto enfocado a identificar y asignar los requerimientos de mantenibilidad que cada equipo o sistema deben cumplir.

El análisis de mantenibilidad es utilizado como una herramienta de diseño del cliente y del diseñador para:

- Proveer a los diseñadores y a los ingenieros de mantenibilidad un estándar para monitorear el cumplimiento de los objetivos de mantenibilidad del proyecto
- Identificar todos aquellos elementos que requieran alto mantenimiento. Permitir un análisis más profundo en aquellas áreas donde un cambio de diseño puede tener un impacto en la mantenibilidad del proyecto

Este análisis entrega una proyección de los valores de mantenibilidad, los cuales al cumplirse, asegurarán los requerimientos contractuales del proyecto. Esta proyección es la línea base sobre la cual los valores de las predicciones y demostraciones de la mantenibilidad serán comparados.

Los parámetros de la asignación de mantenibilidad deben ser definidos y entregados tempranamente a los diseñadores, a fin de evaluar alternativas de configuración de equipos, guiar decisiones de diseño, y eventualmente validar el cumplimiento de los parámetros comprometidos.

2.5.3.1 Asignación de la Mantenibilidad

La mantenibilidad global de la planta o instalación resulta como consecuencia de la mantenibilidad de los sistemas y equipos que la componen; los objetivos y compromisos globales de mantenibilidad deberán entonces distribuirse a través de la estructura de descomposición de equipos del proyecto a fin de establecer objetivos individuales por elemento de equipamiento. Inversamente, la combinación de parámetros individuales de mantenibilidad de sistemas, equipos, y componentes dará como resultado la mantenibilidad global para la configuración del proyecto establecida.

La especificación de parámetros de mantenibilidad va directamente asociada al avance de las distintas fases del proyecto, en función de las decisiones de diseño que vayan individualizando la configuración de descomposición del equipamiento del proyecto.

Para la asignación de mantenibilidad deberán establecerse las métricas comunes a aplicar a cada nivel de descomposición del equipamiento, que luego permitan una combinación coherente para calcular la mantenibilidad del proyecto; métricas típicas incluyen el tiempo medio entre detenciones para mantenimiento, tiempo para reparar por período, horas-hombre de mantenimiento por período, etc. Para establecer estos valores, será necesario incluir en la evaluación no sólo la actividad programada de mantenimiento, sino también la expectativa de frecuencia de fallas (Confiabilidad) y el impacto de las reparaciones consecuentes en la mantenibilidad proyectada.

2.5.3.2 Modelos de Mantenibilidad

La mantenibilidad global del proyecto, no corresponde a la simple sumatoria de las mantenibilidades individuales de equipos, por las interconexiones y dependencias entre elementos de equipamiento que propagan efectos de interrupciones al proceso en forma no-lineal. La determinación de mantenibilidad global en función de mantenibilidades individuales, requiere uso de algoritmos más sofisticados plasmados en un Modelo de Mantenibilidad.

Dos tipos de modelos son de uso más frecuente, dependiendo de la complejidad de la instalación:

- Modelos de red o malla, que permiten calcular la mantenibilidad global en función de las interconexiones y dependencias del equipamiento expresadas en una red o malla de equipos y proceso. La mantenibilidad del conjunto, expresada en probabilidades, puede calcularse vía técnicas de análisis combinatorio. Este enfoque es apropiado cuando la configuración es suficientemente simple y lineal.
- Modelos de simulación, que permiten calcular la mantenibilidad global vía simulación matemática de la operación del conjunto de equipos con apropiada representación de interconexiones y dependencias del equipamiento. Dados los efectos aleatorios involucrados, la simulación debe ser del tipo Montecarlo para representar resultados globales como combinación de múltiples escenarios individuales.

La técnica de modelación seleccionada, constituye la plataforma para analizar la sensibilidad de la mantenibilidad del proyecto a la mantenibilidad individual de sus equipos componentes.

2.5.3.3 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite identificar sistemas y equipos cuya mantenibilidad es de alto impacto sobre el desempeño global del proyecto, y evaluar distintas alternativas de configuración que puedan mitigar el impacto.

El modelo de mantenimiento se utiliza como plataforma para estas evaluaciones, introduciendo variaciones en parámetros individuales para determinar el comportamiento global resultante. Técnicas de “prueba y error” se utilizan para

establecer la curva de mejoramiento global en función de incrementos individuales, y determinar puntos de quiebre donde las mejoras empiezan a ser marginales respecto al esfuerzo de mejora individual requerido para lograrlas.

El análisis de sensibilidad deberá determinar los niveles de mantenibilidad de equipos individuales que son óptimos para el desempeño global del proyecto, como el resultado de un balance entre posibles mayores inversiones en equipamiento versus la reducción en el costo de vida resultante de mayor mantenibilidad de la instalación.

2.5.3.4 Parámetros de Diseño

El análisis de mantenibilidad deberá determinar así los objetivos de diseño de sistemas, equipos y componentes individuales del proyecto que aseguren el cumplimiento de los requerimientos y compromisos contractuales asumidos.

2.5.3.5 Aplicación

Esta tarea se aplica a todas las fases de ingeniería del proyecto (perfil, pre-factibilidad, factibilidad, detalle), en proporción al nivel de desglose del equipamiento propuesto alcanzado, y como proceso continuo que profundiza determinaciones de la etapa anterior. Debe en particular ser de alto énfasis durante las ingenierías de factibilidad y de detalle donde se especifican los equipos concretos a ser incorporados al proyecto.

2.5.3.6 Responsabilidades

El cliente y el diseñador tienen responsabilidad compartida en el análisis y asignaciones de parámetros de diseño de mantenibilidad. En particular, es de importancia incorporar al análisis las experiencias operativas (cliente) así como las alternativas tecnológicas (diseñador) de equipamiento que aseguren la óptima configuración de equipamiento del proyecto.

2.5.3.7 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado parámetros de mantenibilidad a incorporarse como requerimientos de diseño de distintos sistemas y equipos del proyecto, así como el impacto económico en inversiones y costo de vida de la instalación resultante. Esta información deberá ser incorporada por la organización del diseñador a la especificación del equipamiento, así como a las bases de licitación y adjudicación de compra de equipos individuales.

2.5.4 TAREA DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE MANTENIBILIDAD

Es un plan detallado que define las tareas que deben ser realizadas, su programación, y la documentación necesaria para asegurar que el programa cumplirá con los requerimientos de mantenibilidad del proyecto.

Se debe desarrollar un programa de mantenibilidad que coexista con las otras disciplinas de la ingeniería, colocando el énfasis en la identificación de los problemas de

mantenibilidad en forma temprana durante el proceso del diseño, cuando cualquier corrección sola requerirá la modificación de planos y documentos relacionados.

El propósito de un adecuado programa de mantenibilidad es diseñar y fabricar un producto que sea fácil y económicamente sostenido o restaurado a una condición especificada, cuando el mantenimiento ha sido realizado por personal que tiene un nivel de conocimientos y habilidades, usando recursos y procedimientos previamente definidos, para cada uno de los niveles de mantenimiento y reparaciones preestablecidas.

A partir del momento en que la mantenibilidad es una característica verdadera del diseño, intentar mejorar la mantenibilidad inherente de un producto después que el diseño ha sido “congelado” normalmente es caro e ineficaz.

No obstante, como se mencionó previamente, la mantenibilidad operacional depende de otros factores, uno más notorio es el sistema de apoyo logístico, que puede anular los mejores esfuerzos del diseñador. Por ejemplo, si se compra un número insuficiente de partes de repuesto, o se toma una cantidad de tiempo desmedida para conseguir dichas partes cuando se necesiten, entonces ningún nivel de mantenibilidad será adecuado.

El personal de mantenimiento pobremente especializado también causará problemas a la mantenibilidad.

Aun cuando esta metodología necesariamente se concentrará en lograr la mantenibilidad a través de una planificación, una ingeniería, un diseño, pruebas, y fabricación/construcción acertados, se debe tener siempre en cuenta que un sistema de apoyo logístico adecuado (los repuestos, las personas, el entrenamiento, etc.) es esencial para capitalizar las características de mantenibilidad inherentes del producto.

Para lograr los objetivos de un programa de mantenibilidad adecuado se requiere tener presente lo siguiente:

2.5.4.1 Entender las necesidades de mantenibilidad del cliente

Entender las necesidades de mantenibilidad del cliente es el primer y más obvio paso para lograr el objetivo de un producto mantenible. Es importante que el nivel de mantenibilidad que solicite el usuario, y que será medido durante la mantenibilidad operacional, no necesariamente sea medida durante las etapas del diseño y desarrollo.

Muchos factores pueden afectar la mantenibilidad operacional, no solo las características de diseño o el proceso de fabricación o construcción del producto. Este punto será analizado en el Capítulo 4.

Una parte importante para entender las necesidades del cliente es reunir y estudiar las lecciones aprendidas de los proyectos anteriores, preferentemente los similares. Aprendiendo qué problemas han afectado a los productos en el pasado, el ingeniero de mantenibilidad puede realizar solicitudes de cambio al diseño que permitan reducir o eliminar el problema en el nuevo proyecto.

2.5.4.2 Integrar la mantenibilidad con los procesos de diseño de sistemas

Hacer que las actividades de mantenibilidad sean una parte integral del diseño y de la fabricación del producto.

La ingeniería de sistemas es el proceso iterativo top-down que involucra la definición de los requerimientos, el análisis funcional, síntesis y diseño, pruebas y evaluación. Al integrar las actividades de mantenibilidad en este proceso, se direccionan los requerimientos de mantenibilidad en forma concurrente con otros requisitos de desempeño.

De esta forma, se integrarán las actividades de mantenibilidad con todas las actividades de ingeniería y de diseño, evitándose duplicar los esfuerzos y haciendo el mejor uso de los recursos.

2.5.4.3 Entender a fondo el diseño.

Entender el diseño completamente es esencial para hacer el producto final mantenible. Deben conocerse la accesibilidad, la capacidad de diagnóstico, y tiempos de reparación, con tanta certeza como la programación, el presupuesto, y los aspectos técnicos del proyecto. Entendiendo eso se podrá perfilar las necesidades de mantenimiento para apoyar el producto durante su uso y ayudar a descubrir las limitaciones en la Mantenibilidad.

2.5.4.4 Diseñar para un nivel deseado de mantenibilidad

Usar diseños probados para hacer que las tareas de mantenimiento sean seguras, económicas y fáciles de realizar.

Un producto mantenible es el resultado de un esfuerzo consciente y especializado para incorporar características al diseño que hacen que el mantenimiento preventivo y correctivo sean fáciles, seguro, y bajo costo en lo que se refiere a tiempo y recursos. Cualquier producto puede ser mantenido utilizando bastante tiempo y dinero, pero el tiempo y el dinero son las limitantes hoy en día.

2.5.4.5 Validar la mantenibilidad a través de análisis y pruebas

Realizar análisis, simulaciones y pruebas para detectar y solucionar problemas de mantenibilidad, revisar el diseño, y validar la efectividad del rediseño.

Normalmente se usan tres métodos para verificar los requerimientos. Ellos son inspección, análisis y pruebas.

La inspección es más adecuada para las características físicas tales como las dimensiones, el peso y el acabado.

Idealmente, es con los análisis con que se validan las características funcionales de un diseño, debido a que los análisis son relativamente baratos comparado con las pruebas. Sin embargo, frecuentemente es solo con las pruebas que se puede determinar que el diseño del producto y las herramientas usadas para diseñarlo, son correctas.

Al probar se detectan problemas inesperados o limitaciones que tiene el diseño. Nos ayuda a refinar nuestras herramientas analíticas con que se diseña el producto.

Probar es una herramienta de desarrollo esencial que proporciona la retroalimentación necesaria a los ingenieros para refinar su diseño y revisar los análisis.

Las pruebas de mantenibilidad se realizan para mostrar si el producto posee las características de mantenibilidad requeridas.

2.5.4.6 Elementos de un programa de mantenibilidad

Un conjunto de tareas y actividades por si sola, como un recetario a ser aplicados a cualquier proyecto, no puede definir “el mejor” programa de mantenibilidad en un proyecto.

Deben seleccionarse tareas específicas y actividades basadas en el tipo de producto que se desea proyectar, la tecnología que se está usando, el presupuesto del proyecto y las limitaciones de tiempo, las necesidades del Cliente, etc.

Sin embargo, ciertos elementos generales, son necesarios para un adecuado programa de mantenibilidad y entregar un direccionamiento para la selección de las tareas y actividades específicas que se deben considerar. Estos elementos son la administración, el diseño, el análisis, las pruebas y los datos.

Un programa de mantenibilidad puede ser confeccionado por el Diseñador del proyecto. Tal plan debe estar direccionado a la administración, los recursos requeridos, la interrelación con las otras disciplinas, las actividades que constituyen el programa y una programación de dichas actividades.

2.5.4.6.1 Aspectos generales

Un adecuado programa de mantenibilidad comienza con una buena administración. Es la dirección la que asigna los recursos, dirige y controla los procesos, y evalúa el progreso.

Por lo que un producto mantenible, comienza con la decisión deliberada de la administración del proyecto de hacer el producto mantenible.

En el momento que la mantenibilidad pasa a ser una característica del diseño, se convierte en un requerimiento que debe estar integrado y explicitado en todas las actividades del diseño.

Para apoyar el diseño para la mantenibilidad, se deben realizar ciertos análisis. Algunos de estos análisis pueden ser únicos y solo ser enfocados desde el punto de vista de la mantenibilidad. El diseño de productos que incorporan nuevas tecnologías, deben complementarse con pruebas eficaces de desarrollo.

Finalmente, se necesitan datos para apoyar el diseño de la mantenibilidad y los análisis, y se necesitan datos de mantenibilidad en otras áreas funcionales, sobre todo la planificación del apoyo logístico.

2.5.4.6.2 Participación de la dirección del proyecto

La dirección del proyecto, tiene cinco responsabilidades básicas con respecto a un programa de mantenibilidad:

- Asignación de la responsabilidad por la mantenibilidad,
- Proporcionar los recursos adecuados para llevar a cabo el programa de mantenibilidad,
- Establecer y mantener líneas de buena comunicación dentro de la compañía y con el cliente,
- Integrar el programa de mantenibilidad en la programación global de proyecto,
- Establecer los controles sobre los contratistas y proveedores con relación a la mantenibilidad.

2.5.4.6.3 Responsabilidad clara

A una sola persona se le debe dar la responsabilidad formal de llevar a cabo el programa de mantenibilidad en el proyecto.

El cargo de esta persona, será de acuerdo a la estructura organizacional que se desee adoptar y a la importancia que se quiera dar a la mantenibilidad dentro del proyecto. Sin tener en cuenta el título o la colocación dentro de la organización, es esencial que el individuo tenga el adecuado conocimiento y la apropiada experiencia para constituirse en un colaborador de los esfuerzos del diseño.

2.5.4.6.4 Recursos adecuados (cantidad y calidad)

El responsable por el desarrollo de la mantenibilidad en el proyecto, debe tener los recursos necesarios para hacer el trabajo. Estos recursos pueden incluir herramientas analíticas, elementos y medios para pruebas, equipos y software, mano de obra, y documentos de referencia. El nivel de recursos económicos disponible debe ser apropiado para el tipo de producto, el nivel de riesgo técnico, y las necesidades del cliente.

2.5.4.6.5 Líneas de comunicación

La comunicación exacta y oportuna es crítica en el diseño de hoy. En los proyectos existe el involucramiento de muchas personas, muchas de ellas con disciplinas diferentes, trabajando para cumplir con los plazos y presupuestos preestablecidos, esto hace una gran dinámica de trabajo.

Algunos de ellos pueden estar separados geográficamente unos de otros. Sin buenas comunicaciones entre estas personas y el cliente, pueden pasarse por alto los requerimientos de mantenibilidad. Se hace fundamental la infraestructura de las comunicaciones apoyadas por el uso de bases de datos comunes.

2.5.4.6.6 Integración con las funciones relacionadas

Como se observó anteriormente, la mantenibilidad es afectada por muchas otras funciones relacionadas, como la fabricación, ingeniería humana, etc.

La mantenibilidad, a su vez, afecta a éstas y otras funciones. Las interrelaciones entre la mantenibilidad y las otras funciones hacen fundamental el desarrollar un programa de mantenibilidad que se integra con el programa de desarrollo de proyecto. Los beneficios de un programa integrado son el máximo uso de datos de cada uno de los análisis y pruebas que se realicen, la eliminación de esfuerzos duplicados, y un enfoque sobre el desempeño del producto global en lugar de enfocarse en perfeccionar una característica en particular.

2.5.4.7 Aplicación

Esta tarea se aplica a la confección del programa de mantenibilidad del proyecto y debe iniciarse y ser definida en la Ingeniería de Pre-factibilidad y ser actualizado durante el desarrollo de las siguientes fases del proyecto.

El programa de mantenibilidad debe ser definido para todos los equipos que se encuentren incorporados en el proyecto. Esto es más relevante en aquellos equipos donde existe un riesgo para la seguridad de las personas o una pérdida económica.

2.5.4.8 Responsabilidades

La organización del cliente deberá definir los objetivos básicos del proyecto, la exposición del medio ambiente, las características del producto que se desea lograr con el proyecto, tales como desempeño, utilización, calidad y duración. La organización del proyecto deberá trabajar en conjunto con el cliente para definir con un mayor detalle los requerimientos de mantenibilidad los cuales quedaran posteriormente establecidos en el contrato que se realice entre las partes

Lo recomendable es que exista una sola persona con la responsabilidad formal de llevar a cabo el programa de mantenibilidad en el proyecto, el cual debe ser en lo posible de la organización del Diseñador.

2.5.4.9 Requerimientos de Información

El desarrollo del programa de mantenibilidad requiere de información proveniente de la definición del sistema y de datos de los equipos.

La definición del sistema incluye la descripción de los procesos productivos, las preferencias del cliente, el desempeño de las funciones, las características físicas, y los factores de calidad.

2.5.4.10 Resultados

Los resultados de esta tarea serán las especificaciones de confiabilidad, que incluirán:

- Requerimientos cuantitativos generales de confiabilidad con un cierto nivel de certidumbre.
- Requerimientos de confiabilidad para los componentes del proyecto.
- Definición de requerimientos que describen en términos de parámetros y tolerancias de cómo los requerimientos de confiabilidad serán logrados.

- Definición de las pruebas que permitan demostrar que los requerimientos de confiabilidad han sido logrados.

2.5.5 TAREA DE EVALUACIÓN DE LA MANTENIBILIDAD DEL DISEÑO

Es una evaluación del diseño y especificaciones de equipamiento propuesto que certifica el sustento objetivo de los compromisos de mantenibilidad planteados.

La evaluación de mantenibilidad es uno de los pasos de validación y aceptación formal de diseño que asegura que la configuración de equipamiento propuesta cumple efectivamente con los parámetros objetivo de mantenibilidad comprometidos.

La evaluación de mantenibilidad certifica, vía un proceso formal de análisis, demostraciones y pruebas, que los parámetros de diseño de mantenibilidad para cada sistema, equipo o componente del proyecto efectivamente se cumplen. Para tal propósito, las especificaciones y/o predicciones de mantenibilidad deberán estar sustentadas en características concretas de la configuración del equipo así como de los planes matrices y pautas requeridos para su mantenimiento.

2.5.5.1 Evaluación de planes de mantenimiento

La mantenibilidad del sistema o equipo refleja la frecuencia, duración y recursos comprometidos en intervenciones requeridas para mantener su adecuado funcionamiento. Por tanto, es resultado directo de las actividades programadas en el plan matriz de mantenimiento asociado, y del desempeño esperado del plan en controlar la frecuencia y severidad de fallas o imprevistos resultantes.

La evaluación del plan deberá comprender:

- Suficiencia de las tareas y frecuencias propuestas para controlar las fallas a la frecuencia y severidad planteadas.
- Compatibilidad de las frecuencias, duraciones y recursos de intervenciones propuestas con los parámetros y métricas de mantenibilidad establecidos.
- Impacto de intervenciones en la mantenibilidad de otros sistemas y equipos involucrados.

2.5.5.2 Evaluación de carga de trabajo de mantenimiento

Las intervenciones planteadas resultantes de implantación de los planes matrices propuestos implicarán una carga de trabajo de mantenimiento, no sólo en dedicación de personal sino también en consumo de repuestos y materiales, equipos de apoyo, servicios de terceros, etc. Deberá contabilizarse el consumo de estos recursos en el plan propuesto.

2.5.5.3 Evaluación de configuración y eficiencia de intervenciones

La carga de trabajo identificada deberá evaluarse en duración y recursos con la viabilidad de ejecución de las tareas dentro de los parámetros planteados. Esto comprenderá, entre otros:

- Identificación de sistemas o equipos a intervenir
- Acceso y visibilidad de puntos de inspección
- Acceso y facilidad de manejo de puntos de lubricación, toma de muestras y lecturas, etc.
- Facilidad y apoyo de diagnósticos en caso de fallas.
- Aislamiento y prueba para fallas intermitentes.
- Facilidades de aislamiento de equipos para intervención.
- Espacio de trabajo para montaje/desmontaje de equipos y/o componentes de reemplazo
- Facilidades de izaje para montaje/desmontaje de componentes
- Facilidades y referencias para alineación, balanceo, etc. de componentes mecánicos.
- Otros

La efectividad de ejecución de tareas deberá comprobarse vía demostraciones y pruebas en equipos similares, de ser necesario.

2.5.5.4 Responsabilidades

El cliente tiene la responsabilidad principal en la evaluación de mantenibilidad, ya que certifica las propuestas del Diseñador.

2.5.5.6 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado la certificación de parámetros de mantenibilidad resultantes del diseño planteado, como parte del proceso de aceptación de las distintas etapas del proyecto.

2.5.6 TAREA ESTÁNDARES Y CHECK LIST DE LA MANTENIBILIDAD DEL DISEÑO

Es la aplicación de estándares, normas y guías de diseño para asegurar la óptima mantenibilidad de equipos del proyecto. Para asegurar, la incorporación del conocimiento acumulado y lecciones aprendidas sobre la mantenibilidad de instalaciones y equipos al diseño de nuevos proyectos.

La aplicación de estándares de diseño para mantenibilidad, incorpora al desarrollo de nuevos proyectos la experiencia acumulada respecto a características de configuración de sistemas y equipos que conllevan una mayor mantenibilidad. Dichos estándares, en mayor o menor grado de formalidad, se hallan documentados y/o presentes en la conciencia colectiva del personal de organizaciones operativas encargadas del mantenimiento de instalaciones afines a través de la organización, y comprenden factores de:

- Facilidades de acceso a puntos claves y/o elementos del equipo.
- Visibilidad de señalizaciones, puntos de inspección, etc.
- Disponibilidad de puntos para monitoreo sintomático/predictivo de condición.
- Facilidades incorporadas de diagnóstico de condiciones anómalas.
- Facilidad de montaje/desmontaje de equipos y/o sus componentes.
- Requerimientos de espacio de trabajo.
- Facilidades de manejo/izaje de componentes.
- Otros

2.5.6.1 Estándares de Diseño de la Mantenibilidad

El conocimiento colectivo en las organizaciones encargadas de mantenimiento de instalaciones, constituye la base para la especificación de estándares de diseño de los distintos equipos del proyecto. Deberán proveerse en el proyecto los mecanismos de captura de este conocimiento para aplicación al proyecto. Asimismo, deberá esperarse el concurso del diseñador en la definición de sus propios estándares y principios de diseño para mantenibilidad, que integrados con los del cliente, constituyan base de especificaciones de diseño aplicables al equipamiento involucrado.

2.5.6.2 Check List de Diseño de Mantenibilidad

Los estándares se aplicarán a cada tipo de sistema y equipo involucrado en el diseño vía el levantamiento de un formato o Check List de requerimientos para mantenibilidad, que liste los requerimientos específicos de diseño aplicables. Este Check List deberá ser facilitados al equipo de diseño, temprano en el desarrollo, a fin de servir de guía y eventualmente documentación de los factores de mantenibilidad incorporados a las especificaciones de equipos.

2.5.6.3 Responsabilidades

El cliente tiene la responsabilidad principal en la preparación de estándares y Check List de diseño, ya que establece sus requerimientos. El diseñador, sin embargo, tiene la obligación implícita de haber efectuado una evaluación correspondiente previa al diseño, a fin de asegurar el cumplimiento de sus compromisos contractuales.

2.5.6.6.4 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado un formato o Check List de requerimientos de diseño para mantenibilidad asociado a cada sistema, equipo o componente involucrado en el diseño.

2.5.7 Tarea Validación & Aceptación de Mantenibilidad Construída

Es la validación formal de la realización de los requerimientos de mantenibilidad en la instalación ya construída, conducente a la aceptación del proyecto para su mantenimiento.

La validación de mantenibilidad certifica, vía un proceso formal de inspecciones, demostraciones y pruebas, que los parámetros de diseño de mantenibilidad para cada sistema, equipo o componente del proyecto efectivamente se cumplen. Para tal propósito, la validación debe sustentarse en un plan concreto, con actividades, procedimientos y recursos asignados, que exhaustivamente certifique el cumplimiento de cada uno de los requerimientos de diseño establecidos.

2.5.7.1 Plan de Validación

El plan de validación debe especificar para cada uno de los sistemas, equipos y componentes involucrados:

- Los requerimientos de diseño para mantenibilidad a validar.
- Los procedimientos a aplicar para la validación.
- La duración y recursos (personal, equipos de prueba, etc.) a utilizar.
- El protocolo de prueba correspondiente.
- Los criterios de aceptación.
- El formato de bitácora para registro de resultados.

La secuencia de validaciones deberá plasmarse en un plan con cronograma, recursos, e hitos correspondientes.

2.5.7.2 Ejecución del Plan de Validación

Deberán preverse y asignarse los recursos requeridos para ejecución del plan durante el período de actividades involucrado, incluyendo requerimientos de capacitación del personal que participará. La ejecución de cada protocolo de validación deberá documentarse en una bitácora, especificando el cumplimiento/disconformidad verificado y las acciones consecuentes requeridas. En caso de requerirse modificaciones o ajustes para conformidad, el protocolo deberá repetirse una vez implantadas para verificar el cumplimiento. La bitácora final de certificación de cumplimiento de la totalidad del equipamiento constituirá un elemento de documentación en la aceptación de planta.

2.6.7.3 Aplicación

Esta tarea se aplica a las fases de construcción y puesta en marcha del proyecto.

2.6.7.4 Responsabilidades

El cliente tiene la responsabilidad principal en la validación de mantenibilidad, ya que constituye base para aceptación del proyecto.

2.6.7.5 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado la certificación de mantenibilidad del proyecto según diseño, documentado en bitácora de validación, y la aceptación del equipamiento para su mantenimiento operativo.

CAPÍTULO III

TAREAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La confiabilidad operacional es un factor importante que tiene un fuerte impacto sobre la efectividad de un sistema, en los requerimientos de la logística de apoyo y en los costos del ciclo de vida de la instalación.

La confiabilidad es el término usado para describir cuantitativamente la probabilidad de cuan libre de fallas es un sistema durante un periodo dado de tiempo de operación. La habilidad para expresar la confiabilidad en forma numérica es muy importante, debido a que nos habilita para identificar las necesidades de los usuarios, las especificaciones contractuales, las pruebas de puesta en marcha y la evaluación del desempeño.

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un elemento realice su función durante un periodo especificado de tiempo bajo condiciones establecidas. Esta definición específicamente no considera el efecto de la edad de este elemento. Durante el curso de una nueva construcción de una instalación o una reparación mayor de ella, no es raro descubrir que los sistemas y equipos instalados contienen defectos, ya sea de fabricación o de montaje, que hacen que no operen adecuadamente de acuerdo para lo que fueron diseñados.

Esta hace que durante su operación se presenten las siguientes situaciones:

- Fallas
- Perdidas
- Reparaciones de emergencia
- Descontento gerencial
- Alto nivel de stock de repuestos
- Accidentes
- Descontento del personal
- Sobre tiempo en exceso para producir y mantener
- Incumplimiento de compromisos
- Baja producción
- Alta rotación de personal
- Baja productividad
- Menor rendimiento
- Menor eficiencia
- Enfermedades laborales
- Estrés
- Problemas Ambientales
- Multas
- Multas de los Clientes
- Mayor Consumo de Energía
- Problemas con sindicatos
- Mal mantenimiento
- Mala operación
- Falta de adiestramiento
- Desconfianza general
- Etc.

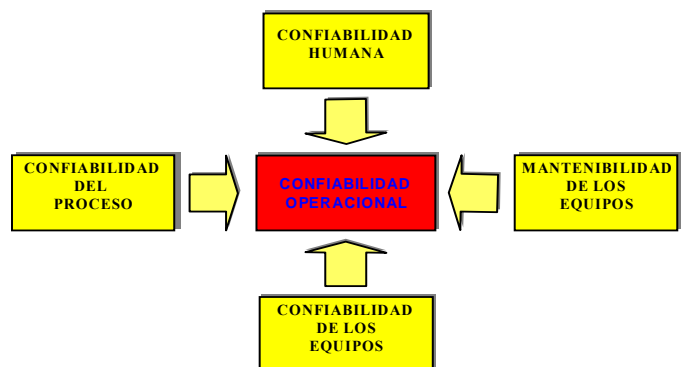


Figura 3.4.2 Confiabilidad Operacional

Existen dos objetivos diferentes para diseñar en forma confiable un sistema: uno es la de aumentar la efectividad del sistema; y la otra es la de minimizar los requerimientos sobre la operación del sistema.

El primer objetivo está relacionado con confiabilidad de la operación y el segundo con la confiabilidad de la logística de apoyo al sistema, durante su operación.

La Confiabilidad Operacional tiene cuatro aspectos que se deben considerar y sobre los cuales se debe actuar si se desea obtener una instalación confiable a largo plazo:

- Confiabilidad Humana: está relacionado con el involucramiento de las personas, su sentido de propiedad con la instalación, con el conocimiento que tienen de ella.
- Mantenibilidad de los Equipos: está relacionado con el diseño de los equipos y su apoyo logístico, con la disminución del Tiempo Medio Para Reparar (TMPR).
- Confiabilidad de los Equipos: está relacionado con las estrategias de mantenimiento de los equipos, con la efectividad del mantenimiento, con el aumento de su Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF).
- Confiabilidad del Proceso: está relacionado con la sintonía que existe entre el proceso y los procedimientos utilizados para operar las instalaciones, con los parámetros operacionales que se deben utilizar.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA TAREAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

Las tareas de confiabilidad deben ser integradas completamente en la totalidad del proyecto y ser realizadas concurrentemente con las otras tareas de la ingeniería del proyecto, con el objeto de asegurar tempranamente que estos conceptos sean incorporados en el diseño y con ello evitar cambios posteriores que pueden ser altamente costosos.

Esta sección describe las siguientes tareas que pueden ser aplicadas para ayudar a asegurar las adecuadas consideraciones de confiabilidad en el proyecto:

Definición de los Requerimientos de Confiabilidad
Plan de Confiabilidad para el proyecto
Normas y Chequeo aplicado al diseño de la confiabilidad
Modelamiento de la Confiabilidad
Análisis de Confiabilidad
Análisis de los Modos, Efectos y Criticidad de las Fallas
Evaluación de la Confiabilidad del Diseño
Validación y Aceptación de la Confiabilidad Construida

3.2.1 TAREA DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CONFIABILIDAD

La definición de los requerimientos de confiabilidad es la tarea de traducir los requerimientos operacionales solicitados por el cliente, en requerimientos específicos de confiabilidad que se deben tener en cuenta durante el proceso de adquisición del

equipamiento utilizado en el proyecto. Estos requerimientos deben poder ser definidos, diseñados y medidos.

La definición completa de la confiabilidad de una instalación, si se requiere, pasa necesariamente por un análisis de cada sistema, subsistema y componente de ella. La definición de los requerimientos es incorporada en las especificaciones técnicas que contienen entre otros:

- Valorización numérica de la confiabilidad requerida.
- Descripción precisa de los requerimientos de desempeño y de medio ambiente que se deben dar cumplimiento para lograr los requerimientos numéricos de la confiabilidad.
- Identificación y criterios para las pruebas y análisis que sean necesarios para verificar que los requerimientos de confiabilidad se han logrado.

Los requerimientos de confiabilidad deben ser usados como un elemento contractual en el proceso de compra de los equipos, para asegurar el éxito de la operación y el cumplimiento del desempeño durante un periodo definido. Estos requerimientos reflejan el sentir del cliente por la durabilidad, el buen funcionamiento durante su operación y la capacidad del producto.

Los requerimientos de la confiabilidad llegan a ser las bases para los criterios cuantitativos y cualitativos para el diseño, la selección de los equipos, el proceso de control, evaluaciones de factibilidad técnico-económica, identificación y prevención de los modos de fallas, estudios de costos, etc.

El proceso interactivo de traducir estos requerimientos de confiabilidad operacional en requerimientos de confiabilidad para los equipos y posteriormente para el diseño, dependerá mucho de la interacción entre el cliente y los diseñadores. Esto requerimientos deben:

- Ser realistas y obtenibles.
- Incluir las condiciones del medio ambiente.
- Identificar las secuencias de operación y de no-operación.
- Definir los periodos de operación
- Tener la capacidad de ser verificados a través de métodos o pruebas que permitan una fácil aplicabilidad.

3.2.1.1 Especificación del Producto

Normalmente los requerimientos de confiabilidad, una vez definidos serán incluidos en los documentos de definición del producto. Los requerimientos de confiabilidad también son incluidos junto a otros requerimientos de diseño del sistema tales como características físicas, funciones del equipo, condiciones de preservación del medio ambiente, pesos, tipo de materiales mantenibilidad, disponibilidad, factores ergonómicos, seguridad, pintura, accesibilidad, almacenamiento, transportabilidad, etc.

Esta área relacionada define mediciones específicas de la efectividad y requerimientos que están relacionados con la confiabilidad. Por lo que una tarea básica al definir los requerimientos de confiabilidad, es entender los requerimientos de esas áreas y trabajar interactivamente como un todo para minimizar los requerimientos adicionales.

3.2.1.2 Requerimientos Cuantitativos de Confiabilidad

Existen diversos métodos para especificar cuantitativamente los requerimientos de confiabilidad. Cualquiera de los siguientes o una combinación de ellos pueden ser incluidos en la descripción de una especificación:

- Tiempo Medio Entre Fallas
- Horas promedio de operación entre Fallas
- Tasas de Fallas
- Periodos de Operación
- Probabilidad de éxito

3.2.1.3 Requerimientos Cualitativos de Confiabilidad

Una vez que se han definido los requerimientos cuantitativos de confiabilidad, se debe definir una metodología para facilitar el logro de éstos. Esta metodología crea una guía para el diseño, la fabricación y la puesta en marcha para traducir los requerimientos cuantitativos en parámetros básicos tales como variabilidad de las tolerancias, las salidas funcionales, márgenes de estructuras, cargas límite, condiciones medioambientales, criterios de derrateo, redundancia, etc.

3.2.1.4 Aplicación

Esta tarea se aplica a todos los componentes y sistemas de un proyecto a través de la incorporación de estos requerimientos en las especificaciones técnicas para el diseño (criterios de diseño) o para las compras de los equipos.

Las metas de confiabilidad y los requerimientos técnicos son definidas en la Ingeniería de Pre-factibilidad durante el desarrollo de la Ingeniería de Factibilidad del proyecto.

3.2.1.5 Responsabilidades

La organización del cliente deberá definir los objetivos básicos del proyecto, la exposición del medio ambiente, las características del producto que se desea lograr con el proyecto, tales como desempeño, utilización, calidad y duración. La organización del proyecto deberá trabajar en conjunto con el cliente para definir con un mayor detalle los requerimientos de confiabilidad los cuales quedaran posteriormente establecidos en el contrato que se realice entre las partes.

3.2.1.6 Requerimientos de Información

La definición de los requerimientos de confiabilidad requiere entradas provenientes de la definición del sistema y de información de los equipos. La definición del sistema incluye la descripción de los procesos productivos, las preferencias del cliente, el desempeño de las funciones, las características físicas, y los factores de calidad. El análisis de confiabilidad y los modelos son usados para desarrollar los requerimientos. El análisis de fallas es usado para definir los requerimientos. Las tasas de fallas de sistemas y equipos similares son usadas para chequear los requerimientos y anticipar las necesidades de pruebas.

3.2.1.7 Resultados

Los resultados de esta tarea serán las especificaciones de confiabilidad que incluirán:

- Requerimientos cuantitativos generales de confiabilidad con un cierto nivel de certidumbre.
- Requerimientos de confiabilidad para los componentes del proyecto.
- Definición de requerimientos que describe en términos de parámetros y tolerancias de cómo los requerimientos de confiabilidad será lograda.
- Definición de las pruebas que permitan demostrar que los requerimientos de confiabilidad han sido logrados.

3.2.2 TAREA PLAN DE CONFIABILIDAD PARA EL PROYECTO

El Plan de Confiabilidad del Proyecto (PCP) es un plan detallado que define las tareas que deberán ser realizadas, la programación de esas tareas, y la documentación del programa que asegure el cumplimiento de los requerimientos de confiabilidad del proyecto. Este plan entregará los procedimientos o formas sobre las cuales las tareas de confiabilidad serán realizadas y las interfaces necesarias con la organización de la ingeniería (diseñador) que se requieran para realizar estas tareas.

El PCP define al cliente y a la organización interna del proyecto, las tareas que serán realizadas para asegurar que los requerimientos contractuales serán logrados. El PCP estará incluido dentro de las actividades globales asumidas por el Diseñador del proyecto.

Los procedimientos de las tareas definen los métodos para la realización de la tarea dándole confianza al cliente sobre el resultado del programa, y la oportunidad de comentar estos procedimientos antes de iniciar estas tareas.

En cada una de las fases del proyecto el PCP debe contener a lo menos los siguientes aspectos:

3.2.2.1 Administración de los aspectos de Confiabilidad y sus Interfaces

Se debe definir en detalle a la o las personas que son responsables de originar, administrar y coordinar el plan de confiabilidad dentro del proyecto. Las organizaciones que interactúan para realizar las diferentes tareas de confiabilidad deben ser claramente identificadas.

3.2.2.2 Definición de Requerimientos

La definición de los requerimientos de confiabilidad para el proyecto, que ya fueron establecidos, debe ser presentada en detalle en el PCP. Esto debe ser consistente con la especificación final que se pretende impulsar para el proyecto pero analizados en detalles para la clarificación del contratista y el cliente del proyecto.

3.2.2.3 Tareas de Confiabilidad

Las tareas que deban ser realizadas para cumplir con los requerimientos del contrato con el cliente serán definidas en detalle. Esto da la capacidad la cliente de evaluar el esfuerzo que se realizará y a la administración del proyecto, la capacidad de evaluar el esfuerzo que se realizará desde el punto de vista contractual.

Las siguientes son ejemplos de tareas programadas de confiabilidad:

- Criterios de Diseño de Confiabilidad
- Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de las Fallas
- Pruebas de desarrollo de la confiabilidad

3.2.2.4 Programación de las Tareas

Se debe programar las tareas de confiabilidad. Esto dará al cliente y al Diseñador la capacidad de evaluar el estatus del programa.

3.2.2.5 Procedimientos de las Tareas de Confiabilidad

Los procedimientos utilizados para realizar las tareas de confiabilidad serán definidos en detalle. Esto dará al cliente la oportunidad de evaluar el alcance de las tareas que se realizan. Esto también permitirá identificar los problemas que se deberán enfrentar para realizar todas las tareas de confiabilidad.

3.2.2.6 Responsabilidades

El Diseñador del proyecto, será quien prepare y ejecute el PCP.

3.2.2.7 Resultados

Como resultado de esta tarea se obtendrá un documento formal y contractual, donde se establecen todas las acciones que el diseñador realizará para lograr los requerimientos de confiabilidad del proyecto. Por lo que su desarrollo, durante el proyecto, deberá constantemente ser controlado.

3.2.3 TAREA NORMAS Y CHECK LIST APLICADAS AL DISEÑO DE LA CONFIABILIDAD

Las normas de diseño y los Check List son herramientas usadas durante el desarrollo del diseño de las instalaciones del proyecto, para incorporar la confiabilidad en los

nuevos sistemas y/o mejorar la confiabilidad de los diseños existente a través de los cambios de la ingeniería.

El propósito de contar con normas y Check list enfocados a la confiabilidad de las instalaciones del proyecto, es proveer criterios de diseño en un formato que sea fácilmente entendible y usado para lograr los requerimientos cuantitativos y cualitativos que se han definido. Con ello se espera lograr un diseño óptimo con el máximo de simplicidad, y redundancias solo donde sea necesaria. Un diseño simple, minimiza la tasa de fallas, las reparaciones, los stocks de repuestos y mejora los costos del ciclo de vida de la instalación.

En la medida que los sistemas crecen en complejidad para satisfacer la demanda por mayores capacidades y el mejoramiento del desempeño de las instalaciones, los problemas para apoyar estos sistemas aumentan proporcionalmente. Por tal razón, es que el diseño de los sistemas debe ser simple, con confiabilidad, con mantenibilidad, y con un enfoque direccionado al apoyo logístico de ellos, considerando criterios equilibrados de costos, programación y desempeño. Las lecciones aprendidas provenientes de otros proyectos similares, deben ser utilizadas para lograr los requerimientos cuantitativos y cualitativos que se definan.

Una de estas lecciones aprendidas es que la confiabilidad debe ser un elemento que constituya una parte integral del proceso del diseño. Las normas de diseño y los Check list enfocados a la confiabilidad de los sistemas, permiten a la organización comprometerse formalmente con este aspecto y cumplir con las necesidades de los clientes. A través de estos medios, cualquier auditoría técnica podrá constatar que la administración del proyecto está aplicando o no estos conceptos.

3.2.3.1 Criterio para las Normas y Guías de Confiabilidad

La guía o norma confeccionada por el encargado de la confiabilidad del proyecto debe incluir los requerimientos cuantitativos y cualitativos, que se han definido para los sistemas y para cada uno de elementos de más bajo nivel dentro de la estructura de descomposición del proyecto. Lo siguiente es una muestra de lo que debería contener la guía de confiabilidad del proyecto:

- Identificar los requerimientos cuantitativos y cualitativos de confiabilidad para cada elemento del proyecto.
- Identificar cualquier redundancia que se requiera por motivos de seguridad del personal, factores ergonómicos, o de funciones críticas dentro del proceso productivo. La redundancia puede ser necesaria para cumplir con requerimientos cuantitativos o simplemente para cumplir con aspectos contractuales con el cliente.
- La selección del equipamiento del proyecto debería ser realizado en lo posible con criterios de estandarización.
- La identificación de cada uno de los componentes de las instalaciones del proyecto deberá tener marcas que permitan su fácil trazabilidad.
- Requerimientos relativos al proceso de fabricación que deben ser tomados en cuenta durante el proceso del diseño.

- La identificación de elementos críticos donde los aspectos de confiabilidad deben tener un seguimiento especial durante el diseño, durante la fabricación, durante el montaje y durante la puesta en marcha.

3.2.3.2 Aplicación

El desarrollo de la guía y el Check list respectivo deben ser iniciados en las fases de la ingeniería de Pre-factibilidad del proyecto y ser mejorado en las fases posteriores.

3.2.3.3 Requerimientos de Información

La guía y Check list debe ser iniciada utilizando la información de confiabilidad de equipos similares que existan en el mercado y de los proyectos de características similares al que se está ejecutando. Los problemas de diseño pueden ser extractados de datos de problemas históricos y de criterios conocidos en las experiencias acumuladas en la operación de otras plantas similares.

3.2.3.4 Resultados

La guía y Check list que se confeccionen entregarán a los encargados del diseño del proyecto un procedimiento estructurado que deberá ser tomado en cuenta para optimizar la confiabilidad del diseño del proyecto.

3.2.4 TAREA MODELAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD

El modelamiento de la confiabilidad es una técnica usada para caracterizar el diseño de un sistema a través de una expresión matemática o de una simulación computacional con el propósito de cuantificar la confiabilidad de su operación. El modelo de confiabilidad considera las interacciones entre los componentes o subsistemas, sus tasas de fallas, el ciclo de operación o servicio, tiempos de operación, periodos standby, etc.

El modelamiento de la confiabilidad es una herramienta esencial para evaluar el desempeño del diseño. El modelamiento sirve para los siguientes propósitos:

- Realizar análisis paramétricos de sensibilidad para identificar los parámetros de alta sensibilidad en su efectividad y en sus costos.
- Cuantificar la efectividad del diseño de un sistema para cumplir con sus objetivos.
- Realizar análisis económicos entre sistemas de características diferentes (desempeño, confiabilidad, mantenibilidad y apoyo logístico) de modo de lograr un balance equilibrado de costo beneficio.
- Identificar y determinar los niveles de redundancia que se requieran para equipos de alta criticidad.
- Identificar las áreas problemáticas en el diseño que podrían limitar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

- Evaluar los requerimientos de garantía para cada uno de los elementos o equipos del proyecto.
- Proveer de datos de entradas para la determinación de la disponibilidad, el apoyo logístico y el análisis del costo del ciclo de vida de la instalación.

El modelamiento permite una evaluación inicial de la confiabilidad de un diseño y la verificación del cumplimiento de los requerimientos del cliente. También permite la determinación de alternativas de diseño desde el punto de vista técnico económico.

3.2.4.1 Configuración de modelos en serie

El modelo de confiabilidad más sencillo es el de la configuración de los elementos en forma serial. El éxito de la operación del sistema se asume que depende del adecuado funcionamiento de todos los componentes del sistema. Una falla del componente implica una falla total del sistema, por lo tanto la robustez del diseño de cada uno de los componentes es crítica para lograr una alta confiabilidad. Una configuración serie con “n” componentes se representa en la figura adjunta. El diagrama en bloque de confiabilidad difiere del diagrama en bloque funcional en que no se presentan todas las relaciones funcionales que existen entre cada uno de los componentes. Se supone que la falla de cualquier componente es independiente de la falla o éxito de cualquier otro



componente.

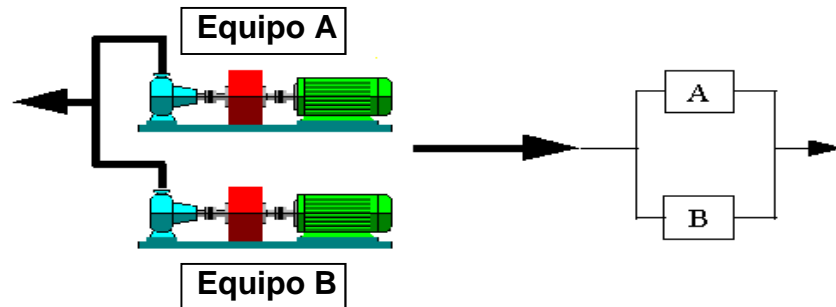
Si esto no es el caso, entonces se debe usar la probabilidad de fallas condicional, lo cual aumenta la complejidad de los cálculos.

3.2.4.2 Configuración de modelos en Paralelo o redundantes

Otra configuración común que se encuentra en el modelamiento de la confiabilidad, es la configuración en paralelo o redundante tal como se muestra en la figura adjunta. Para que el sistema falle, deben fallar todos los componentes en paralelo. La configuración en paralelo es la configuración que se utiliza generalmente para poder lograr una mayor tolerancia a las fallas y una alta confiabilidad del sistema. Un diseño que utilice esta configuración puede actuar de las siguientes formas:

- Comparación de la carga: las unidades redundantes o en paralelo están conectadas de tal forma que ante una falla de cualquiera de ellas, el resto de los elementos continúa realizando la función del sistema. No es necesario reconfigurar el sistema.
- Modo de Switch: los elementos operativos son reconfigurados para desconectar una unidad que se encuentra fallada y conectar una de las unidades que se encuentra operativa.

- Modo de standby: las unidades redundantes no se encuentran operativas hasta que ellas son incorporadas al sistema una vez que fallo una unidad.
- Modo Electivo: las salidas de las unidades redundantes son comparadas, y la salida que cumpla mayoritariamente respecto a las otras, es la que se selecciona para entrar en servicio. Generalmente la unidad que no cumple con las especificaciones operativas es la que se considera fallada.
- Modo Degradativo: similar al modo anterior, excepto que el desempeño es suavemente reducido con la falla de cada uno de los elementos redundantes. Eventualmente un desempeño inaceptable del sistema se considera cuando han fallado un número suficiente de elementos.



3.4.2.3 Aplicación

Los modelos de confiabilidad pueden ser usados y aplicados para evaluar los atributos de casi todos los sistemas. Entre ellos se pueden mencionar la evaluación de la probabilidad de éxito de los objetivos operacionales o la misión del sistema, la seguridad, la probabilidad de éxito de elementos críticos dentro del sistema, o los requerimientos de apoyo logístico necesarios, entre otros.

El modelo de confiabilidad debe ser desarrollado una vez que la definición del proyecto se encuentre terminada, es decir, con el inicio de la Ingeniería de Factibilidad. Esto debe ser realizado aun cuando no existan datos precisos, debido a que un modelamiento temprano puede entregar como resultado que se deban realizar algunos cambios en el diseño.

El nivel de detalles del modelo aumentará en la medida que el proyecto se desarrolle. Los modelos de confiabilidad pueden ser actualizados con la información que se genere con pruebas o con datos de terreno, con los cambios en la configuración del diseño, los parámetros de la misión del proyecto, o algunas limitaciones de índole operacional que se vayan presentando.

3.4.2.4 Responsabilidades

Esta tarea deberá ser realizada por el Diseñador principal del proyecto o en caso de adquisiciones de equipos mayores, por el proveedor de ellos. Para tales efectos es recomendable la utilización alguna de los muchos software que existen en el mercado para la ejecución de ella.

3.2.4.5 Requerimientos de Información

Para realizar el modelo se debe disponer a lo menos de una descripción del sistema y los objetivos de la instalación que genera el proyecto. Con esto es posible realizar el diagrama lógico de confiabilidad y el análisis de confiabilidad del sistema, teniendo como base los atributos mínimos de los componentes y la operación del sistema.

3.2.4.6 Resultados

Se obtendrán estimaciones cuantitativas de confiabilidad respecto a la probabilidad de cumplir con los objetivos operacionales del proyecto, de la seguridad y la logística, con el fin de retroalimentar al proceso de desarrollo del diseño para mejorar todos estos aspectos. El resultado final ser una instalación generada por el proyecto con un diseño optimizado, de un costo beneficio adecuado y confiable, que cumplirá con los requerimientos de los clientes.

3.2.5 TAREA ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

El análisis de confiabilidad es el proceso de realizar las siguientes tareas:

- Subdividir a través de un proceso top-down, los requerimientos de confiabilidad del sistema completo en requerimientos de confiabilidad a cada uno de los subsistemas menores.
- Predecir cuantitativamente la confiabilidad del sistema durante su desarrollo a través de la predicción de la confiabilidad de los subsistemas y equipos que lo componen. Compararla con un requerimiento de confiabilidad preestablecido, y entregar al diseñador los elementos que permitan mejorar la confiabilidad del diseño.

El análisis de confiabilidad tiene como propósito el traducir los requerimientos generales de confiabilidad impuestos al proyecto, en elementos de más bajo nivel y más manejables. Permite realizar estudios económicos, de modo de lograr la óptima combinación entre confiabilidad y economía del proyecto.

Adicionalmente el análisis de confiabilidad determina la confiabilidad para cada unos de los equipos componentes del proyecto.

Además, permite predecir cuantitativamente la confiabilidad del diseño. El proceso de predicción desarrolla un núcleo de información respecto a los mecanismos de fallas, desempeños históricos, y áreas potenciales de riesgos, todos los cuales influyen a la factibilidad técnica, la comparación de configuraciones alternativas, planificación de los apoyos logísticos, estudios de costos, determinación de ineficiencias de los datos, decisiones económicas, asignación de requerimientos, y pruebas de demostración. El valor primario es contar con elementos de identificación de oportunidades para la prevención de fallas, y proveer criterios de decisión para seleccionar los cursos de acción los cuales pueden afectar la confiabilidad.

El proceso comienza con la definición cuantitativa de los requerimientos del sistema.

3.2.5.1 Técnicas de Predicción

En general existe una aproximación jerárquica para predecir la confiabilidad dependiendo de: 1) el grado de definición del diseño y 2) la disponibilidad de datos históricos de la confiabilidad de los equipos y componentes. Estas técnicas están basadas en conceptos de tipo teórico y estadísticos que difieren en el nivel de datos sobre la cual la predicción se basará, los cuales irán evolucionando en la medida que se desarrolla el proyecto desde la Ingeniería de Pre-factibilidad hasta la Construcción. Estas formas se pueden agrupar en tres categorías:

- Enfoque Comparativo
- Enfoque Fundamentales
- Enfoque de Tendencias

Un tipo de enfoque o una combinación de ellos se pueden utilizar durante las diferentes fases del proyecto.

3.2.5.1.1 El Enfoque Comparativo

Utiliza técnicas de predicción basadas en las similitudes con equipos existentes. Un resumen de esta técnica se puede describir a continuación:

- Equipos Similares: el equipo bajo análisis es comparado con un equipo similar, de conocida confiabilidad, y se estima su probabilidad de lograr la confiabilidad.
- Complejidad Similar: la confiabilidad del nuevo sistema es estimada como una función de la complejidad relativa del elemento en cuestión, respecto a un elemento típico similar.
- Predicción a través de la Función: la correlación, previamente demostrada, entre la función operacional y la confiabilidad se utiliza para obtener la predicción de la confiabilidad de un nuevo diseño.
- Número de Partes: la confiabilidad del equipo se estima como una función del número de partes que compondrá el equipo.
- Análisis de Esfuerzo: la tasa de falla del equipo se determina como una función adicional de todas las tasas de fallas individuales, considerando el tipo de parte, el nivel de esfuerzo de la operación, y las características de cada una de las partes.

3.5.2.1.2 El Enfoque Fundamental

Consiste en construir una tasa de fallas, basada en la contribución de estimaciones de causas individuales. Por ejemplo, las estimaciones de tasas de accidentes, tasas de choques, tasas de defectos en la partida, y tasas de fallas de partes, en movimiento debido a la complejidad del diseño, entre otras, son sumadas para obtener una tasa de falla inicial.

3.2.5.1.3 El Enfoque de Tendencias

Consiste en estimaciones de tendencias temporales, basadas en datos de pruebas publicadas y de otras experiencias de la ingeniería. Las tendencias en tales áreas tales como el mejoramiento de los materiales, análisis de tensiones, procesos de fabricación

y mitigación de fallas son graficadas. Una estimación general de la expectativa, con relación a la tecnología que estará disponible cuando el proyecto esté bastante desarrollado, también se debe considerar.

3.2.5.2 Aplicación

El análisis de confiabilidad se aplica a cada uno de los niveles del sistema de modo de establecer los requerimientos de confiabilidad a los niveles más bajos.

El análisis de confiabilidad debe ser realizado a contar de la Ingeniería de Prefactibilidad, si es que es posible y será actualizada en la medida que el proyecto se desarrolle.

3.2.5.3 Responsabilidades

Esta tarea deberá ser realizada por el Diseñador del proyecto o en caso de adquisiciones de equipos mayores, por el proveedor de ellos. Para tales efectos es recomendable la utilización de software que existe en el mercado para la ejecución de ella.

3.2.5.3 Requerimientos de Información

Para realizar el modelo, se debe disponer a lo menos de una descripción del sistema y los objetivos de la instalación que genera el proyecto. Con esto es posible realizar el diagrama lógico de confiabilidad y el análisis de confiabilidad del sistema, teniendo como base los atributos mínimos de los componentes y la operación del sistema.

3.2.5.4 Resultados

Se obtendrán estimaciones cuantitativas de confiabilidad, respecto a la probabilidad de cumplir con los objetivos operacionales del proyecto, de la seguridad y la logística, con el fin de retroalimentar al proceso de desarrollo del diseño para mejorar todos estos aspectos. El resultado final ser una instalación generada por el proyecto con un diseño optimizado, de un costo beneficio adecuado y confiable, que cumplirá con los requerimientos de los clientes.

3.2.6 TAREA ANÁLISIS DE LOS MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE LAS FALLAS

Es un análisis estructurado y lógico de un sistema y sus componentes asociados. En el análisis se identifican los modos de falla potenciales y las posibles causas y los efectos asociados a ellos, evaluando cada uno de ellos de acuerdo a la criticidad que tienen en el proceso donde están insertos.

La FMECA (análisis de Modos, efectos y criticidad de fallas) entrega las bases para la eliminación o reducción de la probabilidad de ocurrencia de los modos de falla de un sistema o la forma de mitigarlos para que los efectos de ellos sean aceptables, a través

de detectarlas en las fases iniciales del proyecto y cambiar, si se requiere, el diseño o incorporar acciones de mitigación aceptables.

La FMECA entrega:

- La identificación y corrección de riesgos potenciales a la seguridad de las personas, errores de diseño y problemas de operación.
- Una herramienta común de comunicación entre diseñadores, fabricantes, equipos de puesta en marcha y en general entre todos aquellos involucrados en asegurar la entrega de un producto.
- Una forma de identificar los tipos de pruebas usados para certificar que el diseño es adecuado.
- Un medio para evaluar y/o certificar los cambios de diseño, proceso o materiales utilizados.
- Un procedimiento sistemático para integrar los análisis del diseño, los resultados de las pruebas realizadas durante las etapas de desarrollo del producto y los datos de confiabilidad provenientes de terreno para identificar los problemas potenciales de seguridad y confiabilidad.

FMECA es la base para realizar los análisis de mantenimiento basados en confiabilidad (RCM).

La metodología básica de la FMECA involucra el análisis de cada una de las características de un sistema, producto o proceso. En este análisis, se determinan las funciones de los elementos y las formas posibles de falla. Se determinan las posibles causas de cada uno de los modos de falla junto con el efecto que produce. La evaluación de la criticidad de cada uno de los modos de falla a través de evaluar su severidad o consecuencia y la probabilidad de ocurrencia permite priorizar su acción correctiva.

3.2.6.1 Análisis

El diagrama de flujo de la figura 3.2.6-1 permite ilustrar el proceso iterativo que se sugiere seguir para desarrollar el análisis. Este puede ser documentado de variadas formas, desde la utilización de planillas tipo Excel o bases de datos electrónicas.

3.2.6.2 Priorización

Los modos de falla pueden ser “ranqueados” según su nivel de criticidad con el objeto de priorizar las acciones a realizar.

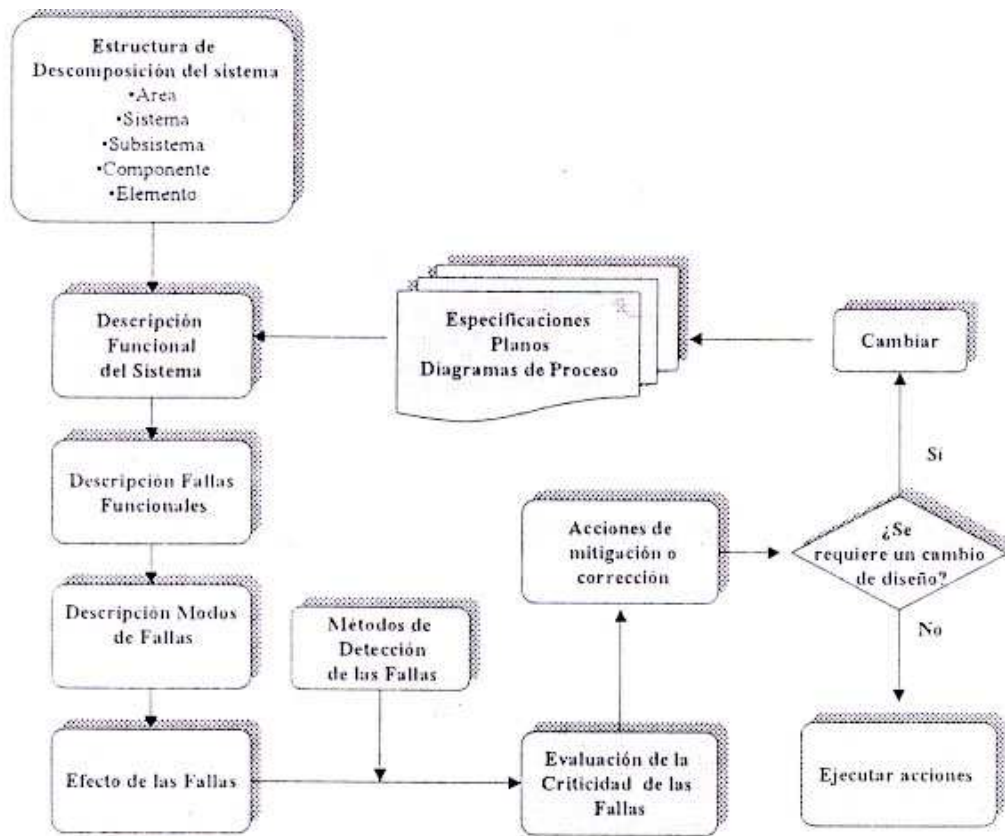


Figura 3.2.6-1 Diagrama de flujo de la FMECA

3.2.6.3 Aplicación

El análisis puede ser realizado de diferentes formas, ya sea a través de analizar a nivel de detalles cada uno de los componentes de un sistema, lo cual muchas veces no se justifica, hasta sólo considerar para los análisis ciertos sistemas o subsistemas específicos del producto. Como regla general, lo más adecuado es descomponer un producto en sistemas y luego en subsistemas, analizarlos por separado y según la complejidad y criticidad, nuevamente descomponerlos para re-analizarlos.

La aplicación del FMECA, es más efectiva iniciarla en fases iniciales del diseño, cuando se disponen los conceptos iniciales del proyecto, ayudando al análisis funcional del proyecto.

3.2.6.4 Responsable de la Tarea

El que realice la ingeniería del proyecto es responsable de liderar la ejecución de la FMECA.

3.2.6.5 Requerimientos de Información

Existe una gran variedad de datos que pueden ser usados para apoyar esta tarea. Entre las cuales se incluyen:

- Definición conceptual del producto
- Lecciones aprendidas
- Historial de Fallas de los fabricantes
- Datos estadísticos de procesos-equipos similares o comparables
- Diagramas de Flujo
- Caracterización de los materiales
- Limitación de las herramientas y equipos
- Valores de consecuencia y probabilidades a ser aplicadas
- Experiencia y conocimiento de los participantes de los análisis

3.2.6.6 Resultados de esta Tarea

Realizar el FMECA entrega como resultado un informe que detalla las acciones a tomar para evitar o mitigar los efectos de los modos de falla del equipamiento de las instalaciones involucradas.

3.2.7 TAREA EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL DISEÑO

Es una evaluación del diseño y especificaciones de equipamiento propuesto que certifica el sustento objetivo de los compromisos de confiabilidad planteados.

La evaluación de confiabilidad certifica, vía un proceso formal de análisis, demostraciones y pruebas, que los parámetros de diseño de confiabilidad para cada sistema, equipo o componente del proyecto efectivamente se cumplen. Para tal propósito, las especificaciones y/o predicciones de confiabilidad deberán estar sustentadas en características concretas de la configuración del equipo así como de los planes matrices y pautas requeridos para su mantenimiento.

3.2.7.1 Evaluación de planes de mantenimiento

La confiabilidad del sistema o equipo refleja la probabilidad o frecuencia esperada de fallas, durante los períodos de operación entre intervenciones programadas de mantenimiento. Dicha probabilidad de falla, por tanto, es resultado directo de la confiabilidad inherente al diseño del equipo, y de la efectividad de los planes de mantenimiento en anticipar/prevenir condiciones de desgaste/degradación que resulten en interrupción imprevista del funcionamiento.

La evaluación del plan deberá comprender:

- Modos de falla esperados del equipo
- Causas raíces, mecanismos de propagación, y efectos de fallas
- Suficiencia de las tácticas propuestas para anticipar/controlar las fallas con la efectividad propuesta

- Suficiencia de las tareas en alcances y frecuencias para realizar efectivamente las tácticas planteadas

3.2.7.2 Evaluación de configuración para confiabilidad

La configuración del equipo deberá evaluarse a la luz de los planes de mantenimiento propuestos para verificar la compatibilidad, con las tareas operativas planteadas, comprendiendo:

- Asociación y suficiencia de puntos de inspección disponibles con modos de falla y mecanismos de propagación identificados, incluyendo especificación de niveles y períodos de anticipación y alarma.
- Asociación y suficiencia de puntos de monitoreo sintomático/predictivo con modos de falla y mecanismos de propagación identificados, incluyendo especificación de niveles y períodos de anticipación y alarma.
- Disponibilidad de protecciones y señalización de alarmas que detecten/previengan desgastes acelerados y/o introducción de des-ordenadores por condiciones anómalas de operación
- Vida útil de componentes y partes

La efectividad de planes y tareas deberá comprobarse vía demostraciones y prueba en equipos similares de ser necesario.

3.2.7.3 Aplicación

Esta tarea se aplica a todas las fases de ingeniería del proyecto, en proporción al nivel de desglose del equipamiento propuesto alcanzado, y como proceso continuo que profundiza determinaciones de la etapa anterior. Debe en particular ser de alto énfasis durante las ingenierías básicas y de detalle donde se especifican los equipos concretos a ser incorporados al proyecto.

Para el desarrollo de esta tarea comprenden:

- Descomposición de equipos del proyecto alcanzada en la etapa actual.
- Parámetros de confiabilidad de equipos establecidos como requerimientos de diseño.
- Predicciones de confiabilidad.

3.2.7.4 Responsable

El cliente tiene la responsabilidad principal en la evaluación de confiabilidad, ya que certifica propuestas del diseñador. El diseñador, sin embargo, tiene la obligación implícita de haber efectuado una evaluación correspondiente previa a la presentación de propuesta de diseño, a fin de asegurar el cumplimiento de sus compromisos contractuales.

3.2.7.8 Resultados de esta tarea

Esta tarea tendrá como resultado la certificación de parámetros de confiabilidad resultantes del diseño planteado, como parte del proceso de aceptación de las distintas etapas del proyecto.

3.2.8 TAREA VALIDACIÓN & ACEPTACIÓN DE CONFIABILIDAD CONSTRUIDA

Es la validación formal de la realización de los requerimientos de confiabilidad en la instalación ya construida, conducente a la aceptación del proyecto para su mantenimiento.

La validación de confiabilidad certifica, vía un proceso formal de inspecciones, demostraciones y pruebas, que los parámetros de diseño de confiabilidad para cada sistema, equipo o componente del proyecto efectivamente se cumplen. Para tal propósito, la validación debe sustentarse en un plan concreto, con actividades, procedimientos y recursos asignados, que exhaustivamente certifique el cumplimiento de cada uno de los requerimientos de diseño establecidos.

3.2.8.1 Plan de Validación

El plan de validación debe especificar, para cada uno de los sistemas, equipos y componentes involucrados:

- Los requerimientos de diseño para confiabilidad a validar.
- Los procedimientos a aplicar para la validación.
- La duración y recursos (personal, equipos de prueba, etc.) a utilizar.
- El protocolo de prueba correspondiente.
- Los criterios de aceptación.
- El formato de bitácora para registro de resultados.

La secuencia de validaciones deberá plasmarse en un plan con cronograma, recursos, e hitos correspondientes.

3.2.8.2 Ejecución del Plan de Validación

Deberán preverse y asignarse los recursos requeridos para ejecución del plan durante el período de actividades involucrado, incluyendo requerimientos de capacitación del personal que participará. La ejecución de cada protocolo de validación deberá documentarse en una bitácora, especificando el cumplimiento/disconformidad verificado y las acciones consecuentes requeridas. En caso de requerirse modificaciones o ajustes para conformidad, el protocolo deberá repetirse una vez implantadas para verificar el cumplimiento. La bitácora final de certificación de cumplimiento de la totalidad del equipamiento constituirá un elemento de documentación en la aceptación de planta.

3.2.8.3 Aplicación

Esta tarea se aplica a las fases de construcción y puesta en marcha del proyecto.

3.2.8.4 Responsable

El cliente tiene la responsabilidad principal en la validación de confiabilidad, ya que constituye base para aceptación del proyecto. El diseñador, sin embargo, tiene la obligación implícita de haber efectuado una validación correspondiente previa a la presentación, a fin de asegurar el cumplimiento de sus compromisos contractuales.

3.2.8.5 Resultados de esta tarea

Esta tarea tendrá como resultado la certificación de confiabilidad del proyecto según diseño, documentado en bitácora de validación, y la aceptación del equipamiento para su mantenimiento operativo.

CAPÍTULO IV APOYO LOGISTICO

4.1 INTRODUCCIÓN

El apoyo logístico son todos aquellos aspectos que deben ser considerados en el diseño de una instalación, con el objeto de mantenerla y operarla adecuadamente.

El apoyo logístico es una parte integral del proceso de diseño que asegura que estos requerimientos sean incorporados en el diseño y que los recursos asociados sean definidos para apoyar la operación en toda su vida útil.

Los requerimientos de apoyo que se deben considerar en el proyecto, incluyen una gran diversidad, entre los cuales se pueden mencionar la mano de obra adecuada, las herramientas, los equipos, las instalaciones, los repuestos, las técnicas y procedimientos, los documentación, datos, materiales, y los análisis que se requieran para asegurar que componentes complejos mantengan su integridad estructural a través de la vida útil.

Durante las etapas de desarrollo de un proyecto existe la tendencia natural de considerar una gran cantidad de requerimientos que van desde las características del producto que se desea lograr con el proyecto, incluyendo los aspectos relacionados con los costos, la calidad y la constructibilidad de él, agregando a ello las presiones por el cumplimiento de los plazos pactados. Por tales razones, no es de extrañar que no se consideren con un mayor énfasis, todos aquellos aspectos que van a apoyar a la operación y mantenimiento del producto una vez que sea entregado al cliente final.

Sin embargo, el no analizar durante la etapa de desarrollo del proyecto, el apoyo logístico que requiere el producto, una vez que este es puesto en servicio, es desperdiciar una oportunidad de optimizar las necesidades, a través de la maximización de las utilidades durante todo el ciclo de vida de las instalaciones del proyecto.

Dado que los costos de operación y apoyo de las instalaciones por lo general, continúan aumentando a través de su vida útil, llega a ser imperativo seleccionar y optimizar aquellos diseños que maximizan el apoyo logístico.

Los costos del ciclo de vida de la instalación, los cuales se inician durante la ingeniería de pre-factibilidad y continúan con el resto del desarrollo de la ingeniería y construcción, continuando con los costos operacionales y de mantenimiento y finalmente el cierre de las instalaciones, son impactados por el tipo de definición del apoyo logístico que se realice durante la etapa de desarrollo.

Frecuentemente, los costos originados por los cambios de diseño que mejoran estos aspectos, mejoran la disponibilidad de las instalaciones y bajan los costos operacionales. Estos costos, son muy inferiores a los costos de cambio de diseño que se deben asumir durante la operación de las instalaciones, de modo de incorporar a las instalaciones los elementos, que siendo necesarios no fueron considerados u omitidos en el diseño.

Los típicos indicadores, que reflejan los diseños donde no se ha considerado los aspectos de apoyo logístico para la instalación proyectada, son por lo general los grandes inventarios de repuestos, los excesivos tiempos de reparación, y las inspecciones innecesarias, entre otros.

4.2 Como el Diseño del Producto Afecta a los Requerimientos de Apoyo logístico.

La forma de cómo se diseñe la instalación tendrá una gran influencia sobre los aspectos relacionados con el grado de apoyo que se requiere y la forma de cómo este apoyo debe entregarse.

Por ejemplo, decisiones tomadas en la fase del diseño pueden afectar la confiabilidad del producto y por consiguiente el nivel de mantenimiento requerido.

De forma similar, un diseño modular puede reducir los costos de reparación, y la búsqueda y diagnóstico de problemas o fallas se realiza en forma mucho más fácil. Además de los aspectos de reparación y mantenimiento, el diseño influye también en la capacitación y entrenamiento del usuario. Por ejemplo, el apoyo remoto evita la necesidad de inspecciones a terreno que pueden resultar de alto costo y la incorporación de características y elementos especiales pueden reducir la cantidad de entrenamiento del personal que muchos de los productos complejos requieren.

A pesar de todo esto, el impacto que tiene el diseño en los requerimientos de apoyo logístico no recibe la adecuada atención en los proyectos de inversión, considerándose que estos aspectos son propios del área usuaria y que deben ser desarrollados por el usuario final.

Cuatro factores inhiben que se tomen en cuenta los aspectos de apoyo logístico en los proyectos de inversión:

- Los requerimientos de apoyo logístico solicitados por el cliente son considerados demasiado tarde durante en la fase de diseño del producto.
- Los Ingenieros de terreno que conocen los problemas de apoyo logístico de los proyectos tienen una pequeña o ninguna influencia sobre los diseñadores del producto.
- Los modelos económicos (evaluaciones económicas) del proyecto consideran sólo los costos del diseño y los costos de la producción, ignorando los costos del apoyo logístico que debería tener el cliente.
- Las características del producto tienen prioridad sobre las consideraciones de apoyo logístico del producto.

Si se realiza un estudio dentro de los proyectos ejecutados en cada una de las Divisiones no sería extraño que se encuentre un número bajo, de ellos donde se ha realizado con bastante rigurosidad los análisis del apoyo logístico que se requiere. Durante las etapas de diseño y construcción de las instalaciones, el apoyo logístico está influenciado de tres formas:

- Diseño de las instalaciones considerando los sistemas de apoyo.
- Diseño de los sistemas de apoyo.
- Adquisición de los elementos del sistema de apoyo.

El apoyo logístico es una consecuencia de las características del diseño, por lo que realizar un análisis temprano de él, permitirá establecer los requerimientos y parámetros que deban ser considerados durante las etapas posteriores del diseño.

Estos parámetros deben ser expresados en forma cuantitativa y cualitativa, en términos operacionales relacionándolos específicamente con los objetivos y los costos de las instalaciones.

Lograr compatibilizar estos objetivos es tarea de las actividades de análisis de los costos del ciclo de vida de la instalación que se analiza en el Capítulo V.

Los análisis de apoyo logístico son una variedad de análisis que están relacionados y que deben ser realizados durante las fases de diseño y de conceptualización del proyecto.

Los objetivos de estos análisis son de asegurar que todos los aspectos del apoyo logístico del proyecto, necesarios para operarlos y mantenerlos, se encuentren considerados y que los procesos sean diseñados con los sistemas de apoyos en forma óptima.

Para realizar el análisis se pueden utilizar una variedad de herramientas, prácticas, o técnicas, teniendo como ejemplo a los siguientes:

- El análisis de las tareas de mantenimiento
- El análisis de confiabilidad del proyecto
- El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
- El análisis de los modos, efectos y la criticidad de las fallas (FMECA)
- El análisis del costo del ciclo de vida, etc.,

Todos ellos pueden ayudar a realizar el análisis del apoyo logístico necesario para la instalación. Una clave de éxito para lograr estas metas es la aplicación eficaz de estos análisis durante las fases de diseño del producto.

Para ello deben ser aplicados al diseño a lo largo de todas las etapas de la ingeniería en forma reiterativa. En la medida que el proyecto se va desarrollando a través de su ciclo de vida, surgirán requerimientos nuevos del usuario, lo cual hace que sea necesario una revisión de los planteamientos hechos originalmente.

Por consiguiente, no se debe asumir que el objetivo de lograr incorporar el apoyo logístico para el proyecto solo pasa por realizar un gran análisis y eso es todo. Más bien, esta meta se logrará en forma reiterativa durante todo el desarrollo de las etapas de diseño del proyecto.

4.3 ELEMENTOS DEL APOYO LOGÍSTICO

El apoyo logístico está compuesto básicamente de los siguientes elementos:

- Planificación del Mantenimiento
- Mano de Obra
- Abastecimiento de Repuesto y Materiales
- Equipos de Apoyo y Prueba
- Datos e Información Técnica
- Capacitación y Entrenamiento
- Instalaciones
- Almacenamiento, Transporte

- Manejo de Materiales y Repuestos

4.3.1 Planificación del Mantenimiento

La planificación del mantenimiento es el proceso de desarrollar y establecer la estrategia del mantenimiento y de toda la infraestructura de apoyo y los requerimientos necesarios para toda la vida útil de la instalación.

Se debe dar respuesta a interrogantes tales como: ¿Qué puede fallar?, ¿Quién lo reparará? ¿Dónde se reparará? ¿Cómo se reparará? ¿Cuándo se reparará?

Durante las fases de ingeniería y de construcción se deben establecer los planes de mantenimiento y del apoyo logístico, teniendo presente los costos del ciclo de vida como un rol importante.

La estrategia desarrollada para el mantenimiento y el apoyo logístico deben reflejar el óptimo equilibrio entre la oportunidad y costo de ciclo de vida.

La planificación del mantenimiento es el punto de partida para direccionar los elementos de apoyo logístico. Si la estrategia de mantenimiento cambia, existe una gran posibilidad que los elementos del apoyo logístico también cambien.

4.3.2 Mano de Obra

La mano de obra es el término que representa a las personas requeridas para apoyar al buen desempeño de las instalaciones durante toda su vida útil.

Para tal efecto se requiere del análisis de la mano de obra dirigido a identificar y contratar al personal con las habilidades y la calidad que se requiere.

Este análisis debiera estar enfocado a minimizar la cantidad y los niveles de destreza del personal, por cuanto es uno de los elementos principales que influye sobre los costos del ciclo de vida de la instalación.

Durante las fases del diseño, se debe tener en cuenta este factor y desarrollarlo en un marco de equilibrio entre las necesidades de mano de obra experta y los costos asociados.

4.3.3 Abastecimiento de Repuestos y Materiales

El análisis del apoyo de los suministros es el proceso para determinar, adquirir, catalogar, recepcionar, almacenar, transferir, y disponer de elementos secundarios necesarios para el manejo de estos materiales.

El proceso incluye al apoyo inicial (aprovisionamiento) y a la entrega de un servicio de post-entrega (re abastecimiento rutinario). Los esfuerzos de la logística de adquisición deben estar enfocados en la reducción de la variedad de partes a través de la maximización de la estandarización de las partes utilizadas.

El suministro involucra asegurar que los repuestos requeridos para mantener un sistema sean obtenidos sobre la base de un tiempo mínimo.

4.3.4 Equipos de Apoyo y Pruebas

Los equipos de apoyo y los equipos de prueba son todos aquellos equipos necesarios (fijos o móviles) para apoyar las actividades de mantenimiento, incluidos los equipos de izajes y transportes, las herramientas, el equipo de metrología y calibración, etc.

Idealmente, durante la fases de diseño de la instalación deberían considerarse la incorporación de elementos que permitieran el análisis y diagnóstico en línea de la fallas que se originan durante la operación. Esto permitirá, reconocer anticipadamente la posible existencia de fallas en los sistemas, utilizando el mínimo de mano de obra.

4.3.5 Datos e Información Técnica

La información técnica es toda aquella información científica o técnica (grabada en cualquier forma o medio) necesarias para mantener los sistemas de las instalaciones. Durante las fases del diseño se deben realizar los esfuerzos por perfeccionar la cantidad, el formato, y la intercambiabilidad de los datos técnicos de cada elemento que componen la instalación.

Esta situación a nivel Corporativo considera la utilización del SAP. Los requerimientos de datos, deben ser consistentes con la estrategia de mantenimiento que se defina y deben representar la cantidad mínima necesaria para apoyar eficazmente al sistema en cuestión.

La cantidad de datos y su calidad asociada debe ser considerada. La exactitud de los datos entregados también es importante. Se deben seleccionar cuidadosamente los elementos de la documentación (planos, manuales, especificaciones técnicas, etc.) que apoyarán efectivamente al mantenimiento futuro de las instalaciones. El idioma que se debe utilizar en estos documentos es un factor importante que debe ser considerado.

4.3.6 Capacitación y Entrenamiento

La capacitación y el apoyo al entrenamiento del personal incluyen el procesamiento, los procedimientos, los planes de estudios, las técnicas, los elementos de auto enseñanza, simuladores, y otros equipos necesarios para entrenar al personal para mantener las instalaciones.

Es necesario construir un gran plan de capacitación que permita mantener actualizados los conocimientos del personal involucrado, el cual deberá incluir capacitación formal (que puede ser confeccionada a través de mallas curriculares que cubran a todos los niveles de la organización) y una capacitación menos formal en terreno.

4.3.7 Instalaciones

Las instalaciones de apoyo incluyen a todas aquellas infraestructuras (talleres, casas de cambio, lugares de capacitación, etc.) necesarios para operar y apoyar el sistema.

El análisis de las infraestructuras incluye además los estudios económicos para mantener un equilibrio entre las reales necesidades y los parámetros de rentabilidad del proyecto.

4.3.8 Almacenamiento, Transporte y Manejo de Materiales y Repuestos

Este elemento incluye a todos los recursos, los procesos, los procedimientos, y los métodos necesarios para asegurar que todos los equipos, repuestos y materiales de apoyo al mantenimiento sean empaquetados, manejados, almacenados, y transportados adecuadamente. El análisis que se debe realizar al respecto incluye las consideraciones medioambientales, los requerimientos de almacenaje de corto y largo plazo, los requerimientos de transporte, y otras consideraciones para asegurar el mínimo daño a estos elementos y la infraestructura de apoyo necesaria.

4.3.9 Apoyo de Recursos Computacionales

Es casi imposible diseñar hoy en día una instalación sin considerar los aspectos de apoyo computacional y el software que lo acompaña.

Afortunadamente, la incorporación de sistemas ERP (tipo SAP u otro) y las redes de datos que existen, hace que este apoyo para los proyectos y la operación de las instalaciones, no sea un problema mayor y solo se deben considerar los aspectos que permitan que estos sistemas de información funcionen.

4.4 DESCRIPCION DE LAS TAREAS DE APOYO LOGISTICO

La implementación efectiva de las tareas de apoyo logístico que sean aplicables a través de todas las fases del proyecto es esencial para asegurar que las características de mantenibilidad y confiabilidad que se han definido sean compatibles con las necesidades de los clientes o usuarios del proyecto y cumplan con los requerimientos especificados.

Las tareas de apoyo logístico están dirigidas específicamente a incorporar las características que permitirán dar facilidad a las actividades del mantenimiento, y minimizar la detección de fallas, los accesos, las inspecciones, las reparaciones, las pruebas y los tiempos de inspección. Ellas también suministrarán los datos para ser utilizados durante la determinación de los costos del ciclo de vida de la instalación.

Las tareas de apoyo logístico, deben ser integradas a la totalidad de los aspectos técnicos del proyecto y deben ser realizadas en forma concurrente con las otras tareas de ingeniería, para permitir que las características del apoyo logístico sean diseñadas tempranamente y puedan ser evaluadas en su efectividad y costos.

Esta sección describe las siguientes tareas que pueden ser aplicadas para ayudar a definir las adecuadas consideraciones de apoyo logístico a las instalaciones del proyecto:

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Análisis de las Tareas de mantenimiento
Análisis del Apoyo logístico
Modelamiento y Análisis de la Disponibilidad
Recursos Humanos y capacitación

4.4.1 TAREA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

Esta tarea consiste en analizar los modos, efectos y la criticidad de las fallas de los sistemas y los componentes, los tiempos medios entre fallas de los equipos, los factores de mantenimiento y medio ambiente que inducen las fallas, identificar las tareas “programadas” y “bajo condición” que se deben ser realizadas a los niveles de mantenimiento y la frecuencia específica de estas tareas.

Esta tarea provee los medios para evaluar y controlar los gastos de los recursos de apoyo logístico, la seguridad del mantenimiento, oportunidad y la confiabilidad. La meta final de esta tarea es minimizar la totalidad de los gastos de recursos (por ejemplo los costos del dueño debido a la acumulación de Horas Hombre por horas de operación) utilizados en el apoyo de la operación de los equipos.

4.4.4.1.1 Descripción General

Históricamente, los programas de mantenimiento usaban mantenciones periódicas o programadas para asegurar la seguridad y confiabilidad de la, operación, así como para detectar cualquier defecto menor en la operación del sistema. El intervalo de tiempo utilizado, y los sistemas mantenidos, fueron un asunto decretado por algún organismo regulador, o el resultado de las propias políticas de mantenimiento recomendadas por el fabricante del equipo. En la medida que la confiabilidad y la seguridad fueran cumplidas, este criterio era aceptable. Sin embargo, con el aumento de la complejidad de los equipos, este criterio empezó a ser demasiado significativo en los costos de la operación de los equipos. Como resultado de ello, una aproximación analítica fue desarrollada para reducir los costos del ciclo de vida de las inspecciones de mantenimiento programadas, conservando el mismo nivel de seguridad y confiabilidad. Esta aproximación analítica es el tema que describe esta tarea.

4.4.4.1.2 Análisis RCM

El análisis del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) es un proceso sistemático de evaluación para el desarrollo u optimización de un programa de mantenimiento de una instalación industrial. En especial este análisis está orientado para identificar a aquellas actividades de mantenimiento preventivo que, de forma eficaz y eficiente, hay que realizar sobre los equipos de la instalación para alcanzar los objetivos establecidos de disponibilidad.

El análisis RCM se basa en un proceso lógico de decisión para identificar los requisitos de mantenimiento de los diferentes equipos de instalación, teniendo en cuenta las consecuencias que sobre la seguridad y la operación de dicha instalación puede tener la aparición de una falla en tales equipos.

Las bases o criterios sobre los que descansa la metodología de RCM son: Preservar la función del sistema objeto de estudio, a diferencia de los criterios tradicionales de mantenimiento preventivo que persiguen mantener la operación del equipo en sí mismo.

Esto no significa que RCM no pretenda mantener a los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, sino que los perseguirá de igual modo e intensidad en todos ellos. En este sentido, el punto de partida del análisis será la identificación de las funciones operativas que los diferentes sistemas deben cumplir. Posteriormente, se identificarán las fallas funcionales de los sistemas y equipos que contribuyen a ellos y se evaluarán las consecuencias que dichos fallas pueden provocar sobre la instalación.

Siempre que esté disponible y como fuente de información básica, se deberá considerar la información específica de la propia instalación, teniendo en cuenta que se pretende analizar a los distintos equipos del sistema en su entorno real, no en unas condiciones teóricas de diseño. Se deberán identificar potenciales modos de falla de los equipos de la instalación a partir de los requisitos históricos, la experiencia de la industria en general o uso de técnicas de análisis como los Análisis de Modos y Efectos de Fallas.

Como resultado del análisis, se identificarán las acciones apropiadas de mantenimiento preventivo, en términos de factibilidad técnica y rentabilidad económica, prestando especial interés a las fallas de los componentes críticos considerados dominantes, promoviendo el uso de técnicas de mantenimiento preventivo basadas en la condición de los equipos frente a actividades periódicas de mantenimiento, recomendando cambios de diseño o incluso eliminando acciones vigentes de mantenimiento que resultan ineficaces.

Esta tarea asegura que todos los intervalos de tiempo entre mantenciones/inspecciones provean una probabilidad de fallas aceptable para una criticidad operacional del sistema. Usando un proceso de decisión tipo "árbol", coloca las fallas funcionales del equipo en una categoría específica. Las funciones cuyas fallas no impacten la seguridad operacional, debido a la redundancia o al mejoramiento del diseño, pueden ser inspeccionadas o mantenidas "bajo condiciones", es decir, corregidas solo cuando ciertas condiciones que se detecten existan y que se indique a través de algún medio. Las funciones que son críticas y aquellas fallas que no son detectadas deben a pesar de todo estar sujetas a inspecciones/mantenciones programadas.

4.4.4.1.3 Aplicación

Esta tarea debe ser aplicada a los sistemas y componentes que pueden ser monitoreados para fallas incipientes o inminentes (por ejemplo aquellas fallas que pueden ser anticipadas, basadas en características medibles u observables).

Esta tarea puede ser realizada en cualquier fase del proyecto o durante el ciclo de vida de la instalación. Es particularmente deseable cumplir con esta tarea en la fase inicial del diseño con el objeto de incluir todos los aspectos que incidan en la inversión para el apoyo logístico.

Por ejemplo, durante la ingeniería de pre-factibilidad y la ingeniería de factibilidad, las características de diagnóstico pueden ser incluidas para apoyar a la detección de las fallas inminentes.

Una vez que el sistema inicia la ingeniería de factibilidad y de detalles, comienza una validación o evaluación de las características de confiabilidad del sistema. La lógica de decisión puede ser ahora utilizada para responder a fallas imprevistas y evaluar la necesidad de tareas de mantenimiento adicionales. Este proceso continúa durante la fase de operación de la instalación en donde los esfuerzos y fatigas de los elementos que se detectan pueden a veces resultar en recomendaciones adicionales de mantenimiento.

Esta tarea es generalmente aplicable a equipos cuya disponibilidad operacional pueda ser mejorada a través de inspecciones y mantenciones selectivas del equipo.

La profundidad del análisis dependerá de la cantidad de modos de fallas funcionales que el equipo tiene y que impactan sobre la seguridad o la confiabilidad. Mayor cantidad de partes implica una mayor cantidad de fallas potenciales con una resultante de mayores acciones de inspecciones y mantenimiento que se requieren para prevenir la ocurrencia de estas fallas.

El RCM es generalmente aplicable a los sistemas que son medianamente complejos donde se requiere una importante inversión en recursos de apoyo logístico para mantener el sistema en el estado operacional.

4.4.4.1.4 Responsable de la Tarea

Cualquier ingeniero encargado de la mantenibilidad o la confiabilidad del proyecto o dentro de la organización del cliente puede, previa una adecuada capacitación, hacerse cargo de liderar esta tarea.

4.4.4.1.5 Requerimientos de Información

Los requerimientos de información para realizar esta tarea son:

- Las especificaciones técnicas de la instalación donde se describa los detalles técnicos y los parámetros operacionales.
- Los análisis de seguridad que se hayan realizado (Hazop)
- Los requerimientos de las destrezas y tiempos para realizar la tarea.
- Estudios pertinentes sobre que instalaciones se disponen y que tipo de infraestructura tienen.
- Plan integrado de la logística de apoyo
- Vida útil del diseño

4.4.4.1.6 Resultados

El resultado del proceso de RCM es una relación de las tareas de mantenimiento que se deben realizar, las cuales se agrupan en las cuatros siguientes tipos:

- Tareas a ser realizadas bajo el concepto de mantenimiento de acuerdo a la condición del equipo.

- Tareas de mantenimiento programadas.
- Combinación de las tareas anteriores o tareas de mantenimiento enfocadas en la búsqueda de las fallas.
- Rediseño de algún aspecto de la instalación que amerite hacerlo.

4.4.2 TAREA ANÁLISIS DE LA TAREAS DE MANTENIMIENTO

Es el proceso que tiene que ver con la determinación de que servicio o tarea de reparación debe ser realizada para mantener en condiciones de operación un equipo determinado. Adicionalmente consiste en la determinación de los recursos (destrezas, herramientas, datos técnicos, etc.) que se requieren para realizar las tareas de mantenimiento.

Esta tarea permite determinar, donde es posible aplicar técnicas para mejorar el sistema de mantenibilidad. Ayuda a identificar los requerimientos excesivos y que atributos o equipos el diseñador debe considerar en las fases del diseño. Ayuda a planificar la logística y a proveer información documentada para incorporarlas en los manuales de mantenimiento, identificar el apoyo específico de equipos y los niveles de destreza del personal que se requieran, y donde se requerirán los repuestos.

4.4.2.1 Descripción

La tarea se considera cumplida cuando se determine e identifiquen las tareas de mantenimiento elementales, las cuales se componen de las acciones simples y de corta duración y mínima complejidad. Para cada una de estas actividades elementales, debe ser realizado un análisis suplementario para identificar el apoyo y los equipos de capacitación, las instalaciones, las destrezas del personal, los requerimientos de transporte especial, las reparaciones nuevas, las pruebas, los procedimientos o técnicas de inspección. Estos análisis pueden ser realizados a través del uso de modelos y la analogía con el comportamiento de equipos similares que se encuentren en operaciones similares.

4.4.2.2 Aplicación

Esta tarea debe ser realizada en todas las fases del proceso del diseño. Es recomendable iniciar esta actividad durante la ingeniería de pre-factibilidad cuando se tenga definida la alternativa seleccionada.

4.4.2.3 Responsable de la Tarea

El ingeniero encargado de la mantenibilidad del proyecto o algún analista especializado en el tema dentro de la organización del diseño o algún especialista de la organización del Cliente que se encuentre incorporado en la organización del proyecto puede realizar esta tarea.

4.4.2.4 Requerimientos de Información

Las fuentes de información que se requieren para realizar esta tarea provienen del Análisis de los Modos, Efectos y Criticidad de la Fallas realizados durante la aplicación

del RCM en el proyecto, de las limitaciones presupuestarias del proyecto, del medio ambiente del área que operará las instalaciones, de los estándares de desempeño del recurso humano, de la descripción de los equipos, y del análisis de equipos similares si es que existen.

4.4.2.5 Resultados de esta Tarea

Esta tarea entregará un conjunto consolidado e integrado de datos relacionados con la logística. Estos datos son típicamente formateados para identificar los pasos de mantenimiento y los recursos de apoyos asociados que se requieren, tales como:

- Frecuencia de la Tareas, intervalos, tiempos transcurrido o ocupados, Hombre horas
- Equipos de apoyo y pruebas
- Destrezas del personal
- Recursos críticos
- Partes de repuestos
- Equipos de capacitación
- Manuales técnicos
- Procedimientos.

4.4.3 TAREA ANÁLISIS DEL APOYO LOGÍSTICO

Es un análisis de los requerimientos de apoyo logístico que aseguren el suministro oportuno, de la calidad y costo esperado, de los recursos requeridos para llevar a cabo las tareas de mantenimiento especificadas en el diseño.

El análisis del apoyo logístico es utilizado como una herramienta de diseño del cliente y del diseñador para:

- Identificar los requerimientos de procesos de trabajo y organización requeridos para asegurar el correcto desarrollo de las actividades de mantenimiento previstas.
- Identificar los requerimientos de infraestructura (inventarios de repuestos, herramientas y equipos de medición y prueba, talleres y facilidades, equipos de apoyo, servicios externos) para llevar a cabo las actividades.

4.4.3.1 Descripción

El análisis de apoyo logístico provee una especificación de los procesos de trabajo, organización, y recursos de apoyo requeridos para llevar a cabo las actividades. La especificación de estos elementos se deduce directamente de los requerimientos dictados por las tareas de mantenimiento a ejecutar.

4.4.3.1.1 Procesos de Trabajo

El análisis de apoyo logístico deberá proveer un modelo de procesos que satisfaga los requerimientos del flujo de trabajo de mantenimiento, incluyendo la identificación,

planificación, programación, ejecución, reporte y análisis de tareas a efectuar así como la gestión del desempeño de equipos y costo de mantenimiento asociado.

4.4.3.1.2 Organización

Los roles identificados, en conjunto con la carga de trabajo especificada como resultado del análisis de las tareas de mantenimiento, sirven de base para definir la organización, dotaciones de mantenimiento, y perfil de competencias del personal requerido. El diseño de organización deberá en particular especificar:

- Estrategias de organización y Recursos Humanos a ser implantadas en el proyecto.
- Distribución de asignación de tareas entre recursos internos y externos.
- Distribución de recursos por áreas.
- Diseños de turnos apropiados para la atención de los requerimientos.
- Habilidades y conocimientos requeridos según diseño de ejecución de tareas.

4.4.3.1.3 Infraestructura de Apoyo

El análisis deberá precisar adicionalmente los recursos de apoyo que deben preverse u organizarse en soporte de las actividades, incluyendo:

- Inventarios de repuestos a mantener, para el primer año de operación así como los subsiguientes, en función del consumo previsto, riesgo de desabastecimiento, y tiempos de reposición involucrados.
- Alcance de servicios externos requeridos, incluyendo preparación de bases de licitación para suministro de dichos servicios.
- Inventario de herramientas y equipos de medición y prueba requeridos en las actividades
- Equipos de apoyo, en tipo, períodos de utilización, y fuente correspondiente.
- Configuración y carga del sistema de administración de mantenimiento SAP-PM u otro, incluyendo datos maestros, planes matrices, puestos de trabajo, codificación de artículos en el Catálogo de Materiales, y perfiles de seguridad del personal involucrado.

4.4.3.1.4 Previsión del Apoyo Logístico

Deberán tomarse las acciones, para asegurar el suministro de los elementos de apoyo logístico requeridos durante el período de desarrollo del proyecto, a fin de configurar una organización operativa efectiva, para el momento de puesta en marcha del proyecto.

4.4.3.2 Aplicación

Esta tarea se aplica a todas las fases de ingeniería del proyecto, en proporción al nivel de desglose del equipamiento propuesto alcanzado, y como proceso continuo que profundiza determinaciones de la etapa anterior. Debe en particular ser de alto énfasis durante las ingenierías de factibilidad y de detalle, donde se especifican los equipos concretos y las tareas de mantenimiento a ser incorporados al proyecto.

4.4.3.3 Responsabilidades

El cliente y el diseñador tienen una responsabilidad compartida en el análisis del apoyo logístico. En particular, es de importancia incorporar al análisis las experiencias operativas (cliente) así como las alternativas avanzadas (diseñador) de conceptos de mantenimiento que aseguren la óptima configuración para el proyecto.

4.4.3.4 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado el modelo de procesos, organización, e infraestructura requerida para el mantenimiento operativo del proyecto, incluyendo la especificación de dotación y prácticas de trabajo asociadas.

4.4.4 TAREA MODELAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD

Es la técnica usada para evaluar y proyectar la disponibilidad del sistema, la sustentabilidad y las otras medidas de la soportabilidad de los niveles de desempeño del sistema durante el proceso de diseño y de desarrollo.

Las técnicas para el modelamiento de la mantenibilidad cubren un amplio rango de métodos de aplicación. Las técnicas primarias incluyen los métodos analíticos de modelación y los métodos de simulación. Por supuesto, el alcance y el nivel de detalles de cada una de estas técnicas también varían.

4.4.4.1 Métodos Analíticos

Probablemente el método más usado y más fácilmente aplicado, para la medición de la mantenibilidad es la relación analítica que se muestra a continuación:

$$D_i = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$$

Dónde:

D_i : Disponibilidad inherente del sistema
 $TMEF$: Tiempo Medio Entre Fallas
 $TMPR$: Tiempo Medio Para Reparar

La disponibilidad operacional (D_o) representa el porcentaje esperado del tiempo que el sistema estará listo para desempeñarse satisfactoriamente en un medio operacional.

$$D_o = \frac{TMEF}{TMEF + TMD}$$

Dónde:

Do	:	Disponibilidad del sistema
TMEF	:	Tiempo Medio Entre Fallas
TMD	:	Tiempo medio de las detenciones

Un mayor detalle de estas relaciones analíticas, puede ser desarrollado usando estas mismas expresiones y expandiendo la TMPR en los elementos que la constituyen, tales como el Tiempo medio por Detenciones debido a la logística administrativa. Esta derivación, sin embargo, deja mucho que desear como un predictor de la disponibilidad del sistema, y solo debería ser usado como un comparador analítico general de las características de disponibilidad y mantenibilidad.

4.4.4.2 Métodos de Simulación

Quizás la mejor manera de estimar la disponibilidad de un sistema, considerando el impacto y los recursos de los otros elementos de apoyo tales como la mano de obra, los repuestos, las instalaciones, y los equipos de apoyo, es a través del uso de la simulación, utilizando un modelo matemático. Las tasas de fallas, los tiempos empleados para realizar el mantenimiento, la cantidad de recursos, y otros parámetros los cuales pueden ser cambiados, y medir los efectos para determinar la magnitud del mejoramiento de los cambios o la degradación del desempeño del sistema.

4.4.4.3 Aplicación

El modelamiento de la disponibilidad, generalmente es aplicado a la totalidad de los niveles del sistema del proyecto, aun cuando también puede ser aplicado solo a los niveles superiores de los sistemas.

La profundidad del análisis aumentará, en la medida que el diseño de sistema es definido con mayor detalle en las etapas del proyecto. La aplicación temprana puede ser realizada en base a análisis paramétricos de conceptos y alternativas de diseño de modo de proveer entradas a los estudios económicos. Análisis posteriores pueden ser usados para identificar áreas con problemas y las acciones correctivas a través de las modificaciones del diseño o cambios en el apoyo logístico.

4.4.4.4 Requerimientos de Información

La credibilidad de los resultados del modelo de simulación, dependerá fuertemente de la validez de los datos usados para el análisis. El desarrollo de los análisis a sistemas nuevos puede que tengan que ser realizados con datos obtenidos de sistemas similares que se encuentren en operación, en medio ambiente similar, y/o en una operación similar.

En la medida que el desarrollo del diseño progresa, la definición cada vez más detallada de los requerimientos del sistema, puede ser utilizada para corroborar la disponibilidad inherente con el objeto de relacionarla al diseño propuesto.

4.4.4.5 Resultados de esta Tarea

El modelamiento de la disponibilidad del sistema y el posterior análisis de los resultados es una tarea esencial dentro del proceso de ingeniería de un proyecto. Ello provee un mecanismo adecuado para proyectarse en la estimación y en la predicción de los niveles de desempeño de los sistemas en un ambiente operacional dado. Además, permite evaluar los requerimientos que se deben solicitar en las especificaciones para determinar si existen conflictos, si son obtenibles, y si son cumplibles, provee el medio para evaluar el diseño completo y evaluar el impacto de los cambios, provee un medio a la administración de proyecto para detectar posibles problemas, y evaluar el impacto potencial del cambio de diseño antes de su implantación.

4.4.5 TAREA RECURSOS HUMANOS Y SU CAPACITACIÓN

Esta tarea es la encargada del diseño del modelo de Recursos Humanos, con los perfiles de competencias apropiados para la operación del mantenimiento del proyecto.

Comprende la selección del personal para la organización de mantenimiento, la determinación de brechas entre competencias requeridas y disponibles, y la operativización de un programa de capacitación que cierre las brechas determinadas.

4.4.5.1 Selección de Personal

Deberá determinarse la fuente de recursos de personal para el proyecto, y establecer y aplicar un programa de selección de personal versus los requerimientos de dotación y competencias definidos.

4.4.5.2 Determinación de brechas

La selección de personal aplicada deberá entregar un perfil de competencias disponible en los recursos seleccionados, así como la brecha a cubrir versus el perfil requerido definido por las tareas a realizar.

4.4.5.3 Plan de Capacitación

Deberá diseñarse un plan de capacitación del personal seleccionado, que cierre las brechas de competencias identificadas. El plan, deberá comprender especificación de la malla curricular, desarrollo del material didáctico, criterios de certificación, preparación de instructores, y el programa de capacitación del personal específico que formará parte de la dotación.

4.4.5.4 Aplicación

Esta tarea se aplica a todo el personal y todas las competencias requeridas en la organización.

Esta tarea se aplica a todas las fases de ingeniería del proyecto, en proporción al nivel de desglose de tareas de mantenimiento especificadas.

4.4.5.5 Responsabilidades

El cliente y el diseñador, tienen una responsabilidad compartida en el análisis y diseño de dotación y capacitación asociada.

4.4.5.6 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado, la configuración de la dotación y recursos de capacitación requeridos, para asegurar las competencias necesarias para el desarrollo de las actividades de mantenimiento al nivel de desempeño comprometido.

CAPÍTULO V COSTOS DEL CICLO DE VIDA

5.1 INTRODUCCIÓN

El Análisis del Costo del Ciclo de Vida, es un método para calcular los costos de un sistema a través de toda su vida útil. El análisis de costos de un sistema típico podría incluir costos tales como todo lo relacionado con la Ingeniería de Pre-Factibilidad, los Costos de la Ingeniería de Factibilidad, de Detalles, la Construcción y la Puesta en Marcha, los costos de Operación y Mantenimiento, y finalmente los costos de cierre de la instalación.

En la Figura 5.1, se muestra una distribución de los Costos Totales del Ciclo de Vida de una instalación, donde las fases de Operación y Mantenimiento tienen la mayor incidencia en esta distribución, con una distribución de aproximadamente un 60% de los costos totales de una instalación, durante todo su ciclo de vida y de este valor el 92% está principalmente asociado a los aspectos de mantenimiento.

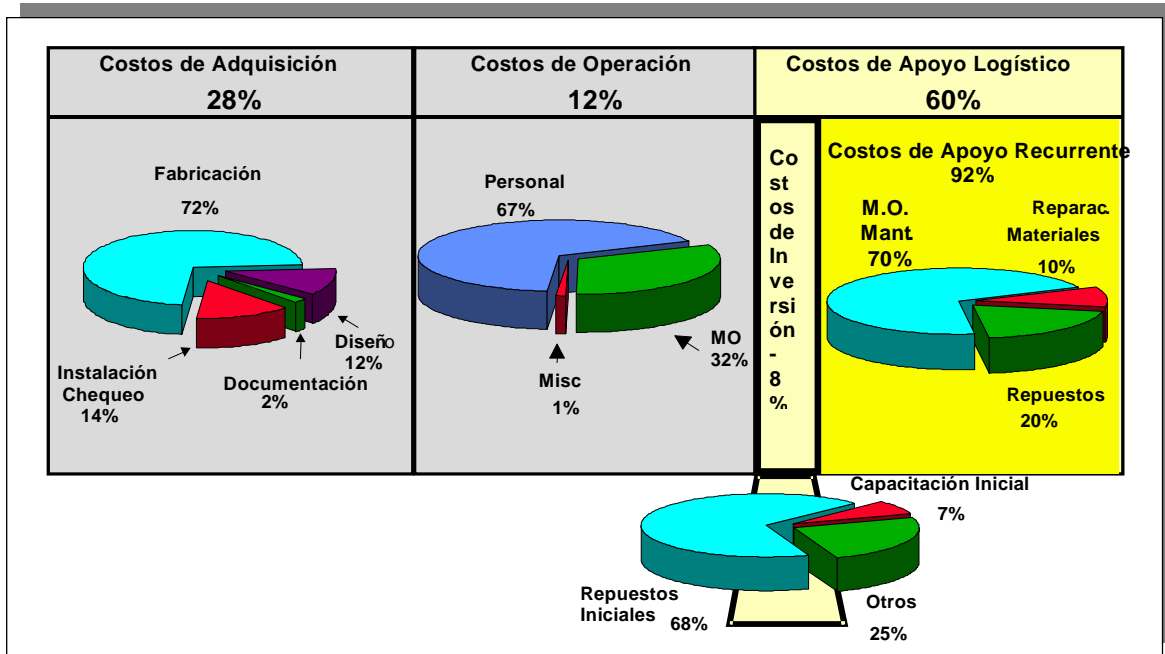


Figura 5.1 Distribución de los Costos de una Instalación durante su Ciclo de Vida

Esta situación, confirma la importancia que tiene la consideración temprana de los aspectos de mantenimiento en las fases iniciales de un proyecto, lo cual permitirá contribuir a tener un mejor control de los costos de mantenimiento durante la vida útil de las instalaciones y una mayor confiabilidad de Planta, teniendo por ende un producto con un menor costo de producción.

Este tipo de análisis, frecuentemente, utiliza datos provenientes de análisis de confiabilidad tales como tasas de fallas, costos de repuestos, tiempos de reparación, y costos de componentes. Un proyecto podría usar el análisis de los costos del ciclo de vida para determinar los costos de las garantías por ejemplo. Este tipo de análisis

podría estar basado en fallas anticipadas, tiempos de reparación, y costos de reparación. Hoy en día, este análisis es una herramienta muy útil durante la fase del diseño de un proyecto, de modo de determinar la solución más efectiva desde el punto de los costos antes que se realicen las inversiones en equipos.

5.2 La Mantenibilidad en el Ciclo de Vida del Proyecto.

Al considerar el efecto de la mantenibilidad sobre los costos, se debe tener en cuenta todos los costos asociados con el ciclo de vida del equipo o instalación, desde el nacimiento de una instalación o equipo hasta su cierre o reemplazo (es decir, los costos de la adquisición, de su operación y mantenimiento durante toda su vida útil, y posteriormente su cierre o reemplazo).

Con relación a los estudios de respaldo para proyectos de pre-inversión e inversión se debe tener presente que todos los proyectos son diferentes. Por lo tanto, es importante identificar previamente los aspectos claves que determinan el éxito durante todo su desarrollo, tales como: magnitud del proyecto, tecnología que se aplicará, ubicación geográfica, integración con otros proyectos, interferencia con la producción, condiciones climáticas, vulnerabilidad, aspectos ambientales, capacidad de ingeniería en el país, disponibilidad de recursos humanos capacitados, etc.

Un importante elemento para lograr un eficiente y efectivo diseño son las consideraciones que se deben hacer respecto de la mantenibilidad del proyecto, a través de todo el ciclo de vida del producto. En términos generales el ciclo de vida de una instalación podemos dividirlo en cuatro fases principales, las que no necesariamente se desarrollan en forma secuencial. Estas fases son:

- Fase del Desarrollo Conceptual del proyecto o Pre-Factibilidad
- Fase de Validación ó Ingeniería de Factibilidad
- Fase de Adquisición que comprende la ingeniería de Detalles, Construcción y Puesta en Marcha,
- Fase de Operación que comprende la Operación, Mantenimiento y Cierre.

Cada una de estas fases tiene asociados costos que en su conjunto forman parte del Costo Total del Ciclo de Vida de la instalación.

5.2.1 Fase de Desarrollo Conceptual

5.2.1.1 Estudio de Perfil del Proyecto

Corresponde al análisis técnico económico desarrollado para evaluar un proyecto. En su primera aproximación, debe cumplir con tres objetivos fundamentales:

- a) Definir los objetivos del proyecto
- b) Definir las macro alternativas técnicas y económicas que resuelven el problema y deben ser estudiadas.

- c) Establecer los puntos de riesgos y vulnerabilidad. En esta etapa los riesgos están identificados y es posible hacer un modelo para visualizar sus posibles incidencias.

La preparación del estudio de perfil del proyecto demanda poco tiempo y recursos y la documentación resultante contendrá las necesidades y requerimientos que resolverá el proyecto. En esta etapa de identificación es importante su definición, es decir la determinación de sus objetivos y de las alternativas más factibles para su materialización, el análisis de la línea base y/o de la situación sin proyecto. Durante este estudio, las actividades pertinentes a la mantenibilidad enfocadas a establecer, a un nivel muy macro, los requisitos para el producto final del proyecto, los cuales a los menos deberán tener definidos los siguientes aspectos:

- La cuantificación de la disponibilidad operacional que tendrá el proyecto como requerimiento.
- La incorporación de la disponibilidad operacional en una declaración formal de los objetivos y la misión del proyecto.
- La definición de los periodos de tiempos de operación a los que estarán sometidos los equipos e instalaciones, incluyendo las especificaciones de tiempos de fuera de servicio (mantenimientos y fallas).
- El análisis de los requisitos solicitados o impuestos al proyecto, de acuerdo a los datos de Operación y Mantenimiento de otras instalaciones o sistemas similares, y basados en los resultados de este análisis, hacer los ajustes de estos requerimientos de ser necesario.
- La disponibilidad operacional y la misión del proyecto para el producto final, generalmente son establecidas por el "cliente" quién normalmente representa al último usuario. Estos requisitos son desarrollados para establecer las necesidades y expectativas que el producto final debe reunir de acuerdo a lo que el usuario necesita durante la operación.

5.2.1.2 Ingeniería de Pre-Factibilidad

Este estudio busca mejorar la calidad de la información y corresponde al análisis técnico y económico desarrollado para evaluar más profundamente las macro alternativas presentadas en el estudio de perfil y definir la macro alternativa técnica y económica ganadora, lo que demanda más recursos y tiempo para estudios en terreno y de investigación.

Esta etapa exige una mayor interacción entre la preparación técnica del proyecto y su evaluación, y debe considerar el análisis de riesgo o vulnerabilidad del proyecto sobre la base de estudios de mercado, pruebas de laboratorio, modelamiento de las variables de diseño. etc.

Los presupuestos deben formularse con base en el desarrollo de una Ingeniería Conceptual en la que se incluyen cotizaciones informativas, información histórica, etc. y suelen tener una variación de más o menos el 25%, con un 90% de probabilidad de ocurrencia.

Durante esta fase, las necesidades operacionales del producto son traducidas en un conjunto de requerimientos operacionales, y las áreas de alto riesgo son identificadas. En otras palabras, el objetivo de esta fase es desarrollar y elegir el método más apropiado para satisfacer las necesidades operacionales identificadas. El método debe ser probado desde el punto de vista técnico, de la programación, y de los costos. Un plan de desarrollo del producto, implementación de planes para los métodos recomendados, objetivos de desarrollo avanzado, y cualquier otro plan debe ser preparado.

Las tareas primarias durante esta fase, son determinar los requerimientos de efectividad del producto y determinar, desde el propósito y la intención operacional del producto, las políticas de apoyo en terreno y otras provisiones que se requieran. La efectividad del producto puede ser definida como la probabilidad que el producto pueda satisfacer exitosamente una demanda operacional dentro de intervalos definidos, cuando se utilice de acuerdo a especificaciones de diseño. Las mediciones más usadas para medir la efectividad del producto son las probabilidades, el valor esperado y las tasas.

Para establecer los requerimientos de mantenibilidad de un producto, es necesario determinar las tasas de utilización del producto, los factores de tiempo de la misión, y duración del ciclo de vida del producto, incluyendo el uso del producto y condiciones de fuera de servicio. También es necesario describir las expectativas de la misión y desempeño, los modos de operación, los objetivos y conceptos generales de apoyo logístico.

5.2.1.3 Costos Asociados a esta Fase

En esta fase se deben incluir los costos asociados a los estudios de factibilidad técnica y económica; análisis conceptual de los sistemas desde el punto de vista de los apoyos logísticos; detalle del diseño; la fabricación, montaje, y pruebas y evaluación al diseño de los modelos; y la documentación asociada.

El costo atribuible a la mantenibilidad en esta fase es relativamente alto. Dependiendo de la complejidad del sistema, puede ser necesario llevar a cabo algunas validaciones tempranas al diseño que podrían fácilmente tener un impacto de alrededor de un 10% de los costos de la ingeniería de pre-factibilidad, sobre todo si se requiere hacer un diagnóstico más acabado de la mantenibilidad del sistema. Pero, se debe tener presente que las inversiones realizadas tempranamente en el análisis de la mantenibilidad de la instalación, pueden reducir significativamente los problemas operacionales y los costos de mantenimiento futuros.

La meta durante esta fase es hacer que la estimación de la inversión del proyecto, cubra todos aquellos aspectos que permitan reducir los costos del ciclo de la instalación. Es en esta fase donde se definen el futuro de estos aspectos, ya que en las siguientes fases solo se profundizarán con un mayor detalle.

El diseño de los aspectos de la mantenibilidad, deben estar necesariamente basados en los requerimientos del cliente, en el medio ambiente operacional, en las experiencias pasadas, en los datos de terreno y entrevistas, y en estudios económicos.

5.2.2 Fase de Validación o Ingeniería Básica

Corresponde a la última etapa de estudio, previa a la decisión de invertir, es decir, llevar a la aprobación final del proyecto o su postergación o modificaciones menores en su formulación. (Excepcionalmente puede llevar al descarte definitivo del proyecto por nueva información, aunque esto normalmente debe hacerse a nivel de Perfil o Prefactibilidad).

Es el análisis técnico-económico en el cual se define la Ingeniería de Factibilidad de la alternativa seleccionada en la etapa anterior, determinándose finalmente sus indicadores económicos. El presupuesto se determina en base al desarrollo de la Ingeniería de Factibilidad, con fuentes de información primaria (cotizaciones referenciales). Como consecuencia, la variación permisible del presupuesto es de más o menos 10%, con 90% de probabilidad de ocurrencia. La determinación y proyección de los costos y beneficios del proyecto deben estar basadas en precios de venta, programas de producción, presupuesto de operaciones, etc.

Durante esta fase, los requerimientos operacionales desarrollados durante la fase de ingeniería conceptual son clarificados más aun en términos de los requerimientos del producto. El principal objetivo de esta fase es asegurar que durante la fase siguiente, los costos asociados, la programación y los objetivos de desempeño y apoyos que se requieran, hayan sido preparados y evaluados con rigurosidad.

Durante esta fase las actividades de mantenibilidad incluyen:

- Desarrollo de un plan de mantenibilidad que incluya todos los aspectos contractuales.
- Desarrollo de un plan de pruebas de mantenibilidad y demostración.
- Determinación de los requerimientos específicos de mantenibilidad, confiabilidad y efectividad del producto.
- Desarrollar los incentivos y penalidades de mantenibilidad (si es adecuado).
- Coordinación y monitoreo de los esfuerzos de mantenibilidad en el proyecto.
- Desarrollar las políticas de mantenibilidad y procedimientos para esta fase y las fases siguientes del proyecto.
- Desarrollo de la planificación de la documentación para el registro de los datos, análisis y evaluación.
- Realizar y participar de los análisis económicos de predicción y asignación de mantenibilidad.
- Participación en la revisión del diseño.

En general, algunas de estas funciones, que deben ser completadas antes de la fase de construcción, son la actualización del plan de mantenibilidad para reunir los requerimientos específicos finales para el proyecto; monitorear los esfuerzos de mantenibilidad del diseñador, emitir programas detallados de las actividades de mantenibilidad, los hitos, las ordenes de trabajo, y el presupuesto, y la actualización periódica y revisión de cada uno de ellos; predecir y direccionar los requerimientos de mantenibilidad en términos cuantitativos, preparar los planes específicos de mantenibilidad para las pruebas y demostraciones, y monitorear los esfuerzos de mantenibilidad.

Además, durante esta fase, las actividades relacionadas con la mantenibilidad deben ser dirigidas a determinar la estrategia de mantenibilidad más apropiada para el producto final que se desea construir. Para ello se debe:

- Obtener los datos históricos sobre mantenimiento y operaciones, para productos que tengan una naturaleza similar al producto del proyecto en cuestión.
- Determinar las desviaciones significativas entre los productos finales de los datos históricos y el producto final planificado. Los ejemplos de tales desviaciones, incluyen el uso de nuevas tecnologías, el funcionamiento en ambientes más exigentes, tiempos de operación mayores de los requeridos inicialmente. Todo esto puede originar que se deba diseñar un producto con mayores exigencias para desarrollar, construir y operar.
- De los datos históricos y sus variaciones, seleccionar las actividades de mantenibilidad apropiadas para el producto final planificado.

5.2.2.1 Costos Asociados a esta Fase

Esta fase incluye los costos de los estudios de factibilidad técnico económicos necesarios; los costos del análisis de los apoyos de las instalaciones; los costos del diseño más detallado; etc.

5.2.3 Fase de Adquisición

5.2.3.1 Ingeniería de Detalles

El objetivo de esta fase, una vez aprobada la Inversión y el inicio de los gastos de un proyecto es:

- Desarrollar los diseños detallados de las instalaciones,
- Realizar las adquisiciones,
- Compatibilizar la ingeniería de los proveedores con las instalaciones y otros equipos del proyecto,
- Licitación y controlar los contratos de construcción pertinentes.
- Puesta en Marcha de las instalaciones

En esta fase debe controlarse el presupuesto y ajustarse a los valores reales ya comprometidos, gastados y proyectados de tal modo que cuando se inicie la construcción se tenga una precisión de entre un 5% y un 10%, con un nivel de confiabilidad de entre 85% y 90%.

Por la estrecha relación de la ingeniería de detalles con las adquisiciones, particularmente de los equipos o sistemas principales, la construcción y la puesta en marcha de los proyectos; la ingeniería de detalles normalmente incluye la asistencia técnica y administrativa para las adquisiciones, construcción y puesta en marcha. Particularmente es conveniente que el desarrollo de la ingeniería de detalles se haga de manera que se entreguen los planos mínimos para llamar a propuesta para la construcción de la obra.

5.2.3.2 Construcción

Durante esta fase el producto es fabricado, probado, entregado y en algunos casos instalado de acuerdo con los datos técnicos desarrollados en las fases anteriores. Aun cuando en esta etapa los esfuerzos del diseño de la mantenibilidad han sido completados, el diseño debería ser revisado y actualizado de acuerdo a los cambios de la ingeniería, a la experiencia que se adopte en terreno, y a las modificaciones que la logística de apoyo requiera. Los esfuerzos de la mantenibilidad en la fase de construcción incluye el monitoreo del proceso de construcción, el análisis de las formas de construcción desde el punto de vista de los efectos adversos sobre la mantenibilidad y los requerimientos de mantenimiento, evaluación de todas las proposiciones de modificaciones con respecto a su impacto sobre la mantenibilidad, aseguramiento de la erradicación de todas las discrepancias que pueden disminuir la mantenibilidad, y tomar parte en el desarrollo de las variaciones del proceso, en los errores de construcción, y otros problemas que pueden afectar a la mantenibilidad.

Las principales actividades de mantenibilidad durante esta etapa involucran el monitoreo de los equipos y sistemas, para asegurar esto se reúnen los requisitos asignados. Este monitoreo toma dos formas:

- Revisión de todo el desarrollo y documentación de todas las pruebas de sistemas y equipo mayores, identificar las áreas de problemas potenciales y verificar el funcionamiento esperado.
- Atención enfocada a los elementos críticos, incluyendo el desarrollo de pruebas especializadas para eliminar potenciales problemas o validar los requisitos.

El último producto del proceso de la construcción corresponde a la entrega de la documentación formal describiendo la forma “como fue construída” la instalación, colocando especial énfasis en los subsistemas y equipos mayores que se han identificado como críticos. El elemento importante de la entrega de esta información es la detección de cualquier desviación que se puede haber concedido durante la construcción. Esta información puede usarse en el futuro si se presentan problemas inesperados.

5.2.3.3 Puesta en Marcha

Es la etapa que corresponde a la certificación formal de cada uno de los componentes de la instalación, para verificar si reúne o excede las expectativas que se impusieron en las bases del diseño. Las actividades de mantenibilidad durante esta etapa son:

- Las pruebas formales de la instalación y las actividades para validar los sistemas tal como fueron instalados.
- El desarrollo de la documentación que sustenta la aceptación de la instalación.

5.2.3.4 Costos Asociados a esta Fase

En esta fase se deben incluir los costos de fabricación, montaje y comprobación de diseños realizados; los requerimientos de apoyo de logístico; la construcción de las

instalaciones de apoyo; los elementos de control de calidad del producto; el desarrollo de la capacitación para la operación y mantenimiento de las instalaciones, etc.

Los costos asociados con la mantenibilidad en esta fase, están relacionados principalmente con las pruebas operacionales iniciales y las evaluaciones de ellas, y las pruebas demostrativas durante la puesta en marcha.

5.2.4 Fase de Operación y Mantenimiento

5.2.4.1 Operación y Mantenimiento

Durante esta fase, el usuario coloca el producto en operación, apoyado en forma logística, y lo modifica si corresponde. Es en esta fase que los suministros, el mantenimiento, la capacitación y los requerimientos oportunos de materiales y las características del producto llegan a ser claves. Por consiguiente, aun cuando no existen requerimientos específicos de mantenibilidad, esta fase es probablemente la más significativa debido a que el apoyo logístico y la efectividad de los costos están siendo ahora demostrados y los datos de mantenibilidad pueden ser registrados para el uso de futuras aplicaciones similares.

Las actividades de mantenibilidad durante el funcionamiento de los equipos de la instalación, involucran el monitoreo de los subsistemas y los materiales utilizados con el objeto de asegurar que ellos continúan comportándose de acuerdo a lo establecido a través del tiempo. Para ello se debe:

- Establecer y mantener un registro de datos de falla, análisis y las acciones correctivas realizadas.
- Establecer y mantener un programa de mantenibilidad para el reemplazo o mejoramiento de equipos críticos.

Esto permitirá el mejoramiento continuo de la instalación y la diseminación de la información, para ser utilizada en el diseño de instalaciones similares.

5.2.4.2 Cierre

En esta etapa la instalación se desmantela con todas las actividades que corresponda. En lo que concierne a la mantenibilidad existe una sola actividad durante esta etapa:

- La recopilación de toda la documentación de "las lecciones aprendidas" durante todo el ciclo de vida de la instalación.

Esta información es para el uso en la construcción de futuras instalaciones similares.

5.2.4.3 Costos Asociados a esta Fase

En esta fase se consideran todos aquellos costos asociados al dueño de la instalación. Se incluyen los costos de apoyo a la operación, apoyo de personal de mantenimiento y operación, repuestos y materiales de reparación, elementos consumibles, almacenaje,

transporte, administración, modificaciones del diseño, control y administración del software de apoyo, capacitación y entrenamiento del personal, etc.

Durante esta fase, el registro de los datos y su seguimiento, el análisis de fallas, y los problemas de integración inicial constituyen la mayoría de costos asociados con la mantenibilidad. También deben evaluarse los aspectos de los cambios del diseño que afecten a la mantenibilidad, los cuales se traducen en costos

5.3 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DE ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA

5.3.1 TAREA ANÁLISIS DE COSTOS DEL CICLO DE VIDA

Es el proceso de analizar todos los costos de las instalaciones consideradas en el proyecto durante toda su vida útil, incluyendo los costos de cierre de la instalación. Estos costos consideran el análisis de los costos de la inversión, de la operación, del mantenimiento, y los costos del cierre de la instalación. Basada en esta idea del análisis, tres tipos de análisis se consideran:

- Análisis de Costos referencial.
- Análisis de de Costos de la evaluación económica.
- Análisis de seguimiento de los costos.

Los propósitos básicos del análisis de los costos referenciales son:

- Establecer una referencia de los costos de la instalación para un monitoreo y seguimiento futuro.
- Identificar los sistemas o equipos que tienen mayores costos.
- Estimar un presupuesto del proyecto.

El análisis de costos de la evaluación económica, permiten evaluar las diferentes opciones o alternativas para el diseño de la instalación, basada en un criterio de diseño determinado donde ya se incluye el Costo del Ciclo de Vida.

El Análisis de seguimiento de los costos realiza un seguimiento de la variación de los costos durante un periodo de tiempo determinado. El tener información de las desviaciones adversas respecto a los límites de costos establecidos en la línea base del proyecto, es una función clave de este tipo de análisis.

Existen dos clase de modelos: paramétricos y contable o bottom-up. El modelo paramétrico evalúa los costos basados en la estimación de costos relacionadas, derivadas de datos históricos. El modelo contable determina los costos usando un algoritmo detallado, para relacionar los costos de cada uno de los elementos en forma individual para las características específicas del sistema, así como de las consideraciones de mantenimiento, seguridad y medioambiente.

5.3.1.1 Análisis de Costos referencial

Consiste en obtener la información pertinente, establecer los datos de entrada, evaluar la los Costos del Ciclos de Vida y desarrollar análisis de sensibilidad para identificar los costos mas significativos o que tiene un mayor impacto en el proyecto. La información de entrada que se requiere es una función del tipo de modelo que se desea realizar: el modelo paramétrico usualmente requiere un menor detalle de los datos que el modelo bottom-up.

La selección del modelo a utilizar será determinada por el estado de información del equipo el cual determina el grado de definición de los datos para el modelo de costo. La naturaleza del proyecto y el medio ambiente de su operación y mantenimiento tienen una gran influencia sobre el tipo de modelo a utilizar. El requerimiento de datos, para el análisis de los costos del ciclo de vida referencial será compatible con la resolución de los costos requeridos para satisfacer el propósito del análisis.

Los datos deberían ser representativos de la configuración del sistema que se espera tener durante el periodo de análisis y debería tipificar el escenario futuro de la operación y del mantenimiento que tendrá la instalación. Los datos pueden ser derivados de la estimación de la ingeniería, de los análisis de detalle, de las analogías con otros proyectos similares, datos de los proveedores de equipos o datos de terreno.

Uno de los beneficios importantes del análisis de los costos del ciclo de vida referencial es la identificación en la Estructura de Descomposición del Proyecto, de los elementos con mayores costos, lo cual permite direccionar la atención constante sobre éstas áreas con el objeto de no permitir desviaciones importantes o de optimizarlas, durante el desarrollo del diseño. Los análisis de sensibilidad permiten realizar esta identificación.

El análisis de riesgos de los costos utilizando la técnica de MonteCarlo es otra forma de poder determinar también los elementos que tienen un mayor impacto en los costos del proyecto.

5.3.1.2 Análisis de de Costos de la evaluación económica

Los conceptos y proceso que se aplican para el Análisis de Costos referencial son aplicables para este tipo de análisis, pero en vez de analizar un solo sistema el propósito de este tipo de análisis es analizar diferentes alternativas que son evaluadas, comparadas y “rankeadas” utilizando parámetros económicos determinados (TIR, VAN, IVAN, etc).

5.3.1.3 Análisis de seguimiento de los costos

Este tipo de análisis debe ser realizado periódicamente durante el desarrollo del proyecto, con el objeto de actualizar la estimación de los Costos del Ciclo de Vida de la instalación y compararla con la línea base ya determinada. Los cambios debido a causa específicas, tales como cambios de equipamiento, cambios de los precios de los vendedores, cambios de escenarios operacionales, mayores requerimientos de tipo ambiental, etc., deben ser documentados de modo de establecer una relación entre la causa y su efecto posterior.

5.3.1.4 Aplicación

Esta tarea se aplica a todos los componentes y sistemas de un proyecto que requieran la determinación del Costo del Ciclo de Vida, incluyéndose la compra de equipos de todo tipo, los proyectos de construcción y el reemplazo de equipos.

El análisis temprano del Costo del Ciclo de Vida, es desarrollado durante la fase de la Ingeniería de Pre-Factibilidad, donde se aplica para definir la alternativa más beneficiosa para el desarrollo del proyecto, considerando una amplia cantidad de alternativas.

Durante la Ingeniería de Factibilidad, las diferentes alternativas de diseño son comparadas usando modelos paramétricos o modelos bottom up. Las metas de los Costos del Ciclo de Vida se determinan en esta fase. Durante la Ingeniería de Detalles se especifica el grado de definición de los costos de los sistemas analizando los elementos del nivel más bajo de la Estructura de Descomposición del Proyecto.

El seguimiento de los Costos del Ciclo de Vida, debe instituirse en esta fase de modo de monitorear el impacto que tienen los cambios de diseño, alcance sobre los equipos y elementos del proyecto.

Durante la Construcción y puesta en marcha, las actividades de análisis del Costo del Ciclo de Vida se concentran en el seguimiento del comportamiento de los equipos versus lo planeado, y en el análisis del impacto sobre los costos de cualquier mejoramiento u optimización que se realice en terreno.

5.3.1.5 Responsabilidades

Generalmente el desarrollo de la estimación de los costos de un proyecto es realizado por un ingeniero o alguna persona con un amplio conocimiento sobre el tema, relacionada con el proyecto.

El ingeniero encargado de la estimación de costos del proyecto, es el responsable de realizar el análisis de los Costos de Ciclo de Vida del proyecto. Deberá tener una alta interrelación con las diferentes disciplinas del proyecto, así como con las diferentes organizaciones que lo compondrán.

5.3.1.6 Requerimientos de Información

Los requerimientos de datos para el análisis del Costo del Ciclo de Vida, dependerán del modelo utilizado (paramétrico o contable) y el nivel de detalles que se requiera. En general, los datos de entrada pueden ser categorizados como:

- Estructura de Descomposición del Proyecto
- Costos relacionados con la operación.
- Datos relacionados con el escenario operacional.
- Costos relacionados con el mantenimiento y el apoyo logístico.
- Características del proyecto
- Factores de costos estandarizados.

5.3.1.7 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado la determinación del costo de ciclo de vida del proyecto según diseño, comprometido para la operación.

5.3.1.8 Limitaciones

Las limitaciones de un análisis del Costo del Ciclo de Vida son:

- Los resultados son un reflejo de la exactitud de los datos de entrada utilizados, luego son una estimación, la exactitud de la estimación es difícil de medir. Por lo general, existe una limitación de la cantidad de datos que apoyen el análisis.
- Los beneficios del análisis es que es una herramienta de comparación más que una medición absoluta. Debe tenerse cuidado de utilizar los resultados como una herramienta para formular presupuestos.
- Se debe aplicar sentido común para interpretar los resultados con el objeto de garantizar la credibilidad.

5.3.2 TAREA VALIDACIÓN & ACEPTACIÓN DEL COSTO DE MANTENIMIENTO CONSTRUIDO

Es la validación formal de la ejecución de los requerimientos de costos de mantenimiento, en la instalación ya construida, conducente a la aceptación del proyecto para su mantenimiento.

La validación de costos certifica, vía los procesos formales de validación de la confiabilidad y mantenibilidad del proyecto, que los parámetros de diseño de costos de mantenimiento para cada sistema, equipo o componente, así como los globales del proyecto, efectivamente se cumplen. Para tal propósito, deberá consolidarse un estimado final de costos de mantenimiento, en base al consumo previsto de recursos resultante de las tareas programadas y expectativas de imprevistos durante la operación. Este estimado final, representa el compromiso del proyecto respecto al costo de mantenimiento a incurrir para asegurar el desempeño productivo especificado.

5.3.2.1 Aplicación

Esta tarea se aplica a las fases de construcción y puesta en marcha del proyecto.

La estimación deberá ser exhaustiva en la cobertura de todo el equipamiento y todos los requerimientos de actividades de mantenimiento del proyecto.

5.3.2.2 Responsabilidades

El cliente tiene la responsabilidad principal en la validación del costo de mantenimiento, ya que constituye base para aceptación del proyecto.

5.3.2.3 Resultados

Esta tarea tendrá como resultado la certificación del costo de mantenimiento del proyecto, según diseño, comprometido para la operación.

CAPÍTULO VI CASO MINISTRO HALES

6.1 INTRODUCCIÓN

En el caso del Proyecto Ministro Hales, se aplicó el método desarrollado en los capítulos precedentes, desde la etapa de Ingeniería de Detalles, dado que cuando se inició este trabajo, esta era la fase en que se encontraba el proyecto.

6.2 ANÁLISIS DE MANTENIBILIDAD

Para realizar este análisis, se investigó a nivel de la Corporación, los procesos y equipos similares, puesta en marcha de proyectos recientes. Con ello se logró homologar los equipos del Proyecto con otros existentes.

La aplicación del método se realizará para el caso de la Planta de Chancado Primario, la cual está compuesta por:

- Chancador Primario.
- Alimentador de Correa.
- Correa Transportadora Overland

Lo que se muestra en forma esquemática en la figura 6.1

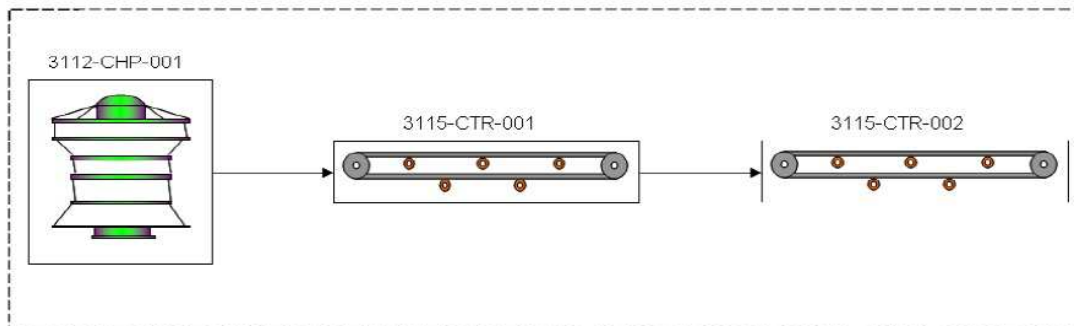


Figura 6.1 Proceso Chancado Primario

Para fines de representación en la simulación del sistema, se representa en bloques como lo muestra la figura 6.2.

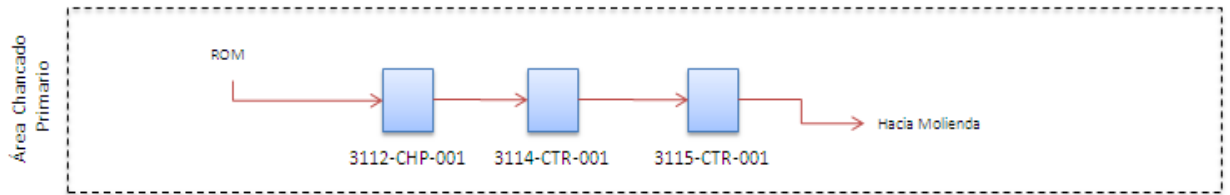


Figura 6.2 Configuración de Equipos Principales Area Chancado Primario

6.2.1 Cálculo de la Disponibilidad

Para nuestro análisis, utilizaremos la expresión de disponibilidad operacional, la cual incluye los tiempos estimados de detención por mantenimiento planificado, además de los tiempos utilizados en mantenimiento correctivos no planificados (ecuación N° 1).

$$D = \frac{T_{total} - (TiempoPM + TiempoMCF)}{T_{total}} (\%) \quad (1)$$

donde:

- TiempoPM : Tiempo Total utilizado en Mantenimiento Planificado.
- TiempoMCF : Tiempo Total utilizado en Mantenimiento Correctivo no Planificado.
- Ttotal : Tiempo total análisis.

Se considerará en cada caso las frecuencias para mantenimiento preventivo más representativas del equipo, estimando el tiempo total de detención. Por otra parte, el tiempo total utilizado en mantenimiento correctivo no planificado, es decir por eventos de fallas, se estiman a través de la suma de las indisponibilidades por fallas, las cuales a su vez son estimadas por medio de un “motor estadístico aleatorio”.

6.2.2 Curvas de Confiabilidad - Definición de Parámetros

Se cálculo los parámetros de las curvas de confiabilidad de los equipos, utilizando el Software MES.

Para llevar a cabo el análisis se realizó una búsqueda de información en SAP PM, consistente en eventos de falla para los equipos homologables al proceso productivo de Ministro Hales.

Dentro de los cálculos se determinó las curvas de confiabilidad R(t) y de probabilidad de falla F(t) en función del tiempo. Se debe tener en cuenta que la confiabilidad se encuentra directamente relacionada con la probabilidad de falla según la relación:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (1)$$

Una de las maneras más simples de representar la curva de confiabilidad, es a través de la distribución exponencial, ecuación N° 2,

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (2)$$

Este tipo de distribución es muy usado en los análisis de confiabilidad, ya que se trata de una distribución típica de sistemas en donde los fenómenos son puramente casuales, esto es, en donde las causas de las fallas son exclusivamente aleatorias y su aparición es independiente de la edad del equipo (Tasa de falla Constante).

De las diferentes funciones de distribución de probabilidades, la distribución de Weibull es la más usada en estudios de confiabilidad, especialmente de sistemas mecánicos, ya que tiene la ventaja de ser muy flexible, y adaptable a una variedad de observaciones, tales como eventos de mortalidad infantil (Alta tasa de falla en una edad temprana del componente), Tasa de falla constante (productos de eventos aleatorios) y tasa de falla creciente en una edad de vejez de los componente, comportamiento conocido como la curva de la bañera. La expresión de Weibull de 3 parámetros se muestra en ecuación N°3.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

En dónde:

β = Parámetro de forma (adimensional)

η = Vida característica (en unidades de tiempo)

γ = Vida asegurada (en unidades de tiempo)

La figura 6.3 muestra el comportamiento de la tasa de falla, en función de β , para un $\eta=2$

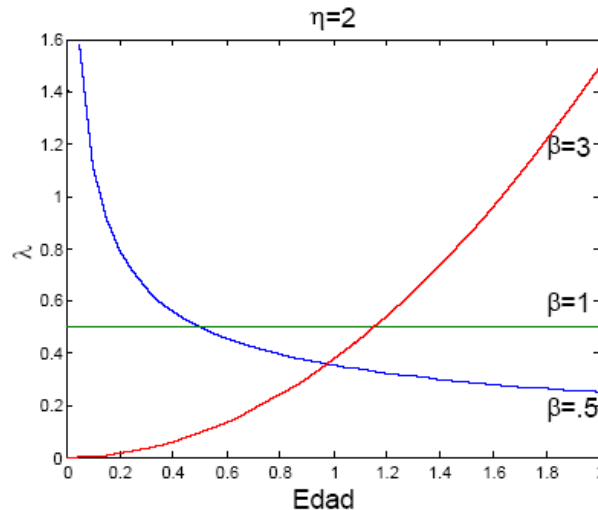


Figura 6.3 Parámetros de Weibull

6.3 ANTECEDENTES TÉCNICOS

Los antecedentes técnicos utilizados para desarrollo del análisis y estimación de la Disponibilidad y Confiabilidad, fueron proporcionados por:

- Vicepresidencia de Proyectos.
- Información recopilada desde el Sistema de Administración del Mantenimiento SAP-PM, para equipos de características similares operando, en las demás divisiones de Codelco Chile. En este punto en particular, se obtuvo información principalmente desde la División Radomiro Tomic.

En la Tabla 6.1, se muestran los equipos escogidos como representativos u homologables en su diseño, capacidad y similitud de operación a lo considerado en el proyecto.

Tabla 6.1 Equipos Homologables Utilizados para el análisis

Proceso	Nombre Equipo	Equipo Homologable	Ubicación Técnica	División
Chancado				
	Chancador Primario	Chancador RT	RMIN-CHP-CPR	RT
	Correa de Descarga	Correa Descarga SRT	RMIN-CPS-LPS-ALI	RT
	Correa Overland	Correa Overland SRT	RMIN-CPS-LPS-CTR-002	RT

6.4 CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Para el Cálculo de la Disponibilidad del Proyecto, se utilizó el programa preliminar de mantenimiento revisado hasta la fecha de emisión de este documento. Todos los cambios futuros en este, podrán actualizar los valores aquí mostrados.

Las bases de datos utilizadas para el cálculo de los parámetros de las curvas de confiabilidad, han sido depuradas para eliminar aquellas datas conducentes a error, principalmente relacionadas a antecedentes incompletos. Se debe tener en consideración que estas bases de datos no incluyen detenciones por fallas operacionales ni eventos por detenciones programadas (Mantenimiento Preventivo).

En el Anexo Bases de Datos, se presentan las bases de datos utilizadas, para cada tipo de equipo.

6.5 DESARROLLO DEL ANÁLISIS

El análisis de Disponibilidad y Confiabilidad del proyecto se realizó en el Software MES.

A partir de los registros históricos del mantenimiento de estos equipos, en SAP PM e información de usuarios (Mantenedores y Operadores), se modela el comportamiento de las fallas de equipos homólogos a los proyectados. Se obtiene, entre otros, los parámetros de ajuste de curva para las respectivas funciones de probabilidad de fallas en el tiempo, para cada equipo del proyecto. Posterior a ello, y utilizando los parámetros de ajuste de curva obtenidos, se obtiene TMEF y curvas de probabilidad de fallas de los mismos.

El parámetro Tiempo Medio Para Reparar (TMPR), se obtiene a partir del promedio de los tiempos de reparación declarados en los historiales de mantenimiento consultados.

Para los ajustes, se utilizó los métodos de Kolmogorov, Coeficiente de Correlación de Spearman, Coeficiente de Correlación Lineal y el Método de la Mínima Distancia a la Curva, comparando entre ellos el porcentaje de error en la estimación.

Para el cálculo de la Disponibilidad, se preparó un plan de mantenimiento preliminar de las instalaciones, en donde se refleja las intervenciones planificadas más significativas para los equipos, considerando duración de la parada y frecuencia.

Una vez obtenidos los valores de las curvas de confiabilidad, las frecuencias de mantenimiento y la duración de las paradas, se utiliza simulación, con una configuración de bloques, datos concernientes a la confiabilidad (TMEF), Mantenibilidad (TMPR), entre otros, que son necesarios y útiles para el cálculo de la disponibilidad de los equipos considerados por el proyecto.

El análisis mostrado en este trabajo, se centra en una primera parte en el cálculo de la disponibilidad de cada equipo, según la configuración del proyecto.

6.6 CONFIABILIDAD Y HOMOLOGACIÓN DE EQUIPOS

Chancador Primario 3112-CHP-001

Para este equipo, la información utilizada en el análisis corresponde a la División Radomiro Tomic, en el proceso de Mina, área de Chancado Primario. Esta área posee un Chancador Giratorio de similares características al utilizado en el área de Chancado de Ministro Hales.

Para el análisis de ajuste de los datos, se evaluó mediante los diferentes métodos de estimación, obteniéndose que el método Coeficiente de Correlación Lineal es el más adecuado, ya que presenta casi un 0% de error en su aproximación. Utilizando finalmente distribución de Weibull de 2 parámetros (W2), los parámetros de la curva de confiabilidad para un equipo de estas características es:

Confiabilidad	Eta	Beta
R(t)	198.1	0.6167

Los datos anteriormente mostrados se pueden también comprender al obtener la media de Tiempos entre falla y Tiempos para reparar, los cuales son TMEF de aproximadamente 289,35 horas, con un promedio de reparación de TMPR: 1,06 horas.

Correa de Descarga 3112-CTR-001

El comportamiento de la correa de descarga se estimará con información obtenida del reciente sistema puesto en marcha de Sulfuro RT (UT: RMIN-CPS-LPS-ALI). A pesar de estar en una edad temprana de vida, se han considerado aquellas fallas relacionadas con el diseño y no las operacionales.

El análisis de ajuste de los datos, se evaluó mediante los métodos de Kolmogorov, Coeficiente de Correlación de Spearman, Coeficiente de Correlación Lineal y el método de la mínima distancia a la Curva, existiendo entre ellos diferentes valores de error para el cálculo de estimación. Conforme a esto, se definió que el método de Coeficiente de Correlación Lineal es el más adecuado, ya que presenta sólo un 0.01% de error.

Conforme a lo anterior, y utilizando la Distribución de Weibull de 3 parámetros (W3), los valores de estos son los siguientes:

Confiabilidad	Eta	Beta	Gamma
R(t)	315.8	0.6287	-0.55

De acuerdo a lo anterior, el equipo tiene un TMEF de aproximadamente 369.7 horas, con un promedio de reparación de TMPR: 1,35 horas.

Correa Overland 3112-CTR-002

Durante el desarrollo de este análisis se revisó un gran número de correas que fuesen representativas en diseño y capacidad a las utilizadas en el proyecto. En esta oportunidad se decidió utilizar como referencia la correa SRT-CTR-002 del proceso de manejo de mineral chancado primario de SRT (UT: RMIN-CPS-LPS-CTR-002). Dado que este equipo lleva poco tiempo en operación y las fallas registradas muchas veces pueden estar relacionadas a un ajuste y setting de los sistemas de control, la base de datos fue revisada para considerar sólo aquellas fallas que tienen relación al normal funcionamiento de un equipo de estas características.

Conforme a lo anterior, y utilizando la Distribución de Weibull de 3 parámetros, los valores de la función de confiabilidad son:

Confiabilidad	Eta	Beta	Gamma
R(t)	131.1	0.7878	1.282

De acuerdo a lo anterior, el equipo tiene un TMEF de aproximadamente 134,98 horas, con un promedio de reparación de TMPR: 1,8 horas.

6.7 RESULTADOS

El cálculo de disponibilidad de cada equipo, que se obtiene por simulación utilizando la configuración de la figura 6.2, se muestra en la tabla 6.2. En resumen la simulación arroja una disponibilidad sistémica de 85,5%.

EQUIPOS	DISPONIBILIDAD
Chancador Primario	92,0
Correa de Descarga	97,8
Correa Overland	93,9

Tabla 6.2 Disponibilidad de Equipos

Ahora desde el punto de vista del cálculo de la confiabilidad, este análisis se hace por equipo, ya que por tratarse la confiabilidad de una función del tiempo, es más práctico obtener los parámetros de la curva y su función que entregar un valor instantáneo. Los resultados se muestran en la tabla 6.3

Área de Proceso	Tipo de Equipo	Tipo de Dist.	Eta	Beta	Gamma	Lambda	TMEF (Hrs)	TMPR (Hrs)
Chancado								
	CHA Primario	W2	198.1	0.6167	0	N/A	289.35	1.06
	CTR Descarga	W3	315.8	0.6287	-0.55	N/A	369.7	1.35
	CTR Overland	W3	131.1	0.7878	1.28	N/A	134.98	1.8

Tabla 6.3 Resumen Parámetros Curvas de Confiabilidad

6.8 CICLO DE VIDA

6.8.1 Costo Ciclo de Vida

El costo de la instalación, el que incluye los costos de adquisición y montaje bordea los veintidós millones de dólares.

Si consideramos lo indicado en el Capítulo V, el costo de adquisición bordea el 28% , el costo de operación un 12 % y el costo de Apoyo logístico es de un 60%, para un proyecto típico.

Con lo anterior, tendremos que el costo del ciclo de vida para la planta analizada será de de 79 millones de dólares, de los cuales 47 millones corresponderán a apoyo logístico (mantenimiento, repuestos, materiales).

6.8.1 Repuestos

En el caso del análisis del ciclo de vida, el análisis del proyecto incluye repuestos para iniciar la operación, sin considerar que existen equipos únicos en la Corporación, el País y Sudamérica. Además, el abastecimiento de repuestos tiene plazos prolongados de entrega (6 a 12 meses).

Con los antecedentes anteriores se hizo una revisión de los componentes del equipo, incrementando la cantidad de componentes que se adquieren para el primer año de operación, con el fin de asegurar la continuidad operacional.

De la revisión anterior se determinó que se debe considerar un costo de inventarios de 8,9 millones de dólares, el desglose se muestra en la tabla 6.4.

TIPO DE REPUESTO	COSTO (MUS\$)
CAPITALIZABLES	2.7
1 AÑO DE OPERACION	6.2
TOTAL	8.9

Tabla 6.4 Costos de Repuestos

Esto quiere decir, que el stock de repuestos al inicio de la operación, sólo considerando la Planta de Chancado, se incrementará en seis millones de dólares aproximadamente.

Entre los principales componentes, que se deben incorporar, se puede indicar los siguientes:

- Revestimiento de poste
- Bujes (araña, excéntrica)
- Excéntrica
- Contraeje
- Motores
- Poleas
- Cintas
- Otros componentes menores.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En este trabajo se determina, desarrolla y prueba un método de gestión de mantenibilidad en proyectos de inversión, el cual puede aplicarse desde la etapa de perfil hasta la operación en un proyecto de inversión.
2. El método identifica las tareas que deben ser ejecutadas en las diferentes etapas de un proyecto de inversión, además, da indicaciones de las responsabilidades que se deben asumir por las partes que intervienen en un proyecto.
3. El método se basa en la participación temprana de operadores y mantenedores de planta, lo que ayuda a disminuir los riesgos del diseño de las nuevas instalaciones.
4. La ayuda de la operación en el diseño, mejora y anticipa las necesidades de facilidades de operación y mantenimiento (accesos, protecciones, tipos de materiales, etc.).
4. El método se aplica a nivel piloto en una planta del Proyecto Ministro Hales.
5. En este trabajo se comprueba que la selección de equipos principales, se debe realizar en función del CAPEX (costo de inversión) y OPEX (Costo de Operación), considerando el costo del ciclo de vida total, en la evaluación económica y de equipos principales.
6. El método es replicable a otros proyectos de la Corporación y la Industria, dado que es independiente del tipo de proyecto.
7. Se recomienda utilizar este método desde el estudio de perfil, en el caso analizado se inicio la aplicación en la ingeniería de detalles.
8. Aplicar una metodología como la desarrollada, puede ayudar al cumplimiento de los plazos de puesta en marcha y ramp-up de la planta.
9. El anticipar mejoras de diseño y definir las en conjunto con el diseñador, con una metodología estructurada, disminuirá la lista de peticiones antes de poner en marcha y disminuirá los impactos económicos en el proyecto.
10. Las mejoras que se plantean durante el desarrollo del proyecto por operadores y mantenedores, tienen respaldo técnico y económico, y además, recogen la experiencia de otras instalaciones.
11. El uso de herramientas de simulación e historial de procesos similares, para predecir comportamientos de desempeño, ayuda a los diseñadores a mejorar los diseños y cumplir con los requerimientos iniciales del Cliente.
12. Debido a que la parte más crucial de los esfuerzos de la mantenibilidad ocurren durante el desarrollo de la ingeniería de pre-factibilidad y la fase de ingeniería de

factibilidad, es necesaria una efectiva administración del desarrollo de la mantenibilidad durante estas etapas.

13. El costo de mantenimiento de un proyecto, queda definido en las etapas tempranas (perfil, pre-factibilidad y factibilidad), donde los costos de realizar cambios aun no tienen un alto impacto, dado que se puede modificar planos y especificaciones sin mayor costo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ARATA ADOLFO
Ingeniería y Gestión de la Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales
Aplicación de la Plataforma R-MES
Primera Edición
Santiago de Chile
Editorial RIL Editores.
Enero 2009
439 Págs.
- (2) Codelco- Chile
Mejores Prácticas de Mantenimiento
[Documento interno Guía de Aplicación]
Codelco- Chile
2006
- (3) Santiago Sotuyo Blanco, Ellmann, Suerio y Asociados.
Gestión de Activos y Ciclo de Vida,
[Enero 2012]
< www.Confiabiliad.net>
- (4) Codelco Chile
Etapas de un Proyecto
[Enero 2012]
< www.codelco.cl>
- (5) Codelco Chile
Qué es la VP?
[Enero 2012]
< www.codelco.cl>
- (6) Codelco Chile
Ministro Hales
[Enero 2012]
< www.codelco.cl>
- (7) Project Management Institute
A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)
2008, Cuarta Edición, ISBN 9781933890517
14 Campus Boulevard Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299 EE.UU.

ANEXO A

TAREAS DE MANTENIMIENTO EN SAP R3

Tareas y Actividades de Mantenimiento

Para la gestión de mantenimiento, podemos identificar las siguientes tareas y actividades:

- **Administración de equipos, componentes e instalaciones:** implica crear y modificar equipos e instalaciones, generar parámetros de uso, crear jerarquías de equipos, clasificarlos y darlos de alta/baja, así como hacer el seguimiento de sus componentes.
- **Informes:** Estructuración de esquemas de informes para los equipos, los cuales deben considerar causa y síntoma; efecto y avería.
- **Consumo de materiales:** Retiro, reserva y/o devolución, son algunos de las necesidades incluidas dentro de este ámbito. La administración de materiales debe ser manejada en conjunto con el área de abastecimiento con las políticas de compras que se definan.
- **Generación y mantenimiento de estándares:** crear estándares para trabajos de mantenimiento, y en particular para trabajos repetitivos, mantenerlos o mejorarlos.
- **Administración del mantenimiento correctivo:** Los trabajos no planificados, correspondientes a actividades correctivas no planificadas y emergencias, junto con el manejo de los Avisos de Avería, son relevantes, para tener la historia de los equipos y realizar análisis de su ciclo de vida.
- **Planificación del mantenimiento planificado sistémico:** se desarrolla a través de los subprocesos de crear, modificar y eliminar pautas, rutas, ciclos y secuencias; de captar el uso de los equipos; de generar un Plan Matriz y de dar de baja los equipos obsoletos.
- **Administración del mantenimiento planificado predictivo:** el análisis de aceites en uso y de su consumo en equipos, el análisis de las vibraciones, el monitoreo continuo de los equipos relevantes y la realización de otros estudios (termografía, tribología, etc.), son las actividades que componen este ámbito. Se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar, para evitar fallas, ejemplo de esto es el caso de los equipos móviles de la mina, donde se monitorean sus "signos vitales"
- **Planificación del mantenimiento:** el planeamiento de las órdenes de trabajo, con las siguientes características: recepción de requerimientos (avisos), creación de Ordenes de trabajo, estimación de recursos (horas hombre; materiales; servicios), costo y aprobación de la órdenes.
- **Programación del mantenimiento:** el balance de carga de trabajo pendiente, su programación y la programación de las órdenes de trabajo, son las tres actividades incluídos que se consideran en este ítem.
- **Ejecución de trabajos:** comprende el control del avance de los trabajos y la imputación de los mismos, el control de calidad, el término y la entrega del trabajo a clientes, la obtención de retroalimentación, el cumplimiento de garantías de funcionamiento, y el cierre de las órdenes de trabajo.
- **Gestión de confiabilidad:** analizar, revisar, modificar, controlar de acuerdo a indicadores de desempeño (kpi's), obtener la retroalimentación desde terreno en la

aplicación de los planes, órdenes e trabajo, avisos, reservas de materiales, solicitudes de pedido de servicios, planes, rutas, etc.

Dentro de lo identificado se encuentran los siguientes procesos importantes:

- Procesos de mantención preventivos, como actividades cíclicas, entre ellas las inspecciones, como Check list de actividades; mantenciones menores y mayores como actividades por condición o parámetros, ciclos definidos o mixtas
- Procesos de mantención predictivos, como actividades de análisis de: parámetros operacionales como signos vitales, tales como viscosidad, corriente, potencia, presión, temperatura, flujo vibración; endoscópicas para acceder a lugares c/ difíciles accesos, análisis y revisión de ruidos, análisis no destructivos como tinturas penetrantes; ultra sonido, radiografía, partículas magnéticas, análisis de medición de espesores, análisis térmicos como termografía y pirometría , calibración de equipos.
- Procesos de mantención proactivos, como procesos de MCC (tales como: ajustes; inspecciones; engrases) o inspecciones puntuales no invasivas o análisis de programa operacional v/s programa de mantención.
- Procesos de mantención correctivos, como actividades no programadas tales como reparaciones modificaciones, cambios, otros; actividades de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad con elementos definidos a la falla y actividades de emergencia tales como reparaciones mayores, y cambios de componentes críticos.

Conceptos generales

A continuación se describen los principales términos utilizados para la gestión del módulo de mantenimiento en los siguientes capítulos:

- **Objetos técnicos**
Los objetos técnicos están referidos a Ubicaciones Técnicas, Equipos y Conjuntos de Mantenimiento sobre los cuales se ejecuta una acción de mantenimiento.
Se consideran además, la configuración de las listas de materiales de los objetos técnicos y la representación de la estructura a partir de una ubicación técnica específica.
- **Equipo**
Es un objeto técnico individual el cual está sujeto a acciones de mantenimiento en forma independiente. Este objeto técnico puede ser montado/desmontado en alguna Ubicación Técnica.
- **Ubicación técnica.**
Es una unidad organizativa dentro de logística que estructura los objetos de mantenimiento de una empresa de acuerdo con criterios funcionales, relativos a procesos o espaciales. Una ubicación técnica representa el lugar en el que se debe efectuar una medida de mantenimiento.
Una ubicación técnica representa un área del sistema en la que puede montarse un objeto. Los objetos que se pueden montar en las ubicaciones técnicas se denominan equipos en el Sistema SAP R/3.

Nivel	Descripción
Nivel 0 HM01	DIVISION MINSTRO HALES
Nivel 1 HMIN	MINA
Nivel 2 HMIN-EMT	EQUIPOS MOVIMIENTOS TIERRA
Nivel 3 HMIN-EMT-CAE	EQUIPOS DE EXTRACCION
Nivel 4 HMIN-EMT-CAE-FL1	FLOTA CAMION DE EXTRACCION
Nivel 5 H401	CAMION CAEX 401
Nivel 6 H401-XXX-XXX-XXX-XXX-XXX-XXX	LA MISMA ESTRUCTURACION QUE ARRIBA

Figura 1: Ejemplo de ubicación técnica

- Punto de medida**
 Los puntos de medida son emplazamientos físicos y/o lógicos en los que se describe una condición (por ejemplo, la temperatura del refrigerante en una central nuclear después de que éste haya salido del recipiente a presión o el número de revoluciones de un eje rotor en una central eólica o representa el lugar desde donde se obtendrá el grado de uso del objeto (usómetro)).
 En Mantenimiento, los puntos de medida se encuentran en objetos técnicos, es decir, en equipos o ubicaciones técnicas.
- Documento de medición**
 Los datos transferidos al sistema después de haberse realizado una medición en un punto de medida o en un contador se describen en el Sistema R/3 como un documento de medición. Esta transferencia se puede efectuar de forma automática o manual. El documento de medición es por lo tanto el resultado de una medición o de un valor de contador que se introduce en el sistema.
- Hoja de ruta**
 Se usan para estandarizar los trabajos, crear más rápido los planes de Mantenimiento, y para la planificación de las órdenes de Mantenimiento. La hoja de ruta es obligatoria para los trabajos de Mantenimiento Planificado.
- Notificación**
 En esta etapa se realiza el reporte de horas hombres trabajados, fecha y hora de inicio de una operación, fecha y hora de término de una operación. Se pueden hacer notificaciones parciales para medir el grado de avance de un trabajo.
- Aviso**
 Documento SAP en el cual se hace referencia al requerimiento en un objeto técnico que hacen las diferentes áreas de la división al área de mantenimiento. El aviso es la primera etapa que se realiza en la gestión del mantenimiento.
- Orden de mantenimiento**
 Documento SAP en el cual se planifican los recursos de mano de obra interna, servicios terceros (mano de obra externa), materiales, y se costea el trabajo que se realizará.
- Puesto de trabajo**
 Es una unidad organizativa que realiza trabajos de mantenimiento. El puesto de trabajo puede ser definido según su utilización de diferentes maneras como: Mano de Obra, Máquina, una combinación de las anteriores, etc. En el Puesto de Trabajo se define la oferta de mano de obra en determinados intervalos de tiempo, y de acuerdo a determinado programa de turnos. También en el puesto de trabajo se establece la relación con un grupo de planificación y un centro de costo con sus respectivas clases de actividad.

3 DESCRIPCION DEL PROCESO Y SUBPROCESOS

Los subprocesos que a continuación se detallan se basan en la funcionalidad que proporciona el sistema en cuanto a la formalización de requerimientos en órdenes de mantenimiento, esto es la creación de órdenes incorporando en ellas los detalles necesarios para su planificación y control posterior:

3.1 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

En este apartado se explica el organigrama funcional de DMH respecto a la gestión de mantenimiento, y las principales estructuras organizativas con las que se relaciona el módulo de gestión de mantenimiento.

La estructura organizativa corresponde a la base de la organización, desde un punto de vista funcional y no administrativo, donde se centrará la gestión del trabajo de mantenimiento. Las estructuras a considerar son centro de emplazamiento, centro de planificación del mantenimiento y grupos de planificación del mantenimiento.

3.1.1.1 Centro de emplazamiento

Desde el punto de vista de la organización del mantenimiento, toda la gestión está fundamentada en el centro de emplazamiento, el cual corresponde a una representación de una planta o un área o una faena productiva donde se encuentran instalados los sistemas técnicos.

Dentro del alcance del proyecto y desde el punto de vista de mantenimiento, se considerará como centro de emplazamiento el sitio donde efectivamente existe una administración operacional de los activos de DMH. Así, el centro en cuestión es Ministro Hales.

3.1.1.2 Centro de planificación del mantenimiento:

Asociados a los centros de emplazamientos, están los centros de planificación del mantenimiento, que corresponde a los responsables de la planificación, programación y preparación de las actividades de mantenimiento sobre los sistemas técnicos asociados.

Como centro de planificación del mantenimiento se considerará uno por cada centro de emplazamiento. Por lo cual es una planificación del mantenimiento será descentralizada y el centro de planificación del mantenimiento será Ministro Hales.

3.1.1.3 Grupo de planificación del mantenimiento

Corresponde a una subdivisión, desde el punto de vista funcional, del centro de planificación del mantenimiento para llevar a cabo las actividades de planificación. Puede ser un departamento, un grupo de empleados calificados, un taller, u otro, quienes planifican y preparan las tareas de mantenimiento. Adicionalmente, las ubicaciones técnicas y equipos en general (datos maestros de mantenimiento) son asociados a un grupo de planificación de mantenimiento.

Los grupos de planificación del mantenimiento se han considerado desde el punto de vista funcional basándonos en criterios de áreas y/o departamentos o agrupamiento de procesos, con el objeto de tener una mejor visualización de los requerimientos de mantenimiento a administrar.

Como agrupaciones tenemos:

AGRUPACIONES HM01
 H10 -> AREA MINA
 H40 -> AREA PLANTA
 H60 -> SERVICIOS PLANTA
 H80 -> SERVICIOS TRANSVERSALES

Así, los grupos definidos son,

Centro de planificación	Grupo de planificación	de	Descripción del grupo de planificación
Ministro Hales (MH01)	H11		PL. PERFORACION
	H12		PL. CARGUIO
	H13		PL. TRANSPORTE
	H14		PL. MOV. TIERRA
	H15		PL. EQUIPO APOYO
	H21		PL. AREA SERV. ELECTRICO MINA
	H31		PL. INGENIERIA MTTO MINA
	H41		PL. AREA CHANCADO PRIMARIO
	H43		PL. AREA MOLIENDA
	H45		PL. AREA FLOTACION
	H47		PL. AREA ESPESAMIENTO
	H49		PL. AREA FILTRADO
	H51		PL. AREA TOSTACION
	H53		PL. AREA TRAT. AFLUENTES
	H55		PL. AREA MANEJO CALCINAS
	H57		PL. RELAVES Y EFLUENTE
	H59		PL. AREA ACIDO
	H61		PL. INGENIERIA MTTO PTA.
H71		PL. SUNISTRO DE AIRE	
H72		PL. SUMINISTRO DE AGUA	
H73		PL. SUMINISTRO DE REACTIVOS	

ANEXO B

RESUMEN DE PRODUCTOS DE MANTENIBILIDAD

Objetivos y Productos del Desarrollo de Mantenibilidad

El programa de desarrollo de Mantenibilidad asociado a un proyecto de inversión se orienta a asegurar los siguientes objetivos:

1. Instalaciones y equipamiento completos acorde a diseño, correctamente instalados, y que funcionan en forma apropiada al ser aceptados para operación.
2. Instalaciones y equipamiento con planes de mantenimiento operativos apropiados y suficientes para asegurar el desempeño comprometido al costo de mantenimiento comprometido.
3. Organización, procesos, y recursos apropiados para asegurar el desempeño de mantenimiento de la instalación disponible, correctamente configurados, y operativizados al momento de arranque operativo de la instalación.

El aseguramiento de estos objetivos requiere la generación de los siguientes productos del programa de desarrollo de mantenibilidad de la instalación:

1. Modelo cuantitativo de mantenimiento de instalación, que documente la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, y costo de mantenimiento esperado y factores claves de control para establecer metas, detectar desviaciones, y guiar la actividad durante la vida operacional.
2. Plan de pruebas de arranque y puesta en marcha ejecutado y documentado de la instalación y equipos, que certifique la configuración, instalación, y funcionamiento apropiada de equipos para asumir la responsabilidad de su mantenimiento.
3. Plan de mantenimiento de la instalación, incluyendo planes matrices para todo el equipamiento con pautas, procedimientos, y recursos asociados, así como la tipificación de fallas y reparaciones que se espera de su aplicación.
4. Modelo de Gestión por Competencias del área, incluyendo:
 - Modelo de procesos, definiendo los procedimientos de administración y trabajo en: 1) la identificación, administración, ejecución, reporte, análisis y gestión de actividades; 2) los roles, responsabilidades, y tareas asignadas; y 3) las métricas y metas de desempeño asociadas, todo documentado en Manual de Procedimientos del área.
 - Diseño de organización apropiado a la actividad, incluyendo descripciones de cargos, perfiles de competencias, desarrollo de carrera, y convenios de desempeño e incentivos asociados.
 - Dotación de personal correspondiente a la organización especificada, plenamente capacitada y con las competencias apropiadas para las tareas asignadas.
 - Malla curricular, incluyendo especificación de cursos, material didáctico y los instructores correspondientes.
5. Inventario de repuestos capitalizables apropiado para la puesta en marcha y operación acorde a los planes de mantenimiento establecidos.
6. Herramientas, instrumentos de medición y prueba, equipos de apoyo, e infraestructura de talleres y facilidades requeridos para desarrollar las actividades.

7. Contratos de servicios con terceros para ejecución de las tareas asignadas (suministros, trabajos de mantención y/o reparación).
8. Sistema de Administración de Mantenimiento (SAP-PM), configurado y cargado con datos maestros, planes matrices, y perfiles de seguridad apropiados.
9. Convenios de servicio de mantenimiento con sus clientes, incluyendo términos de prestación, tarifas valorizadas a costo de oportunidad, y métodos de medición del desempeño convenido.

Perfil e Hitos del Desarrollo

El desarrollo de la Confiabilidad & Mantenibilidad es parte integral del desarrollo de nuevas instalaciones. La Figura 1 presenta una Carta Gantt modelo de las etapas de desarrollo de un proyecto de inversión, así como de las fases e hitos de un programa de desarrollo de mantenibilidad asociado. Estas etapas, y las actividades asociadas tanto generales como de mantenibilidad, se identifican como las siguientes:

Ingeniería de Perfil

En esta etapa, el desarrollo de Mantenibilidad está dirigido a determinar parámetros macro de mantenimiento que incidan en la factibilidad técnico-económica del proyecto, incluyendo fundamentalmente la disponibilidad y el costo de mantenimiento esperado de la instalación. Para ello, se desarrollará un análisis comparativo de instalaciones análogas referenciales que permitan sustentar los valores propuestos

En caso de que la solución contemplada involucre tecnologías sin aplicación comparable en la corporación o empresas cercanas, el análisis deberá profundizarse para establecer proyección de valores referenciales externos a la instalación prevista. Las premisas utilizadas en la proyección, así como el impacto de desviaciones posibles de estas premisas, se documentarán como factores de riesgo de la solución propuesta.

Ingeniería Conceptual

El objetivo de desarrollo de Mantenibilidad es aportar al análisis y selección de aquella alternativa de configuración de instalaciones (Procesos, Equipamiento, Tecnología, Localización, Recursos Humanos, Logística y Servicios de Apoyo, etc.) que maximice los parámetros globales de desempeño y costos del proyecto, estableciendo metas realistas de desempeño y costo de mantenimiento que satisfagan los requerimientos del cliente, y evaluando los riesgos y factores críticos de desarrollo para lograrlas. Para ello, se requieren tres tareas: 1) Análisis de Desempeño y Costo de Ciclo de Vida Referencial; 2) Evaluación de factores de desempeño y riesgo; y 3) Establecimiento de Metas de Mantenibilidad

Análisis de Desempeño y Costo de Ciclo de Vida Referencial

Comprende la determinación de parámetros de capacidad efectiva y costo de mantenimiento de instalaciones tipo para las diferentes alternativas contempladas como solución al requerimiento. Dada la definición preliminar de equipamiento, la determinación puede recurrir – en ausencia de información confiable - a modelos de instalaciones homologables en la empresa, industria local, o benchmarks de industria global, debidamente respaldados y fundamentados.

La homologación será idealmente a nivel de instalación o, en su defecto, de equipos análogos en otras aplicaciones; en este último caso, las especificaciones de equipos deberán incorporarse al modelo de proceso del nuevo diseño para determinar los parámetros globales de desempeño y costo del proyecto en su conjunto. Para efectos de cálculo, se utilizarán técnicas de análisis de redes, simulación dinámica, u otras equivalentes

El análisis estará sustentado en un modelo cuantitativo que permita posteriormente efectuar análisis de sensibilidades y/o Valor en Riesgo a distintas premisas, y deberá particularmente proveer los siguientes productos y/o resultados:

1. Modelo cuantitativo de confiabilidad – mantenibilidad – disponibilidad del sistema (configuración interrelacionada de instalaciones, procesos, equipos, etc.)
2. Capacidad efectiva de instalación resultante del mantenimiento, reflejando a) Disponibilidad nominal; b) Frecuencia de falla, capacidad perdida, tiempo para reparar, y tiempo de restitución de proceso post-interrupción; y c) Mantenimientos programados, incluyendo paros y recambio de componentes principales.
3. Costo de mantenimiento, incluyendo a) Ejecutar Planes matrices; b) Mantenimiento correctivo resultante de fallas de equipos; c) Productividad del mantenimiento; y d) Efecto de aprendizaje en efectividad y eficiencia del mantenimiento.
4. Efectos de mantenimiento en Indicadores económicos, de costos, rentabilidad del proyecto para las distintas alternativas de configuración.

Evaluación de Factores de Desempeño y Riesgo

El análisis de mantenibilidad considerará factores de riesgo en la realización de los niveles de desempeño y costo de mantenimiento a proponer, y su impacto en los parámetros globales de desempeño y costos del proyecto tales como: a) Propuesta de equipos o procesos prototipos o donde no hay experiencia análoga en la corporación; b) Brecha de desempeño esperado vs. estándares alcanzados en instalaciones operativas en la corporación; c) Otros que apliquen

El modelo cuantitativo (requerido en el numeral 3.1) se aplicará para determinar sensibilidades - del desempeño propuesto - a los distintos factores de riesgo identificados, incluyendo en particular:

- Frecuencia de falla (TMEF), particularmente en equipos críticos o cuellos de botella del proceso
- Tiempo de restitución de proceso ante falla (TMPR), particularmente en equipos críticos o cuellos de botella del proceso
- Opciones de configuración del equipamiento para asegurar confiabilidad del proceso, incluyendo redundancias, líneas de proceso en paralelo, etc.
- Efecto de desviaciones de variables de proceso en comportamiento de equipos
- Probabilidad/severidad de falla catastrófica y vida útil de componentes
- Productividad y calidad de trabajo de la organización de mantenimiento
- Niveles de producción
- Otros

Para cada variable de análisis se identificará la función de distribución de probabilidades y el rango de variación representado por al menos una desviación

estándar de la distribución con respecto al valor esperado, ilustrando el comportamiento de la capacidad efectiva, costo de mantenimiento, costos de operación, indicadores económicos y de rentabilidad del proyecto, en función del grado de desviación del factor considerado. Para aquellos proyectos cuyo monto inversiona supere los kUS\$ 10.000 se realizará complementariamente un análisis de valor en Riesgo (Value at Risk).

Establecimiento de Metas de Mantenibilidad

Como conclusión del análisis anterior, se establecerán las metas de capacidad efectiva y costo resultantes de actividades de mantenimiento de la instalación que cumplan con los estándares de estimación de la etapa del proyecto, es decir precisión de 25% y probabilidad de ocurrencia de 90%.

Dichas metas deberán estar sustentadas en el análisis cuantitativo que refleje las premisas de confiabilidad, mantenibilidad, y disponibilidad asumidas, así como en la sensibilidad de las variables a desviaciones posibles en estos parámetros. En caso de riesgos, de alta incertidumbre, o de significativa vulnerabilidad de resultados a las premisas, deberán documentarse las estrategias previstas para su control e incorporarse como bases de diseño de la alternativa planteada.

Ingeniería Básica

En esta etapa comienza a especificarse la configuración de equipos y proceso – sobre la base de la alternativa recomendada en la Ingeniería Conceptual - para materializar el requerimiento. El objetivo de desarrollo de Mantenibilidad está entonces dirigido a 1) asegurar que el equipamiento propuesto cumpla los requerimientos del proceso, considerando experiencias y lecciones aprendidas que promuevan su mejor mantenimiento; 2) desarrollar un perfil de procesos y actividades de mantenimiento que cumplan las metas de desempeño y costo establecidas; 3) establecer el perfil de recursos de personal, materiales, repuestos, servicios y facilidades requeridos para realizar las actividades; 4) definir las bases de diseño de organización, personal, procesos, y tecnología involucrados (ver normativa corporativa de RR. HH.); 5) actualizar y confirmar las metas de desempeño y costo de mantenimiento planteadas en etapas anteriores; y 6) establecer un plan macro de prueba y certificación del equipamiento de la instalación. Las actividades requeridas para lograr estos objetivos se detallan en secciones siguientes

Evaluación de Desempeño de Planta

Análisis de Confiabilidad & Mantenibilidad de Configuración

Se efectuará un análisis de la configuración de equipos propuesta, dada su asignación de funciones y contexto operacional, para precisar el desempeño esperado de la instalación, así como identificar opciones de mayor confiabilidad & mantenibilidad en la especificación de los equipos involucrados. En cada sistema o equipo principal se especificarán las expectativas de:

1. Mantenibilidad, en duración o tiempo de reparación de interrupciones programadas e imprevistas para servicio al equipo.
2. Confiabilidad, en frecuencia de interrupciones probables en la operación, tanto programadas como imprevistas.
3. Disponibilidad, resultante de la combinación de los factores anteriores.

4. Costo de mantenimiento, incorporando tanto las actividades programadas como las expectativas de imprevistos del diseño.

Dado que los parámetros de desempeño (particularmente la Confiabilidad) no son determinísticos sino probabilidades, deberá especificarse tanto el valor esperado (más probable) de los parámetros así como la función de distribución de probabilidades y el rango de variación representado por al menos una desviación estándar de la distribución. La especificación de parámetros individuales por equipos (confiabilidad, mantenibilidad, costo de mantenimiento) se combinará acorde a la configuración del proceso para establecer parámetros correspondientes a la instalación como conjunto, considerando las alternativas de flujo de proceso permitidas por el diseño. Esta combinación deberá en particular precisar la capacidad efectiva de producción resultante de la mantenibilidad de planta.

Análisis de Focos Críticos y Sensibilidades

El modelo cuantitativo, anteriormente indicado, se someterá a un análisis de riesgos y sensibilidad, que identifique factores de riesgo así como oportunidades para optimizar el diseño y rendimiento, reducir incertidumbre, o minimizar costo de vida de la instalación. En particular, el análisis debe comprender consideración de:

- Identificación de prototipos o equipos especiales donde no existe experiencia previa, y las acciones y/o recursos particulares para asegurar el control de su comportamiento;
- Opciones de configuración de equipos para asegurar confiabilidad del proceso, incluyendo incorporación de redundancias, diseños robustos, etc., así como de la mantenibilidad asociada, identificando alternativas de menor impacto en mantenimiento y la evaluación comparativa de costo de inversión vs. costo de vida del equipo;
- Opciones de distribución geográfica y espaciamiento de equipos que permita intervenciones efectivas en caso de falla o requerimiento de servicio;
- Opciones de señalización y control automático, con protección ante falla catastrófica así como monitoreo sintomático y/o remoto que posibilite medir y evaluar el comportamiento dinámico de los equipos y minimice requerimientos de inspección física del equipo

Las alternativas de diseño identificadas se someterán a un análisis técnico-económico que determine la opción más rentable en virtud de: 1) capacidad efectiva de la instalación; 2) costo de inversión involucrado; y 3) costo de mantenimiento durante la vida útil; 4) costo de operación. Las alternativas aceptadas serán incorporadas al diseño, y los parámetros de mantenibilidad de sistemas, equipos, e instalación global actualizados a la configuración propuesta. La incorporación de las conclusiones de este análisis deberá certificarse en planos de diseño con el sello de “Aceptado por Mantenimiento”.

Diseño Básico de Planes de Mantenimiento

Los parámetros de confiabilidad y mantenibilidad definidos para la instalación y sus sistemas y equipos componentes – con base en el modelo cuantitativo optimizado - deberán luego sustentarse con el diseño de planes matrices de mantenimiento que

cumplan las especificaciones de desempeño planteadas. Para cada sistema o equipo principal se especificará un plan matriz que comprenda:

1. Tareas (inspecciones, preventivos y reemplazos programados de componentes),
2. Frecuencia de las tareas,
3. Duración de las tareas,
4. Recursos, incluyendo número y tipo de personal, materiales y repuestos, herramientas y equipos de apoyo, servicios de terceros,
5. Probabilidad de falla imprevista remanente después de aplicación del plan matriz, incluyendo: a) Tipo de falla esperada; b) Probabilidad de la falla; c) Duración de reparación; y d) Recursos de reparación, incluyendo personal, materiales y repuestos, herramientas y equipos de apoyo, servicios de terceros.
6. Efecto de arranque y aprendizaje, conduciendo a mejoras de efectividad y eficiencia del plan vía el mejoramiento continuo y desarrollo de experiencia con el equipamiento.

Los planes matrices individuales de sistemas y equipos serán integrados en un plan matriz global de la instalación, considerando secuencia y/o consolidación de tareas y la nivelación óptima de recursos que cumpla los requerimientos de desempeño de mantenibilidad. El plan consolidado definirá el cronograma de actividades y recursos asociados requeridos sobre la vida útil de la instalación.

Carga de Trabajo de Mantenimiento

El plan matriz especificará el perfil de la carga de trabajo de mantenimiento asociada al desempeño de la instalación, incluyendo la cantidad, oportunidad, y tipo (especialidad) de recursos de ejecución requeridos, y separando carga estable vs. eventos puntuales (paros de planta). La carga de trabajo definida constituye la base para establecimiento de la organización, dotación, y/o servicios tercerizados requeridos para el mantenimiento de la instalación.

Repuestos de Arranque, Operación y Componentes Capitalizables

El plan matriz especificará también el perfil de elementos de reemplazo (repuestos y componentes) requeridos durante el arranque y operación de la instalación, incluyendo especificación de la cantidad, oportunidad, y tipo de los repuestos involucrados. Los repuestos y componentes de reemplazo se homologarán con el Catálogo Maestro de Materiales divisional para determinar los artículos a catalogar y la necesidad de inventariar en función del riesgo de falla y tiempo de adquisición.

Los elementos de reemplazo a inventariar se segregarán en componentes capitalizables (activo fijo según valor acorde a lineamiento corporativo) y repuestos de capital de trabajo de la instalación. Se precisará el capital a invertir en elementos de reemplazo y el costo de mantenimiento de este inventario como componente del costo de mantenimiento de la instalación.

Modelo de Proceso, Organización y RR.HH.

Organización y RR.HH.

La carga de trabajo de mantenimiento definida constituye la base de especificación de recursos y organización requerida para realizarla. Los productos del análisis dotacional conformarán a los requerimientos de la normativa corporativa de RR.HH. para proyectos de inversión (véase Procedimiento- Gestión RR.HH. en Proyectos de Inversión).

Proceso y organización meta

Se definirá el modelo de procesos de mantenimiento de la instalación como particularización del modelo PMPM corporativo, incluyendo aspectos de a) Gestión técnica de desempeño vía la Ingeniería de Mantenimiento; b) Administración y organización del flujo de trabajo vía modelo de Gestión Interna de Mantenimiento; c) Sistemas administrativos vía modelo de Sistemas de Gestión de Mantenimiento; d) Gestión económica vía Modelo de Negocio de Mantenimiento; y e) Gestión de calidad vía Modelo de Mejoramiento Continuo de Mantenimiento.

En adición, se especificará la estructura organizacional prevista, documentada en un organigrama correspondiente, e incluyendo definición de a) Organización de recursos (por área, especialidad, etc.); b) Funciones, roles y responsabilidades; c) Niveles de supervisión; y d) Asignación de dotación.

Infraestructura y Sistemas de Apoyo

Se identificarán los elementos de infraestructura requeridos para desarrollar las actividades, comprendiendo:

- Facilidades de talleres, laboratorios, y bodegas
- Equipos de apoyo y herramientas
- Espacio de oficinas y otras

Costo y Desempeño del Mantenimiento

Los parámetros de desempeño del mantenimiento propuestos en la Ingeniería Conceptual se actualizarán acorde a las decisiones de diseño, afinando las metas a una precisión esperada del 10% con 90% de probabilidad de ocurrencia. Asimismo, se actualizarán los estimados del costo de mantenimiento esperado de la instalación valorizando la ejecución de los planes matrices y nivel remanente de imprevistos planteado.

Lineamientos de Diseño

Comprende la especificación de lineamientos de diseño que aseguren la posterior mantenibilidad, confiabilidad, y seguridad de equipos y personal que los interviene.

Diseño para Mantenibilidad

Se establecerán lineamientos de configuración de equipos para asegurar su mantenibilidad posterior como guía al equipo de diseño. Para cada tipo de equipo involucrado, se especificarán factores de acceso, ergonómicos, manejo, etc. que promuevan su mejor mantenimiento.

Diseño para Confiabilidad

Se establecerán lineamientos de configuración de equipos para asegurar su confiabilidad posterior vía aplicación de técnicas preventivas y predictivas/sintomáticas, como guía al equipo de diseño.

Diseño para Seguridad y MedioAmbiente

Se establecerán lineamientos de configuración de equipos que aseguren protección del equipo, las personas, y el medio-ambiente, acordes a normas corporativas vigentes, como guía al equipo de diseño.

Plan de Desarrollo, Validación y Puesta en Marcha

Plan de Validación y Puesta en Marcha

La planificación de actividades de prueba, certificación y puesta en marcha del equipamiento para asegurar su mantenibilidad durante la posterior operación, comprendiendo:

Procedimientos de Validación - para cada sistema o equipo planteado en el diseño, se especificarán los criterios y procedimientos de validación de 1) configuración del equipo; 2) instalación del equipo; 3) prueba en frío (sin carga) del equipo; y 4) prueba en caliente (con carga) del equipo. Se elaborará un formato de bitácora de certificación de equipos a aplicar durante la construcción y puesta en marcha.

Plan de Validación – se desarrollará un plan de actividades de certificación del diseño y construcción comprendiendo las tareas, duraciones, recursos, e hitos de certificación asociado al desarrollo de la Ingeniería de Detalles, Construcción y Puesta en Marcha de la instalación. Dicho plan deberá especificar la organización y recursos requeridos para llevar a cabo las actividades previstas.

Desarrollo de Planes de Mantenimiento

Se establecerá la planificación de recursos y actividades para desarrollar los planes de mantenimiento detallados asociados a las configuraciones de equipamiento específicas que vayan surgiendo del diseño detallado de la instalación, así como el suministro de materiales, servicios, facilidades y equipos derivados y la operativización de los mismos vía carga y activación en el sistema de mantenimiento (SAP-PM).

Desarrollo de Organización y Procesos de Mantenimiento

Se establecerá la planificación de recursos y actividades para el diseño detallado, desarrollo y operativización de la organización, personal, y procesos y procedimientos de mantenimiento de la instalación.

Ingeniería de Detalles

En esta etapa se detalla la configuración aprobada por el cliente y se adquieren los equipos de la instalación, así como se licitan los procesos de construcción asociados. El objetivo de desarrollo de Mantenibilidad está entonces dirigido a 1) asegurar que el diseño detallado sea óptimo para su eventual mantenimiento; 2) desarrollar planes detallados de mantenimiento para la configuración específica de equipos, incluyendo suministro de materiales, servicios, y herramientas y equipos de apoyo involucrados; 3) planificar en detalle la prueba y certificación del equipamiento; y 4) desarrollar el diseño detallado de organización, procesos, personal y sistema de capacitación de mantenimiento de la instalación. Las actividades requeridas para lograr estos objetivos se detallan en las secciones siguientes.

Desarrollo Técnico

Requerimientos de Diseño

Se especificarán los requerimientos detallados de diseño por equipo, acorde a los lineamientos establecidos en 4.4.1, que aseguren la posterior mantenibilidad, confiabilidad, y seguridad de equipos y personal que los interviene. Para cada elemento del equipamiento, se establecerán requerimientos específicos de diseño apropiados para la función, comportamiento esperado, ubicación y condiciones de instalación contempladas.

Validación de Diseño

Se revisarán y validarán los productos del diseño detallado de la instalación y su equipamiento para asegurar su óptima mantenibilidad. Los productos a validar comprenden al menos: 1) planos de diseño; 2) especificaciones de equipos; y 3) especificaciones de construcción. Se mantendrá una bitácora de productos liberados bajo esta validación, y los productos aceptados llevarán un sello de “Aceptado por Mantenimiento”.

Asimismo, la solicitud, análisis, y negociación de ofertas de proveedores de equipamiento incorporará los requerimientos de diseño especificados así como la consideración proactiva de opciones y alternativas de configuración que puedan ser sugeridas por los proveedores para contribuir al mejor mantenimiento de los equipos. Se mantendrá una bitácora de opciones de configuración de equipamiento consideradas, así como de la justificación de su eventual aceptación o descarte.

Esta actividad deberá incluir participación activa del cliente, especialmente en la evaluación y validación técnica de ofertas.

Desarrollo de Planes de Mantenimiento

A medida que los diseños de equipamiento se vayan liberando durante la Ingeniería de Detalles, se irá estructurando la base de datos de equipamiento susceptible de posterior carga en SAP-PM.

Arbol de Equipos – desglose de la instalación en estructura jerárquica de equipos y componentes hasta nivel del menor elemento individualmente mantenible. Cada

elemento se codificará, y se le adosará ficha técnica y datos de soporte (contadores, lista de materiales, documentos y manuales) asociados acorde a directrices de caracterización del modelo PMPM.

Análisis MCC de Equipos – para cada elemento del árbol de equipos se desarrollará un análisis MCC para definir las tácticas de mantenimiento más apropiadas acorde a las directrices del modelo PMPM. El análisis proveerá, en adición a las tácticas de mantenimiento, un listado de funciones, modos de falla, causas raíces, y efectos de falla, que se catalogará e incorporará a la documentación del árbol de equipos.

Integración de Planes Matrices y Recursos de Mantenimiento – las tácticas del análisis MCC se concretarán en pautas detalladas con frecuencias y bases de activación, tareas, procedimientos y recursos asociados. Las pautas de equipos y componentes asociados se consolidarán para rendir planes matrices integrales del equipamiento. A su vez, los recursos (personal, materiales y repuestos, herramientas y equipos de apoyo, servicios) se codificarán acorde a nomenclatura SAP (códigos del Catálogo Maestro de Materiales, etc.) y se especificarán los atributos requeridos para eventual carga en el sistema.

Adquisición de Recursos

Se asegurará el suministro de los recursos materiales y de servicios requeridos por los planes matrices, ya sea vía adquisición o recurso a capacidades existentes de la división, incluyendo:

- Repuestos – ordenes de compra de repuestos de arranque y primer año de operación, ya sea como inventario nuevo o complemento a inventario divisional
- Herramientas – ordenes de compra de herramientas e instrumentos de medición y análisis
- Equipos de apoyo – ordenes de compra/convenios de arriendo de equipos de apoyo a las tareas
- Contratos de servicios – licitación de contratos de servicios a tercerizar

Carga SAP

El árbol de equipos y datos maestros asociados, así como los planes matrices del equipamiento serán cargados en el sistema CMMS (SAP-PM), ajustados a la configuración establecida del sistema.

Datos Maestros – el árbol de equipos con identificación de cada uno de sus elementos, así como datos técnicos asociados (ficha técnica, contadores, y lista de materiales). La identificación y atributos de materiales, repuestos y herramientas nuevas en la división se cargará en el Catálogo Maestro de Materiales, incluyendo asignación de código de artículo y parámetros de gestión correspondientes.

Planes Matrices – se cargarán los planes matrices, con identificación de estrategias, parámetros de activación y hojas de ruta correspondientes.

Plan de Prueba y Aceptación

Se desarrollará un plan detallado de prueba y aceptación del equipamiento, incluyendo verificación de: 1) instalación; 2) configuración; 3) pruebas en frío; 4) pruebas en caliente; y 5) certificación.

Procedimientos de prueba de equipos – los criterios y procedimientos genéricos por tipo de equipo definidos en la Ingeniería Básica se particularizarán a la configuración final, especificando los puntos concretos de validación, tolerancias, posiciones, etc. Se elaborará para cada equipo una guía de inspección (checklist) y prueba que detalle:

- Validación de instalación, verificando que el equipo está completo y correctamente instalado acorde a diseño, comprendiendo en particular los requerimientos de acceso, visibilidad y espacio de trabajo asociados a la mantenibilidad del equipo.
- Validación de configuración, incluyendo particularmente los aspectos de energización, señalización y control asociados
- Prueba en frío (sin carga) del equipo, comprendiendo en particular facilidad de intervención del equipo, inspecciones y mediciones previstas con equipo operando.
- Pruebas en caliente (con carga) del equipo.
- Certificación formal de aceptación del equipo para mantenimiento.

Plan de prueba y aceptación – se establecerá un plan detallado de actividades e hitos de la validación y prueba de equipos, coordinado al plan de construcción y arranque, incluyendo la asignación de recursos de personal y herramientas, instrumentos y equipos de prueba a las tareas a realizar.

Desarrollo Organizacional

Comprende el diseño detallado de la organización, recursos, y procesos operativos de mantenimiento de la instalación.

Modelo de Proceso Operativo

Se particularizará el Modelo PMPM de Gestión Interna de Mantenimiento al contexto operativo de la instalación, especificando el flujo de trabajo y gestión previsto, los roles y responsabilidades involucrados, y las herramientas de control de gestión asociadas.

Flujo de Trabajo – se detallará el flujo de trabajo esperado desde la generación de demanda (planes matrices, inspecciones, avisos, proyectos), su procesamiento y ejecución, y la entrega y aceptación del servicio, incluyendo cargas de trabajo esperadas, ciclos de procesamiento, e indicadores de control de gestión a utilizar. Los procedimientos se documentarán en el Manual de Procedimientos de la organización.

Roles y Responsabilidades – se detallarán los roles requeridos en la administración y ejecución del flujo de trabajo, incluyendo asignación de recursos por área, funciones, alcances y responsabilidades.

Procedimientos administrativos – se detallarán los procedimientos administrativos y de gestión de la organización, incluyendo estructura financiera (centros de costo), control

presupuestario, administración del personal y de contratos, etc. Los procedimientos involucrados se documentarán en el Manual de Procedimientos de la organización.

Tablero de Control – se definirán los tableros de control para gestión de la organización, incluyendo indicadores y metas para cada unidad organizacional, así como los informes de apoyo requeridos para su funcionamiento.

Estructura organizacional

Se detallará la estructura organizacional, puestos de trabajo, y perfiles de competencias acorde a requerimientos de la normativa corporativa de RR.HH. para proyectos de inversión.

Sistema de Capacitación

Se desarrollará el sistema de capacitación requerido para formación del personal, incluyendo malla curricular, material didáctico, y formación de instructores, acorde a requerimientos de la normativa corporativa de RR.HH. para proyectos de inversión.

Selección de personal

Se desarrollarán los programas de captación y evaluación del personal de mantenimiento acorde a requerimientos de la normativa corporativa de RR.HH. para proyectos de inversión.

Carga en SAP o CMMS

Se cargará en SAP-PM la estructura organizacional correspondiente y se asociará a los datos maestros técnicos de equipos.

Estructura organizacional – se cargará la estructura de centros de costo, puestos de trabajo, centros de planificación, etc. y se asociará a los equipos de su responsabilidad.

Informes de Gestión – se configurarán los informes de gestión requeridos por cada cargo y tablero de control en la organización

Perfiles de seguridad – se habilitarán los perfiles de seguridad asociados al alcance de acción de cada persona y cargo involucrado en la organización.

Ejecución y Puesta en Marcha

En esta etapa se construyen las facilidades, se instalan y prueban los equipos, se capacita y entra en funciones la organización operativa, y se pone en marcha la instalación como proceso productivo. Los objetivos de Mantenibilidad están entonces dirigidos a: 1) asegurar que el equipo está correctamente instalado, configurado y funcionando como para asumir la responsabilidad de su mantenimiento; y 2) operativizar la organización, procesos, y sistemas de administración del mantenimiento de la planta.

Ejecución de pruebas y aceptación de equipos

Comprende la certificación de la apropiada instalación, configuración, y funcionamiento del equipamiento de la instalación. La satisfacción de todos los requerimientos de prueba del equipamiento conducirá a la aceptación formal de mantenimiento de la instalación.

Inspección de instalación

Se certificarán las condiciones de instalación de equipos acorde al diseño, incluyendo particularmente aspectos de acceso, visibilidad, espacio, y facilidades de trabajo para mantenimiento. Se certificará adicionalmente la configuración del equipo instalado acorde a diseño, incluyendo el accionamiento de señalizaciones, controles, y de sistemas auxiliares. Discrepancias serán documentadas para corrección previa a la entrega de la instalación.

Pruebas en frío

Se certificará el correcto funcionamiento de cada equipo instalado sin carga de proceso, acorde a sus parámetros de diseño y a las pruebas de validación especificadas. El resultado de las pruebas se documentará en la bitácora de prueba del equipo, identificando desviaciones del desempeño esperado para su corrección previo a la entrega de la instalación.

Pruebas en caliente

Se certificará el correcto funcionamiento de cada equipo instalado bajo condiciones de carga de proceso, acorde a sus parámetros de diseño y a las pruebas de validación especificadas. El resultado de las pruebas se documentará en la bitácora de prueba del equipo, identificando desviaciones del desempeño esperado para su corrección previo a la entrega de la instalación.

Capacitación del personal

Se ejecutará el programa de capacitación diseñado para el personal de la organización, certificando el logro de las competencias requeridas en cada cargo de la organización.

Contratos de servicios externos

Se negociarán y adjudicarán contratos para cada uno de los servicios externos identificados y licitados como apoyo al servicio de mantenimiento de la instalación.

Convenios de servicio

Se acordarán convenios de servicio con cada cliente y proveedor interno de la organización de mantenimiento, especificando los productos, términos, y tarifas de los servicios convenidos.

Activar SAP o CMMS

Se activarán los procesos y planes matrices en SAP-PM a fin de iniciar el seguimiento operativo de las actividades de mantenimiento.

Operativizar organización

Se activarán los procesos operativos y flujo de trabajo y gestión de mantenimiento para asumir responsabilidad plena por la conservación de la instalación.

Etapa	Actividades de Proyecto	Tareas de Mantenibilidad	Productos de Mantenibilidad
Ingeniería de Perfil	Análisis técnico-económico para evaluar factibilidad de proyecto	Análisis Referencial de Desempeño Identificar factores de riesgo	Parámetros macro de disponibilidad y costo de mantenimiento
Ingeniería Conceptual	Evaluación de parámetros macro de diferentes alternativas para materializar requerimiento de proceso; se establecen metas de efectividad operacional y costo operativo con precisión esperada de 25%.	Análisis de Desempeño y Costo de Vida Evaluar factores de desempeño y riesgo Establecer Metas de Mantenibilidad	Metas de disponibilidad efectiva y costo unitario de mantenimiento por homologación a instalaciones referenciales (análogas o benchmark).
Ingeniería Básica	Definir bases de diseño de alternativa seleccionada; se formaliza el diseño de proceso, especificación referencial de equipos primarios, presupuesto de inversión, y parámetros de desempeño, costos y beneficios como base de evaluación económica con precisión esperada de 10%.	<i>Análizar Mantenibilidad y focos críticos</i> <i>Diseño básico de planes de Mant.</i> <i>Carga de trabajo, materiales y servicios</i> <i>Definir procesos, organización y RR.HH.</i> <i>Definir lineamientos de diseño de equipos</i> <i>Establecer desempeño y costo de Mant.</i> <i>Planificar prueba del equipamiento</i>	<i>Perfil meta de actividades, carga de trabajo, desempeño y costo de mantenimiento.</i> <i>Bases de diseño de organización, procesos, infraestructura y tecnología para realizarlas;</i> <i>Plan macro de prueba y aceptación del equipamiento.</i>
Ingeniería de Detalles	Una vez aprobada la inversión, desarrollar los diseños detallados de las instalaciones, adquisiciones de equipos, y licitar los contratos de construcción correspondientes. La configuración final de diseño queda definida y documentada, incluyendo el desempeño y costo de operación y mantenimiento.	<i>Especificar requerimientos detallados de diseño de equipos</i> <i>Validar diseño y adquisición de equipos</i> <i>Desarrollar árbol de equipos, tácticas MCC, y planes matrices de equipos</i> <i>Adquirir recursos de ejecución</i> <i>Diseñar organización y procesos de trabajo</i> <i>Cargar datos maestros y planes en SAP-PM</i> <i>Validar desempeño y costo de Mant.</i> <i>Definir procedimientos y protocolos de prueba de equipamiento instalado</i>	<i>Validación del diseño de la instalación para mantenibilidad;</i> <i>Planes matrices de todos los equipos, incluyendo recursos</i> <i>Ordenes de compra de repuestos, herramientas, instrumentos, y equipos de apoyo colocadas;</i> <i>Diseño detallado de la organización, personal, procesos y procedimientos de trabajo y gestión;</i> <i>Sistema SAP-PM o CMMS cargado;</i> <i>Compromiso detallado de desempeño y costo de mantenimiento para la instalación</i> <i>Plan detallado y protocolos de prueba del equipamiento;</i>
Ejecución y Puesta en Marcha	El producto es fabricado, instalado, probado, documentado, y entregado acorde a los datos técnicos establecidos en etapas anteriores. Se certifica formalmente de que cada uno	<i>Ejecutar pruebas de certificación de equipos</i> <i>Capacitar personal.</i> <i>Licitación de contratos con terceros</i> <i>Negociar convenios de servicio con</i>	<i>Equipamiento certificado para mantenimiento;</i> <i>Personal seleccionado y capacitado;</i> <i>Contratos de servicio con terceros;</i> <i>Convenios de servicio con clientes</i> <i>Sistema SAP-PM o CMMS operativizado;</i>

	de los componentes de la instalación reúnen o exceden expectativas establecidas en las bases de diseño.	<i>clientes Operativizar SAP, organización y procesos operativos Activar planes matrices de equipos</i>	<i>Organización y procesos de trabajo operativos; Planes matrices de equipos activados</i>
Operación y Mantenimiento	Instalación entra en operación productiva según diseño, y se realizan expectativas de desempeño; se introducen modificaciones al equipamiento, sea para subsanar deficiencias, implantar mejoras, o restituir degradación de componentes.	<i>Mantener equipos e instalaciones a la capacidad productiva y costo de mantenimiento comprometidos</i>	<i>Operar los procesos de trabajo y planes matrices para asegurar el desempeño de la instalación; Afinar los planes y procedimientos de trabajo a medida que se desarrolla aprendizaje del comportamiento.</i>

ANEXO C

BASE DE DATOS FALLAS DE EQUIPOS PRINCIPALES

**Chancador
Primario
Información para
Análisis**

N°	Fecha de Inicio	Hora de Inicio	Fecha de Terminó	Hora de Término	TPR	TEF
1	12-02-2007	2:24:00 AM	12-02-2007	2:50:00 AM	0.43	178.23
2	15-02-2007	11:30:00 AM	15-02-2007	12:30:00 PM	1	80.67
3	22-02-2007	6:34:00 AM	22-02-2007	6:47:00 AM	0.22	162.07
4	23-02-2007	11:41:00 PM	23-02-2007	11:51:00 PM	0.17	40.9
5	24-02-2007	4:50:00 PM	24-02-2007	4:55:00 PM	0.08	16.98
6	10-03-2007	6:00:00 AM	10-03-2007	6:25:00 AM	0.42	325.08
7	11-03-2007	11:00:00 AM	11-03-2007	11:10:00 AM	0.17	28.58
8	12-03-2007	3:10:00 PM	12-03-2007	6:30:00 PM	3.33	28
9	19-03-2007	4:50:00 AM	19-03-2007	6:30:00 AM	1.67	154.33
10	25-03-2007	9:00:00 PM	25-03-2007	9:15:00 PM	0.25	158.5
11	09-05-2007	4:45:00 AM	09-05-2007	5:55:00 AM	1.17	1063.5
12	11-06-2007	9:50:00 PM	12-06-2007	12:00:00 AM	2.17	807.92
13	04-07-2007	5:16:00 AM	04-07-2007	5:30:00 AM	0.23	533.27
14	05-07-2007	12:00:00 PM	05-07-2007	12:07:00 PM	0.12	30.5
15	05-11-2007	8:00:00 PM	05-11-2007	10:30:00 PM	2.5	2959.88
16	18-01-2008	1:15:00 PM	18-01-2008	1:25:00 PM	0.17	1766.75
17	05-02-2008	4:25:00 AM	05-02-2008	4:42:00 AM	0.28	423
18	05-02-2008	4:25:00 PM	05-02-2008	5:25:00 PM	1	11.72
19	05-02-2008	9:15:00 PM	05-02-2008	10:50:00 PM	1.58	3.83
20	06-02-2008	1:44:00 PM	06-02-2008	3:05:00 PM	1.35	14.9
21	06-02-2008	3:50:00 PM	06-02-2008	4:04:00 PM	0.23	0.75
22	19-02-2008	6:35:00 AM	19-02-2008	6:50:00 AM	0.25	302.52
23	19-02-2008	10:00:00 PM	19-02-2008	10:40:00 PM	0.67	15.17
24	26-02-2008	11:00:00 PM	27-02-2008	8:45:00 AM	9.75	168.33
25	29-02-2008	8:20:00 AM	29-02-2008	9:05:00 AM	0.75	47.58
26	06-03-2008	12:10:00 PM	06-03-2008	12:46:00 PM	0.6	147.08
27	06-03-2008	5:00:00 PM	06-03-2008	5:15:00 PM	0.25	4.23
28	24-03-2008	1:40:00 PM	24-03-2008	1:53:00 PM	0.22	428.42
29	07-04-2008	10:23:00 AM	07-04-2008	11:23:00 AM	1	332.5
30	17-04-2008	12:35:00 PM	17-04-2008	12:50:00 PM	0.25	241.2

31	22-04-2008	2:45:00 PM	22-04-2008	3:00:00 PM	0.25	121.92
32	28-04-2008	11:19:00 AM	28-04-2008	11:30:00 AM	0.18	140.32
33	06-06-2008	11:15:00 AM	06-06-2008	11:23:00 AM	0.13	935.75
34	13-06-2008	11:10:00 PM	14-06-2008	3:20:00 AM	4.17	179.78
35	17-06-2008	12:30:00 PM	17-06-2008	1:15:00 PM	0.75	81.17
36	19-06-2008	10:20:00 AM	19-06-2008	10:40:00 AM	0.33	45.08
37	22-06-2008	5:50:00 PM	22-06-2008	6:40:00 PM	0.83	79.17
38	29-06-2008	10:39:00 AM	29-06-2008	10:45:00 AM	0.1	159.98
39	02-07-2008	8:00:00 PM	02-07-2008	9:00:00 PM	1	81.25
40	07-07-2008	6:20:00 AM	07-07-2008	6:40:00 AM	0.33	105.33
41	09-07-2008	12:00:00 PM	09-07-2008	2:15:00 PM	2.25	53.33
42	10-07-2008	3:30:00 PM	10-07-2008	4:00:00 PM	0.5	25.25
43	14-07-2008	4:54:00 PM	14-07-2008	6:30:00 PM	1.6	96.9
44	08-08-2008	11:37:00 AM	08-08-2008	11:45:00 AM	0.13	593.12
45	26-08-2008	11:12:00 AM	26-08-2008	11:25:00 AM	0.22	431.45
46	26-08-2008	7:05:00 PM	26-08-2008	7:15:00 PM	0.17	7.67
47	30-08-2008	2:57:00 PM	30-08-2008	3:00:00 PM	0.05	91.7
48	01-09-2008	3:10:00 PM	01-09-2008	5:20:00 PM	2.17	48.17
49	20-10-2008	4:24:00 PM	20-10-2008	4:45:00 PM	0.35	1175.07
50	13-11-2008	4:15:00 AM	13-11-2008	8:00:00 AM	3.75	563.5
51	16-11-2008	1:20:00 AM	16-11-2008	2:00:00 AM	0.67	65.33
52	16-11-2008	2:25:00 AM	16-11-2008	3:00:00 AM	0.58	0.42
53	16-11-2008	3:25:00 AM	16-11-2008	4:55:00 AM	1.5	0.42
54	16-11-2008	7:10:00 AM	16-11-2008	7:59:00 AM	0.82	2.25
55	16-11-2008	10:15:00 AM	16-11-2008	11:13:00 AM	0.97	2.27
56	16-11-2008	1:35:00 PM	16-11-2008	2:20:00 PM	0.75	2.37
57	16-11-2008	3:32:00 PM	16-11-2008	5:51:00 PM	2.32	1.2
58	17-11-2008	8:40:00 AM	17-11-2008	6:15:00 PM	9.58	14.82
59	22-11-2008	12:15:00 PM	22-11-2008	1:35:00 PM	1.33	114
60	23-11-2008	12:32:00 PM	23-11-2008	2:20:00 PM	1.8	22.95
61	23-11-2008	3:00:00 PM	23-11-2008	3:05:00 PM	0.08	0.67
62	23-11-2008	8:30:00 PM	23-11-2008	8:50:00 PM	0.33	5.42
63	29-11-2008	3:05:00 AM	29-11-2008	3:32:00 AM	0.45	126.25
64	03-12-2008	6:30:00 PM	03-12-2008	6:55:00 PM	0.42	110.97
65	19-12-2008	10:05:00 AM	19-12-2008	10:50:00 AM	0.75	375.17
66	23-12-2008	10:22:00 AM	23-12-2008	10:32:00 AM	0.17	95.53
67	24-12-2008	2:05:00 PM	24-12-2008	2:15:00 PM	0.17	27.55
68	01-01-2009	4:55:00 AM	01-01-2009	6:45:00 AM	1.83	158.67
69	09-02-2009	12:30:00 PM	09-02-2009	1:07:00 PM	0.62	941.75
70	20-02-2009	12:55:00 AM	20-02-2009	1:10:00 AM	0.25	251.8

71	06-03-2009	12:26:00 AM	06-03-2009	12:32:00 AM	0.1	335.27
72	07-03-2009	10:20:00 AM	07-03-2009	10:30:00 AM	0.17	33.8
73	13-03-2009	3:20:00 AM	13-03-2009	3:40:00 AM	0.33	136.83
74	28-05-2009	7:00:00 PM	28-05-2009	8:50:00 PM	1.83	1839.33
75	11-08-2009	12:18:00 AM	11-08-2009	5:40:00 AM	5.37	1779.47
76	13-08-2009	1:40:00 AM	13-08-2009	1:55:00 AM	0.25	44
77	03-09-2009	10:32:00 AM	03-09-2009	10:42:00 AM	0.17	512.62
78	04-10-2009	5:10:00 AM	04-10-2009	5:22:00 AM	0.2	738.47
79	05-10-2009	2:00:00 PM	05-10-2009	2:30:00 PM	0.5	32.63
80	09-10-2009	3:30:00 AM	09-10-2009	3:50:00 AM	0.33	85
81	15-10-2009	2:13:00 AM	15-10-2009	2:30:00 AM	0.28	142.38
82	18-10-2009	2:55:00 AM	18-10-2009	3:18:00 AM	0.38	72.42
83	08-11-2009	7:25:00 AM	08-11-2009	8:00:00 AM	0.58	508.12
84	09-11-2009	8:00:00 AM	09-11-2009	1:40:00 PM	5.67	24
85	04-12-2009	10:04:00 AM	04-12-2009	10:18:00 AM	0.23	596.4
86	16-12-2009	9:50:00 AM	16-12-2009	10:00:00 AM	0.17	287.53
87	24-12-2009	11:15:00 AM	24-12-2009	11:30:00 AM	0.25	193.25

**Correa de
Descarga
Información para
Análisis**

N°	Fecha de Inicio	Hora de Inicio	Fecha de Termino	Hora de Término	TPR	TEF
1	22-06-2010	4:06:00 PM	22-06-2010	5:30:00 PM	1.4	16.1
2	23-07-2010	10:30:00 PM	23-07-2010	11:10:00 PM	0.67	749
3	02-08-2010	8:30:00 PM	03-08-2010	1:10:00 AM	4.67	237.33
4	02-11-2010	12:50:00 AM	02-11-2010	2:25:00 AM	1.58	2183.67
5	20-11-2010	9:15:00 PM	20-11-2010	10:40:00 PM	1.42	450.83
6	06-01-2011	12:00:00 PM	06-01-2011	12:15:00 PM	0.25	1117.33
7	08-01-2011	8:15:00 PM	08-01-2011	8:35:00 PM	0.33	56
8	15-01-2011	12:15:00 PM	15-01-2011	12:45:00 PM	0.5	159.67
9	16-01-2011	1:08:00 PM	16-01-2011	1:56:00 PM	0.8	24.38
10	17-01-2011	7:00:00 AM	17-01-2011	7:30:00 AM	0.5	17.07
11	01-02-2011	2:31:00 PM	01-02-2011	2:41:00 PM	0.17	367.02

12	09-02-2011	12:00:00 PM	09-02-2011	1:45:00 PM	1.75	189.32
13	09-02-2011	2:00:00 PM	09-02-2011	7:00:00 PM	5	0.25
14	13-02-2011	9:00:00 PM	13-02-2011	9:30:00 PM	0.5	98
15	21-02-2011	11:23:00 AM	21-02-2011	3:00:00 PM	3.62	181.88
16	16-03-2011	11:05:00 AM	16-03-2011	11:10:00 AM	0.08	548.08
17	17-03-2011	9:18:00 AM	17-03-2011	11:10:00 AM	1.87	22.13
18	01-04-2011	7:31:00 AM	01-04-2011	8:15:00 AM	0.73	356.35
19	24-04-2011	6:43:00 PM	24-04-2011	8:35:00 PM	1.87	562.47
20	22-05-2011	8:00:00 AM	22-05-2011	9:15:00 AM	1.25	659.42
21	27-05-2011	8:40:00 AM	27-05-2011	9:20:00 AM	0.67	119.42
22	28-05-2011	2:55:00 AM	28-05-2011	3:07:00 AM	0.2	17.58

**Datos de Falla Correa
Overland
Información para el
Análisis**

N°	Fecha de Inicio	Hora de Inicio	Fecha de Terminó	Hora de Término	TPR	TEF
1	07-05-2010	12:23:00 PM	08-05-2010	1:38:00 PM	25.25	12.38
2	06-06-2010	11:01:00 PM	06-06-2010	11:59:00 PM	0.97	705.38
3	16-06-2010	5:10:00 AM	16-06-2010	2:33:00 PM	9.38	221.18
4	17-06-2010	11:03:00 PM	17-06-2010	11:43:00 PM	0.67	32.5
5	26-06-2010	1:40:00 PM	26-06-2010	3:27:00 PM	1.78	205.95
6	06-07-2010	3:15:00 PM	06-07-2010	6:00:00 PM	2.75	239.8
7	07-07-2010	11:30:00 PM	08-07-2010	1:00:00 AM	1.5	29.5
8	09-07-2010	11:42:00 AM	09-07-2010	1:00:00 PM	1.3	34.7
9	11-07-2010	11:45:00 PM	12-07-2010	1:00:00 AM	1.25	58.75
10	17-07-2010	8:15:00 PM	17-07-2010	8:41:00 PM	0.43	139.25
11	19-07-2010	6:30:00 PM	19-07-2010	6:45:00 PM	0.25	45.82
12	20-07-2010	3:00:00 PM	20-07-2010	3:20:00 PM	0.33	20.25
13	22-07-2010	12:45:00 AM	22-07-2010	1:40:00 AM	0.92	33.42
14	22-07-2010	10:30:00 PM	22-07-2010	11:00:00 PM	0.5	20.83
15	23-07-2010	10:30:00 AM	23-07-2010	10:50:00 AM	0.33	11.5
16	25-07-2010	9:50:00 AM	25-07-2010	9:59:00 AM	0.15	47
17	31-07-2010	11:06:00 PM	31-07-2010	11:55:00 PM	0.82	157.12
18	01-08-2010	1:34:00 AM	01-08-2010	4:00:00 AM	2.43	1.65
19	01-08-2010	9:00:00 AM	01-08-2010	10:00:00 AM	1	5
20	02-08-2010	8:20:00 PM	02-08-2010	8:30:00 PM	0.17	34.33

21	06-08-2010	8:10:00 PM	06-08-2010	11:00:00 PM	2.83	95.67
22	09-08-2010	1:00:00 AM	09-08-2010	2:39:00 AM	1.65	50
23	10-08-2010	1:00:00 AM	10-08-2010	1:10:00 AM	0.17	22.35
24	10-08-2010	12:00:00 PM	10-08-2010	3:30:00 PM	3.5	10.83
25	18-08-2010	12:29:00 PM	18-08-2010	1:10:00 PM	0.68	188.98
26	21-08-2010	6:01:00 AM	21-08-2010	6:56:00 AM	0.92	64.85
27	24-08-2010	11:18:00 PM	24-08-2010	11:26:00 PM	0.13	88.37
28	16-09-2010	6:30:00 AM	16-09-2010	8:20:00 AM	1.83	535.07
29	17-09-2010	6:10:00 PM	17-09-2010	6:26:00 PM	0.27	33.83
30	20-09-2010	8:00:00 AM	20-09-2010	8:30:00 AM	0.5	61.57
31	22-09-2010	6:00:00 AM	22-09-2010	7:35:00 AM	1.58	45.5
32	03-11-2010	5:45:00 PM	03-11-2010	7:00:00 PM	1.25	1018.17
33	07-11-2010	2:22:00 PM	07-11-2010	3:52:00 PM	1.5	91.37
34	08-11-2010	10:20:00 AM	08-11-2010	10:50:00 AM	0.5	18.47
35	10-11-2010	10:50:00 PM	10-11-2010	11:45:00 PM	0.92	60
36	11-11-2010	8:00:00 PM	11-11-2010	9:25:00 PM	1.42	20.25
37	15-11-2010	8:00:00 AM	15-11-2010	9:15:00 AM	1.25	82.58
38	16-11-2010	1:59:00 PM	16-11-2010	3:01:00 PM	1.03	28.73
39	21-11-2010	12:00:00 PM	21-11-2010	2:00:00 PM	2	116.98
40	25-11-2010	6:10:00 PM	25-11-2010	8:00:00 PM	1.83	100.17
41	27-11-2010	8:02:00 AM	27-11-2010	10:40:00 AM	2.63	36.03
42	28-11-2010	12:05:00 PM	28-11-2010	12:45:00 PM	0.67	25.42
43	29-11-2010	1:50:00 AM	29-11-2010	8:00:00 AM	6.17	13.08
44	06-12-2010	4:45:00 PM	06-12-2010	8:35:00 PM	3.83	176.75
45	09-12-2010	7:00:00 PM	09-12-2010	9:15:00 PM	2.25	70.42
46	30-12-2010	8:30:00 PM	30-12-2010	10:00:00 PM	1.5	503.25
47	03-01-2011	8:17:00 AM	03-01-2011	9:36:00 AM	1.32	82.28
48	13-01-2011	2:00:00 PM	13-01-2011	4:45:00 PM	2.75	244.4
49	17-01-2011	4:40:00 PM	17-01-2011	6:57:00 PM	2.28	95.92
50	24-01-2011	12:40:00 PM	24-01-2011	1:10:00 PM	0.5	161.72
51	08-02-2011	10:12:00 AM	08-02-2011	11:20:00 AM	1.13	357.03
52	08-02-2011	1:25:00 PM	08-02-2011	2:25:00 PM	1	2.08
53	08-02-2011	8:00:00 PM	08-02-2011	10:45:00 PM	2.75	5.58
54	11-02-2011	5:40:00 AM	11-02-2011	6:55:00 AM	1.25	54.92
55	04-03-2011	1:30:00 PM	04-03-2011	3:40:00 PM	2.17	510.58
56	04-03-2011	8:50:00 PM	04-03-2011	9:05:00 PM	0.25	5.17
57	22-03-2011	11:35:00 AM	22-03-2011	12:36:00 PM	1.02	422.5
58	25-03-2011	1:58:00 PM	25-03-2011	2:16:00 PM	0.3	73.37
59	29-03-2011	10:15:00 AM	29-03-2011	11:10:00 AM	0.92	91.98
60	08-04-2011	1:40:00 PM	08-04-2011	4:00:00 PM	2.33	242.5

61	22-04-2011	2:40:00 PM	22-04-2011	4:07:00 PM	1.45	334.67
62	25-04-2011	7:50:00 AM	25-04-2011	8:00:00 AM	0.17	63.72
63	25-04-2011	11:05:00 AM	25-04-2011	1:45:00 PM	2.67	3.08
64	13-05-2011	11:30:00 AM	13-05-2011	11:48:00 AM	0.3	429.75
65	15-05-2011	11:30:00 AM	15-05-2011	11:48:00 AM	0.3	47.7
66	16-05-2011	7:34:00 PM	16-05-2011	8:05:00 PM	0.52	31.77
67	18-05-2011	9:45:00 PM	18-05-2011	10:00:00 PM	0.25	49.67
68	29-05-2011	11:10:00 AM	29-05-2011	3:00:00 PM	3.83	253.17

ANEXO D

PLAN MATRIZ PRELIMINAR

La propuesta Preliminar de Plan Matriz para Mantenimiento que se adjunta, ha sido revisada en base a la última información recopilada en proyectos y faenas que consideran equipos similares, y se refiere solamente a los equipos considerados en el modelo de simulación. Cabe destacar que este plan está referido a la situación base del proyecto, y solo pretende entregar información de los tiempos estimados de detención de los equipos para su mantenimiento.

PLAN MATRIZ PRELIMINAR

PLAN DE MANTENIMIENTO		Frecuencia (Días)	Duración (Horas)
Equipo	Tarea		
Chancador primario	Cambio de cóncavas	546	50
Chancador primario	Cambio de poste	301	36
Chancador primario	Cambio de buje spider	420	12
Chancador primario	Cambiar monturas y gorro de spider	700	12
Chancador primario	Cambio de buje del chancador	756	12
Chancador primario	Inspección semanal	7	6
Pica rocas	Inspección semanal	7	2
Pica rocas	Cambio de cilindros hidráulicos	511	8
Pica rocas	Cambio de componentes del brazo	511	8
Grúa Pedestal	Cambio de cables	665	8
Grúa Pedestal	Cambio reductor	665	8
Correa Descarga Chancador Primario	Cambio unidad motriz	1848	12
Correa Descarga Chancador Primario	Cambio de cinta	1085	36
Correa Descarga Chancador Primario	Inspección semanal	7	2
Correa Descarga Chancador Primario	Cambio polines	7	6
Correa Descarga Chancador Primario	Cambio de elementos dañados del raspador	112	5
Correa Descarga Chancador Primario	Cambio gualderas	182	3
Correa Descarga Chancador Primario	Cambio placas desgaste	182	24
Correa Descarga Chancador Primario	Reparaciones correa	56	6
Correa Transportadora Overland	Cambio unidad motriz	1848	12
Correa Transportadora Overland	Cambio de cinta	1085	24

Correa Transportadora Overland	Inspección semanal	7	12
Correa Transportadora Overland	Cambio polines	7	8
Correa Transportadora Overland	Cambio de elementos dañados del raspador	112	5
Correa Transportadora Overland	Cambio placas desgaste chute alimentación correa	182	12
Correa Transportadora Overland	Reparaciones correa	56	8

ANEXO E

CALCULO DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD

La confiabilidad es una función que se puede obtener siempre y cuando se disponga de suficiente información histórica de falla del equipo en cuestión. Muy poca información o bien una información de mala calidad introducirá errores en el cálculo de la confiabilidad.

Chancador Primario 3112-CHP-001

Para este equipo, la información utilizada en el análisis corresponde a la División Radomiro Tomic, en el proceso de Mina, área de Chancado Primario. Esta área posee un Chancador Giratorio de similares características al utilizado en el área de Chancado de DMH.

Para el análisis de ajuste de los datos, se evaluó mediante los diferentes métodos de estimación, obteniéndose que el método Coeficiente de Correlación Lineal es el más adecuado, ya que presenta casi un 0% de error en su aproximación. Utilizando finalmente distribución de Weibull de 2 parámetros (W2), los parámetros de la curva de confiabilidad para un equipo de estas características es:

Confiabilidad	Eta	Beta
R(t)	198.1	0.6167

Llevando esto a su representación gráfica de la función de confiabilidad,, se tiene:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{198.1}\right)^{0.6167}}$$

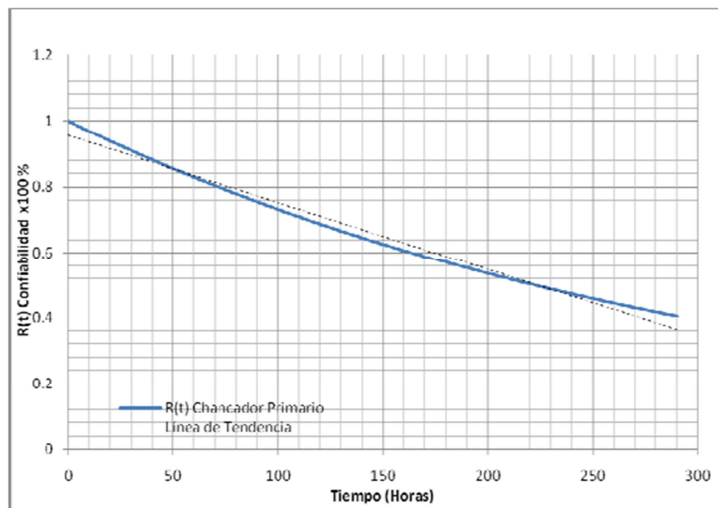


Figura 7-2 Curva de Confiabilidad Chancador Primario $\eta = 198.1$ y $\beta = 0.6167$

El ajuste de los datos se realizó con un total de 87 eventos de falla, en un periodo de casi 3 años, es así como es posible estimar gráficamente el comportamiento del equipo, en función de la Confiabilidad (UT RMIN-CHP-CPR).

Los datos anteriormente mostrados se pueden también comprender al obtener la media de Tiempos entre falla y Tiempos para reparar, los cuales son TMEF de aproximadamente 289,35 horas, con un promedio de reparación de TMPR: 1,06 horas.

7.1.2 Correa de Descarga 3112- CTR-001

El comportamiento de la corra de descarga se estimará con información obtenida del reciente sistema puesto en marcha de Sulfuro RT (UT: RMIN-CPS-LPS-ALI). A pesar de estar en una edad temprana de vida, se han considerado aquellas fallas relacionadas con el diseño y no las operacionales.

El análisis de ajuste de los datos, se evaluó mediante los métodos de Kolmogorov, Coeficiente de Correlación de Spearman, Coeficiente de Correlación Lineal y el método de la mínima distancia a la Curva, existiendo entre ellos diferentes valores de error para el cálculo de estimación. Conforme a esto, se definió que el método de Coeficiente de Correlación Lineal es el más adecuado, ya que presenta sólo un 0.01% de error.

Conforme a lo anterior, y utilizando la Distribución de Weibull de 3 parámetros (W3), los valores de estos son los siguientes:

Confiabilidad	Eta	Beta	Gamma
R(t)	315.8	0.6287	-0.55

Llevando esto a su representación gráfica de la función de confiabilidad,

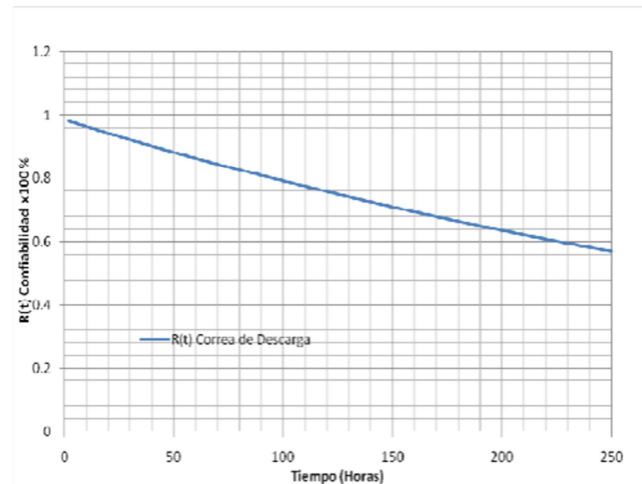


Figura 7-3 Curva de Confiabilidad Correa de Descarga
Eta= 295.5 y Beta= 0.65 y Gamma= -6.2

Analizando la base de datos, se puede apreciar que los eventos de falla tienen como causa, varios factores, la más relevante para este equipo son los problemas típicos para sistema de accionamiento hidráulico y en los Manifold del sistema de lubricación.

De acuerdo a lo anterior, el equipo tiene un TMEF de aproximadamente 369.7 horas, con un promedio de reparación de TMPR: 1,35 horas.

7.1.3 Correa Overland 3112-CTR 002

Durante el desarrollo de este análisis se revisó un gran número de correas que fuesen representativas en diseño y capacidad a las utilizadas en el proyecto. En esta oportunidad se decidió utilizar como referencia la correa SRT-CTR-002 del proceso de manejo de mineral chancado primario de SRT (UT: RMIN-CPS-LPS-CTR-002). Dado que este equipo lleva poco tiempo en operación y las fallas registradas muchas veces pueden estar relacionadas a un ajuste y setting de los sistemas de control, la base de datos fue revisada para considerar sólo aquellas fallas que tienen relación al normal funcionamiento de un equipo de estas características.

Conforme a lo anterior, y utilizando la Distribución de Weibull de 3 parámetros, los valores de la función de confiabilidad son:

Confiabilidad	Eta	Beta	Gamma
R(t)	131.1	0.7878	1.282

Llevando esto a su representación gráfica de la función de confiabilidad para W3, utilizando la ecuación N° 3 y considerando además que el TMEF de aproximadamente 134.98 horas, con un promedio de reparación de TMPR: 1.8 horas, se tiene:

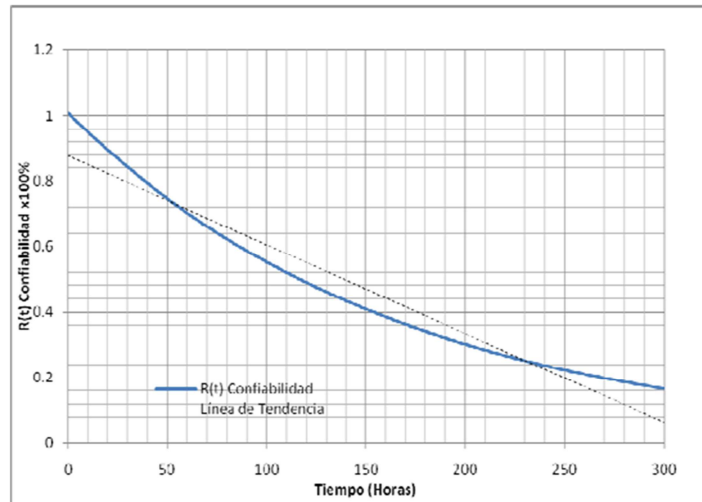


Figura 7-4 Curva de Confiabilidad Correa Overland

El cálculo de los parámetros de las funciones de Confiabilidad puede variar, dependiendo de la experiencia de cada faena, debido a que estos se ven afectados por varios factores, como son: la calidad del mantenimiento, el tipo de mantenimiento implementado, la calidad de los componentes de repuesto, la estrategia de operación y la estrategia de mantenimiento, etc. Los parámetros aquí mostrados son estimativos, y han sido ajustados de acuerdo a la base de los registros históricos de falla existentes actualmente en SAP-PM, y las demás fuentes de información utilizadas.

Actualmente no existe una base de datos global al interior de Codelco, como tampoco dentro de la industria minera, que pueda servir de referencia para los parámetros característicos de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de los equipos Mineros.

A continuación se muestra una tabla resumen con los datos obtenidos del análisis de confiabilidad:

Tabla 8-1 Resumen Parámetros Curvas de Confiabilidad

Area de Proceso	Tipo de Equipo	Tipo de Dist.	Eta	Beta	Gamma	Lambda	TMEF (Hrs)	TMPR (Hrs)
Chancado	CHA Primario	W2	198.1	0.6167	0	N/A	289.35	1.06
	CTR Descarga	W3	315.8	0.6287	-0.55	N/A	369.7	1.35
	CTR Overland	W3	131.1	0.7878	1.28	N/A	134.98	1.8

