UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) del Sistema de Suministro de Agua para una Planta Térmica con Ciclo Combinado

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

José Germán Mostajo Fernández

PROMOCION 2007-II

LIMA-PERU

2 011

INDICE

PROLOGO 1

CAPITULO I 3

INTRODUCCIÓN 3

1.1 Antecedentes 5

1.1.1. La Empresa 11

1.1.2. Ubicación 13

1.1.3. Descripción del proceso 13

1.2 Objetivo 18

1.3 Alcances 24

1.4 Bases y criterios considerados 25

1.5 Descripción general del sistema 25

1.5.1 Aspectos Teóricos 25

1.5.1.1. Generalidades 25

1.5.1.2. Datos técnicos de los pozos de agua 26

1.5.1.3. Equipos y componentes del sistema. 28

1.5.2 Proceso productivo del sistema de suministro de agua 28

1.5.3 Capacidad de producción 31

INDICE

PROLOGO **1**

CAPITULO I **3**

INTRODUCCIÓN **3**

1.1 Antecedentes 5

1.1.1. La Empresa 11

1.1.2. Ubicación 13

1.1.3. Descripción del proceso 13

1.2 Objetivo 18

1.3 Alcances 24

1.4 Bases y criterios considerados 25

1.5 Descripción general del sistema 25

1.5.1 Aspectos Teóricos 25

1.5.1.1. Generalidades 25

1.5.1.2. Datos técnicos de los pozos de agua 26

1.5.1.3. Equipos y componentes del sistema. 28

1.5.2 Proceso productivo del sistema de suministro de agua 28

1.5.3 Capacidad de producción 31

CAPITULO II **32**

IMPLEMENTACION DEL RCM2 EN EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA **32**

INTRODUCCION 32

2.1 El mantenimiento en la C.T Ventanilla 34

2.1.1 Gestión del mantenimiento 34

2.1.2 Generación de OT 35

2.1.3 Indicadores de mantenimiento actual 37

2.2 Implementación del RCM2 en el sistema de suministro de agua 40

2.3 Fundamentos 41

a) Mantenimiento 41

b) Objetivos del mantenimiento 42

c) Tipos de mantenimiento 43

2.4 Metodología para la implementación del RCM2 45

2.4.1 Formación del equipo de trabajo 46

2.4.2 Metodología del trabajo 47

2.5 Aplicación de la metodología del RCM2 48

CAPITULO III **52**

ANALISIS DE RESULTADOS **52**

INTRODUCCION **52**

3.1 Medición del costo de implementación del RCM2 53

3.2 Comparación de los costos de mantenimiento 57

3.3 Evaluación económica 64

3.3.1 Cálculo del ROI y el retorno 64

PROLOGO

En la actualidad las empresas se encuentran enfocadas para alcanzar los mejores niveles y calidad de producción, por tal motivo una adecuada Gestión de Mantenimiento orientada a mejorar la confiabilidad de los equipos críticos ayuda a alcanzar las metas y objetivos de la empresa, porque garantiza una alta disponibilidad de la maquinaría y prolonga la vida útil de los equipos.

El presente trabajo está compuesto por 3 Capítulos:

En el Capítulo 1; se presenta la Introducción, donde se describe los antecedentes de la planta, los objetivos, alcances como las generalidades de la empresa y una descripción resumida del proceso productivo, criterios considerados y la descripción general del sistema así como se muestra la clasificación de las maquinas involucradas en el proceso.

En el Capítulo 2; se presenta la introducción a la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, identificamos el problema mediante un análisis de situación actual como su gestión, generación de órdenes de trabajo e indicadores de

mantenimiento, se detalla las bases para la implementación del RCM2 al sistema estudiado, su fundamento en los tipos de mantenimiento y explicar la metodología como la aplicación de la misma en las decisiones concluidas.

En el Capítulo 3, identificamos el problema que nos limita en el estudio de económico, el costo de implementación, referencias del costo de mantenimiento, costo de la producción (lucro cesante), comparación de los costos de mantenimiento y explicación del retorno de la inversión.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La complejidad actual de los sistemas industriales de producción, (dotados de gran número de componentes, con variedad de origen y desempeño) plantean la necesidad de ser integrados en macro procesos combinados a fin de cumplir estándares nacionales e internacionales de calidad y seguridad tanto humana como ambiental. El **Mantenimiento tradicional** centrado en planta y separado de la gestión de la producción, debe ceder paso a enfoques **más rigurosos y complejos** que tengan énfasis en:

- La integración de sistemas diferentes
- La multiplicidad del origen y modo de las fallas
- La actitud proactiva para la prevención y detección de las fallas.

En estas condiciones surgen con frecuencia **nuevas Metodologías de Mantenimiento** con nombres muy diversos pero que pueden clasificarse en tres tipos de metodologías:

- Metodologías de Mantenimiento **Correctivo**

- Metodologías de Mantenimiento **Preventivo**
- Metodologías de Mantenimiento **Proactivo**

Aunque todo Ingeniero de Mantenimiento conoce bastante bien cada uno de estos tipos, y se halla muy familiarizado en la práctica con los dos primeros, con frecuencia no sucede lo mismo con el último, el más reciente, surgido a la par con la instrumentación más avanzada capaz de examinar los equipos, a escalas incluso nanométricas, debido al aprovechamiento de una gama mucho mayor de fenómenos físicos, químicos y biológicos inaccesibles a la instrumentación del siglo pasado.

Entre estas nuevas Metodologías Proactivas destaca el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (**RCM**), surgida en los años 90 en el ámbito de la industria aeronáutica de los EUA y difundida desde entonces en todo tipo de industrias medianas y mayores, necesitadas de un Mantenimiento permanente riguroso, integral y de alta eficacia con equipos bajo condiciones de trabajo continuo, carga aleatoria fluctuante y en un entorno rudo

En este Informe se describe la aplicación de la última versión del **RCM**, denominada **RCM2**, en el ámbito de una gran empresa de generación eléctrica de alcance nacional, (la **Edegel SAA)** que ha adoptado como estándar esta Metodología de Mantenimiento "*en cada unidad técnica de mantenimiento y en cada complejo o central de generación*" como expresa su directiva constitutiva.

Se presta especial atención a los sistemas de **suministro de agua** de las instalaciones y se focaliza la implementación del **RCM2** a este componente fundamental del proceso

de generación.

La idea clave subyacente en este informe es que las Metodologías de Mantenimiento de tipo Proactivo, como el **RCM2**, aporta los grados de libertad y conocimiento necesarios para asegurar competentemente un suministro de agua de calidad y cantidad prevista.

1.1 ANTECEDENTES

Si se hace esta comparación entre el Mantenimiento de Maquinarias y el Mantenimiento del cuerpo humano, aquellos empleados de la empresa que se hallen operando en "servicio severo" (viajes, largas jornadas de trabajo, presiones, estrés, mala alimentación, poco ejercicio, etc.) estarán sin duda ante el **riesgo de un infarto**. En este caso el Mantenimiento **Correctivo**, sería **reparar la falla** del corazón (por ejemplo), lo que dejaría inservible al empleado por largo tiempo. El Mantenimiento **Preventivo** sería aquí una operación que **instale un by-pass o un marcapaso** imposibilitando el ataque por largo tiempo. El Mantenimiento **Predictivo** sería la serie de **análisis completos de sangre**, niveles de colesterol, etc., que indicaran la condición del organismo y cuan **confiable** es el corazón examinado respecto a este tipo de ataques**.** La técnica del Mantenimiento **Proactivo** consistiría pues en un **monitoreo permanente, metódico y con múltiples mediciones** de esos parámetros y un "cambio de hábitos", que permitan **reducir los factores** que contribuyen o predisponen directa o indirectamente a causar la falla; esto equivale a **aumentar la Confiabilidad** de este órgano respecto a sus condiciones actuales es decir aumentar el tiempo esperado entre la Falla Potencial detectada y la

Falla Funcional; el ataque súbito. Implica por lo tanto el hacer más ejercicio, el comer menos carnes, más vegetales, reorganizar su tiempo, en fin, una nueva vida.

En el Mantenimiento Proactivo centrado en la Confiabilidad ese "cambio de hábitos" significa modificar en gran medida la forma de “ver” los componentes críticos del sistema con la mente más que con los cinco sentidos; significa una lucha permanente contra lo invisible, por ejemplo las partículas que más afectan a los componentes de la maquinaria rotatoria, aquellas situadas en el rango de las 10 micras (el ojo humano es capaz de ver partículas mayores a 40 micras); el agua, el aire y el combustible, son difíciles o imposibles de detectar a simple vista en los componentes afectados, pero es necesario hacerlo a fin de mantener el aceite libre de contaminación todo el tiempo que sea posible, **alargando así la vida** de los componentes y por ende la del propio equipo.

La **Confiabilidad** por ello es acaso el indicador más importante a tener en cuenta en una empresa como la de generación térmica. La razón estriba en que tiene que ver con los eventos irregulares no deseados o fallas potenciales ocultas de un conjunto de máquinas costosas de producción continua en un entorno frecuentemente adverso.

La Confiabilidad es **la probabilidad** de que un sistema, operando bajo ciertas condiciones, **cumpla su función sin fallas durante un intervalo específico de tiempo**. Su medida es necesaria para los componentes críticos de cualquier conjunto de maquinaria.

La medición en cuestión con frecuencia no es nada fácil debido a la naturaleza misma de las fallas posibles, ello a pesar de haberse multiplicado enormemente las Técnicas diferentes de Monitoreo existentes que permiten detectar condiciones de Falla Potencial **mucho antes** de la Falla Funcional efectiva, con mayor anticipación que la que puede obtener un ser humano con sus cinco sentidos, no importa lo bien adiestrado que se encuentre.

Entre estas Técnicas están:

- Técnicas de Monitoreo de **efectos dinámicos:** para fallas potenciales en máquinas rotativas que emiten cantidades anormales de energía en forma de ondas, vibraciones, pulsaciones o señales acústicas.
- Técnicas de Monitoreo de **efectos de partícula:** para fallas potenciales que desprenden al ambiente partículas de diferentes tamaños y formas.
- Técnicas de Monitoreo de **efectos químicos:** para fallas potenciales que desprenden al ambiente cantidades ínfimas pero mesurables de especies químicas reconocibles
- Técnicas de Monitoreo de **efectos físicos:** para fallas potenciales que alteran la apariencia física o la estructura de la máquina como grietas, roturas, desgastes y cambios dimensionales.

Cada una de estas cuatro categorías comprende un gran número de técnicas instrumentales nuevas y novísimas, (que aumentan continuamente) basadas en la tecnología más moderna como la electrónica de análisis de frecuencias,

ondas de choque, tiempos sincrónicos, ultrasonidos etc. La Óptica de conteo de partículas, o los Sensores de partículas ferromagnéticas. Los Filtros graduados y Detectores de Manchas y sedimentos. La Espectroscopia de Emisión para la detección de contaminantes químicos minúsculos. La Fluoroscopia etc., etc. Todo este instrumental está dedicado a **anticipar lo antes posible** cualquier señal de Falla Potencial en los equipos ya que una Falla Funcional Catastrófica será fácilmente reconocida, pero otras tienen carácter insidioso de deterioro gradual y silencioso y con frecuencia la diferencia entre el éxito y la falla resulta imperceptible.

Es innegable que este Mantenimiento basado en la Confiabilidad debe ser costoso, ya que se sabe que los costos de Mantenimiento en todo el mundo crecen en proporción mayor al de los propios equipos; por ello el Mantenimiento Proactivo hace énfasis en minimizar los costos de Mantenimiento sin sacrificar Confiabilidad ni Disponibilidad, este es uno de de sus Principios básicos, véase al respecto **[15]** Es el precio que hay que pagar por la absoluta necesidad de hacer rentables a equipos sofisticados y muy complejos que deben cumplir exigencias de funcionamiento y seguridad extremadamente rigurosos.

Uno de los primeros logros del Enfoque basado en la Confiabilidad fue poner en evidencia que las fallas de un equipo complejo no obedecían ya al clásico y simple Modelo de la "bañadera" (Mortalidad infantil + Vejez avanzada), tan útil en el siglo pasado. Hoy se conocen por lo menos 6 tipos diferentes de falla **[15]** que nada tienen que ver con la edad del equipo y ello complica bastante la

tarea decisoria del Jefe de Mantenimiento de una empresa quien ahora deberá pensar como Ingeniero de Mantenimiento y Gerente a la vez. Esto remite a otro Principio básico: La necesidad del trabajo coordinado en equipo en las tareas de Mantenimiento.

El **RCM2** es el resultado actual de una elaboración de treinta años de estudios y experiencias **de campo** empezados en 1978 por Stanley Nowlan y Howard Heap, entonces en el Departamento de Defensa de los EUA, para la industria de la aviación civil, empezándolo en el ámbito de la compañía United Airlines y revolucionando los métodos de Mantenimiento de esa exigente industria. Desde los años 80 esta Metodología de Mantenimiento se ha difundido enormemente en todo tipo de industrias más allá del ámbito aeronáutico impulsado por sus innegables méritos y por la labor pionera de John Moubray **[15], [16]** y **[17]** Es a partir de 1990, con motivo de esta rápida expansión, que se pasó por iniciativa de John Moubray y asociados al desarrollo de la versión 2, quedando con la sigla **RCM2.** Anteriormente solo se le conocía como **RCM**[1].

En estas condiciones **Edegel SAA** ha elegido el Mantenimiento centrado en la Confiabilidad, **RCM2,** su versión más moderna: **RCM2** como Método estándar para el mantenimiento de sus instalaciones generadoras, en cada unidad técnica de mantenimiento y en cada complejo o central de generación

El **RCM2** puede caracterizarse de manera breve con los siguientes conceptos

[1] El acrónimo RCM corresponde al nombre de este tipo de Mantenimiento en el idioma inglés: ***Reliability centred Maintenance"***

dinámicos que conforman su Morfología:

- Diseño orientado a la Confiabilidad y la facilidad de Mantenimiento
- Estudio de riesgos
- Monitoreo de Condición
- Análisis de modos de falla y sus efectos
- Trabajo multifacético y en grupos
- Sistemas expertos
- Computadoras pequeñas y rápidas

Los dos primeros para el **diseño y construcción** de nuevos equipos.

Los dos siguientes aluden al **trabajo de campo** diario del Mantenimiento.

Los tres últimos a la **organización y las técnicas** del trabajo de Mantenimiento.

¡Nótece cómo el Mantenimiento empieza cuando el equipo todavía no existe!

Este es una clara manifestación del enfoque **integral,** sistémico y a largo plazo del trabajo en la Ingeniería moderna.

Se entiende que fue esta Metodología las que impulsaron a Endesa Chile, a adoptar el año 2004, vía su Norma Operativa Nº 33, el **RCM2** como estándar de Mantenimiento del grupo Endesa, por consiguiente se adopto en la empresa peruana **Edegel SAA**. La Norma Operativa en cuestión establece que el **Facilitador** a cargo *"es responsable de garantizar la **rigurosa aplicación**[2] de la*

[2] El subrayado es del autor de este Informe. Permite resaltar la gran **responsabilidad** que demanda el RCM2

*metodología **RCM2** en la planta generadora".*

El papel del Ingeniero de Mantenimiento encargado, una vez aplicada esta nueva Metodología, es **decidir**, en coordinación con el área de Producción, **qué** técnicas concretas vale la pena **implementar** en la organización para obtener los objetivos trazados.

En particular deben decidirse en las reuniones de trabajo periódicas las respuestas a las preguntas de la Lista de Verificación (usualmente 10) establecida para cada instalación. Esto se complementa con la actividad **investigadora e innovadora,** para la que hay amplio espacio en el **RCM2**, desde la etapa de Diseño hasta la de Reparación, por parte del Ingeniero competente y creativo.

1.1.1. La Empresa

Edegel S.A.A. es una empresa privada dedicada a la generación de energía eléctrica cuyos orígenes se remontan a 1906, con el nacimiento de **Empresas Eléctricas Asociadas (EE EE AA)**, empresa privada dedicada a la generación, transmisión y distribución de electricidad, constituida con fuerte participación de la empresa suiza **Brown Boveri** de reconocido prestigio internacional en la industria eléctrica.

En 1974, debido a cambios en la política económica y energética nacional, la mayoría absoluta del capital de las **Empresas Eléctricas**

Asociadas pasó a poder del Estado, cambiando su razón social a **Electrolima S.A.**

En 1994, se realizan nuevos cambios en la política nacional y esta empresa estatal fue separada en tres diferentes **unidades de negocio**: generación, transmisión y distribución. La unidad de negocio de generación fue el origen de la **Empresa de Generación Eléctrica de Lima S.A. (Edegel)**. El control de la nueva empresa fue transferido al sector privado en 1995, cuando el Estado vendió el 60% del capital social al consorcio **Generandes,** con capitales de los Estados Unidos y Chile **(ENDESA Chile),** que pagó 524 millones de USD

En este proceso de transferencia **Edegel** perdió algunos cuadros de trabajadores muy experimentados, pasando su número de 648 a 519, pero se tuvo cuidado de conservar a aquellos que tenían una trayectoria destacada.

La empresa reanudó su producción con rapidez gracias a sus sólidos fundamentos y ya en el 2005 lograba una venta bruta de energía de 730 millones de nuevos soles a clientes en todo el ámbito nacional.

El 1 de junio de 2006, **Edegel** se fusionó con **Etevensa,** del Holding **Enersis** de **ENDESA** mediante la modalidad de absorción asumiendo todos los derechos y obligaciones de esta última. **Edegel SA** pasó a ser una **SAA,** condición actual de la firma

Edegel es ahora la mayor compañía privada de generación de

electricidad en el Perú. A la fecha cuenta con una potencia efectiva total de1454, 8 MW, de la cual 739,4 MW corresponde a potencia hidroeléctrica y 715,4 MW a potencia termoeléctrica. Como empresa generadora percibe ingresos por la venta de potencia y energía, las cuales se realizan bajo contratos con clientes libres, clientes regulados o a través de transferencia de potencia y energía en el mercado spot. **Edegel** forma parte del Sistema Interconectado Nacional y realiza sus operaciones conforme a lo establecido en la Ley de Concesiones Eléctricas y de acuerdo a lo indicado por el COES-Sinac. Además, cumple las normas aplicables a las actividades del sector eléctrico establecidas por el MEM y supervisadas por la entidad encargada Osinergmin.

1.1.2. Ubicación

En la Central Térmica de Ventanilla, ubicada en Av. Del Bierzo, sin número, a la altura del Km. 14.5 de la Avenida Néstor Gambeta en Ventanilla, Callao.[3]

1.1.3. Descripción del proceso

Explicaremos brevemente el proceso de generación del ciclo combinado haciendo al final un énfasis a la importancia del sistema de suministro de agua.

En la turbina a gas en la etapa de compresión se eleva la presión y la

[3] Véase plano del apéndice A1 (Pág. 62)

temperatura del aire de ambiente hasta 16 bar y 450°C, luego el aire ingresa a la cámara de combustión en el cual se produce la combustión con el gas natural y se eleva la temperatura del aire hasta 1190°C , en esa primera etapa de la turbina de potencia entra el aire con energía y entrega su energía cinética a través de los alabes de la turbina a la turbina de potencia para convertirla en energía mecánica, luego se mueve el eje acoplado al generador eléctrico y es donde se produce los 150MW.

Una vez que este gas a entregado su energía sale de la turbina a 550°C Es este gas el cual se deriva a una caldera de recuperación de calor, en esta caldera se produce 250toneladas de vapor/hora, se transfiera la temperatura de la energía de los gases de escape al agua que hay dentro de la caldera , en esta caldera que es de 3 presiones producimos en una primera etapa vapor de alta presión a 549°C y 110 bar, este vapor que entra a la primera etapa de la turbina de vapor se aturbina entrega su energía y regresa después de haber sido aturbinado en la etapa de alta presión regresa a la caldera de recuperación para recalentarse , una vez que se a recalentado vuelve a la turbina de vapor otra vez, y ese vapor se aturbina en la segunda etapa de la turbina de vapor, luego de haber entregado toda su energía a la turbina de vapor , esa energía se transfiere al eje acoplado al generador eléctrico y se produce 180KW.

Una vez que el vapor ha sido aturbinado entra al equipo de condensador

y luego retorna a la bomba de alimentación de donde regresa a la caldera y se repite el ciclo. Los gases de escape que entraron a 550°C a la caldera de recuperación de calor salen por la chimenea a 100°C.

El vapor generado en las calderas recuperadoras de calor es a partir de agua desmineralizada con aditivos que se hace circular por tubos para su transformación en vapor que es utilizado en la turbina a vapor. Para cerrar el ciclo de vapor se utiliza un condensador de tubos y carcasa cuya función es cambiar a fase liquida el agua desmineralizada para reiniciar el ciclo. Para lograr la condensación se utiliza agua de refrigeración que a su vez es enfriada en torres de refrigeración. Como indicado en anteriormente, el ciclo de vapor utiliza agua para reposición de purgas de agua desmineralizada, refrigeración de componentes y para el enfriamiento en el condensador. De ellos el mayor consumo corresponde al agua para enfriamiento del condensador.[4]

Los problemas generados por el agua en los sistemas de enfriamiento son:

- Corrosión
- Incrustaciones
- Ensuciamiento
- Microorganismos

El agua es vital para la operación de ciclo combinado Ventanilla Edegel, tanto para calderas recuperadoras de calor, agua para la refrigeración (donde se consume la mayor cantidad de agua 420 m^3/h, por el tipo de

[4] Véase en los diagramas de los apéndices C1 y C2 (págs.78;79)

refrigeración que tiene) y agua para servicios. Por lo cual es necesario asegurar el suministro de agua en flujo y calidad que garantice la operación del ciclo combinado.

El agua para las calderas recuperadoras de calor y producir vapor para alimentar a la turbina de vapor, es tratada en la planta de tratamiento de aguas en sus diferentes procesos para cumplir con la calidad requerida de fabricantes de turbina a vapor. Agua de reposición a calderas es a ciclo completo 2 por 1 es 12 m^3/h pero en el tratamiento se pierde 30% aproximado lo que hace que se consume 17 m^3/h en planta de agua, claro está que planta de agua produce más agua desmineralizada (en relación a reposición de caldera 17 m^3/h) en operación pero esta se almacena en un tanque de agua desmineralizada y hay algunos días u horas que la planta de tratamiento de aguas esta parada; lo cual permite también contar con un respaldo cuando se realiza algún manteniendo preventivo pero más que todo correctivo.

El agua para la refrigeración principal y auxiliares, es el agua que se consume en la reposición de las torres de refrigeración que esta alrededor de 420 m^3/h (ciclo 2 por 1);el agua de la torre de refrigeración recircula se calienta al enfriar los tubos del condensador y luego se enfria en las torres para luego volver a su ciclo refrigeración; pero en el enfriamiento con el aire ambiental parte del agua se evapora y también se realiza purga continua del agua de refrigeración para mantener la calidad de operación optima, entonces habiendo perdidas de agua tanto

por evaporación ,purga y arrastre es necesario reponer esa agua, la que viene a ser agua de reposición de la torre. Tanto el agua de reposición de torre, agua para planta de tratamiento de agua y demás servicios se almacena en un tanque de 4500 m^3, el cual también sirve de respaldo ante algún mantenimiento predictivo y/0 correctivo.

El proyecto de conversión a ciclo combinado.[5] será controlado automáticamente por un sistema de control distribuido.[6]

Los equipos principales que se agregarán a la Central Ventanilla como parte del proyecto de ampliación a Ciclo Combinado son:

- Una turbina a vapor.
- Dos calderas recuperadoras de calor, con fuego adicional y recalentador.
- Dos calderas recuperadoras de calor, con fuego adicional y recalentamiento a tres presiones.
- Un condensador de superficie, tubos de titanio, apto para uso de agua de mar.
- Dos torres de Enfriamiento.
- Un generador Síncrono de 230MVA.
- Un transformador de potencia elevador de 16/220KV, 260MVA.
- Un sistema de control TXP para el equipamiento nuevo y actualización del sistema existente de la turbina a Gas.
- Equipamiento para balance de Planta consistente en Bombas,

[5] Véase en las fotos de los apéndices B8 y B9 (págs. 75;76)
[6] Véase plano del apéndice A2 (pág. 65)

Transformadores de distribución, celdas de media y baja tensión, etc.

1.2 OBJETIVO

Es la presentación de *la Metodología de Mantenimiento de tipo Proactivo* ***RCM2,*** *a condición de ser* ***competentemente implementada*** *y tener el respaldo económico, organizativo y técnico suficientes* ***a largo plazo****, puede aportar los medios necesarios para* ***asegurar*** *el suministro de agua de la calidad y cantidad previstas a cualquier sistema industrial que lo requiera, sea de mediana a mayor envergadura, de modo permanente y a costo óptimo para la empresa, la sociedad y el medio ambiente.*

¿Qué logramos con el **RCM2?**[7]

El **RCM2** permite alcanzar los objetivos generales de la Tercera Generación[8] dentro de los cuales se ajusta la experiencia de la Central Térmica estudiada:

1) **Mayor Seguridad e Integridad Ambiental** por:

- Revisión sistemática de cada falla evidente y sus implicancias para la seguridad y el ambiente **antes** de ver sus aspectos operacionales
- El proceso de **decisión** obliga a que las fallas que afectan a la seguridad o al ambiente deben ser solucionadas de inmediato. Resulta imposible posponerlas.
- El enfoque **estructurado** de los sistemas de protección, en particular el concepto de **función oculta** y la búsqueda **ordenada** de fallas **reducen significativamente** la probabilidad de fallas múltiples

[7] JOHN MOUBRAY, Op, Cit, página 312, resume las ventajas y logros posibles con el RCM2
[8] JOHN MOUBRAY, Op, Cit, página 4, divide la Historia del Mantenimiento USA en 3 generaciones

- El concepto de **involucrar** a los operadores y mantenedores directamente en el análisis los hace menos propensos a cometer errores y más proclives a tomar las decisiones correctas
- La **reducción** global en el número y frecuencia de las **tareas cíclicas** (sobre todo las tareas transversales invasivas) reducen el riesgo de fallas críticas.

2) Mayor Disponibilidad y Confiabilidad de Planta

- Independencia del punto de partida en cuanto a la Disponibilidad. Si el **RCM2** es bien implementado, la duración para llegar al punto deseado de Disponibilidad y Confiabilidad solo depende del porcentaje de avance que se ha planificado hacer y no del nivel de avance donde se encuentra al comenzar.
- Revisión sistemática de las consecuencias operacionales de **cada** falla. Esto asegura que solo las tareas más efectivas se seleccionen para manejar cada modo de falla.
- Énfasis en la tarea de evitar que las fallas potenciales se conviertan en funcionales priorizando la inspección en las llamadas *tareas a condición,* que son aquellas tareas que pueden continuar *a condición* de que cumplan las especificaciones de funcionamiento normales y así corregir las fallas ocurridas **solo** en las tareas *detenidas*. Esto disminuye la frecuencia de paradas y aumenta la Disponibilidad sin sacrificar Confiabilidad
- Estableciendo relaciones claras entre los modos de falla y las fallas

funcionales correspondientes. Esto facilita el diagnóstico y hace la reparación más corta.

- Teniendo en cuenta **las excepciones** que requieran una parada planificada ya sea para prevenir una falla de un equipo envejecido, para corregir una falla potencial u oculta o para realizar modificaciones

3) Mejor Calidad de Producto

Concentrarse en la calidad del producto suministrado favorece mucho la mejora del rendimiento de los procesos automatizados. El **medir** el aumento de la calidad del producto, si bien no es una función estricta del Mantenimiento, se halla vinculado con él y a la totalidad del proceso gerencial de manera inseparable.

4) Mayor Eficiencia de Mantenimiento (Costo – Efectividad)

- Con el **RCM2** se puede controlar el crecimiento de los costos de Mantenimiento efectuando: menos Mantenimiento de Rutina ya sea por reducción en el número de las tareas o ampliación del tiempo entre tareas y ello puede ser mayor si se trata de equipos nuevos.
- Mejor contratación de servicios de Mantenimiento debido a un mejor conocimiento de los tiempos de respuesta para cada tipo de falla. Respuestas muy rápidas pueden ser muy costosas, y muy lentas, catastróficas. **RCM2** permite el ajuste fino.
- Menor necesidad de contratar expertos costosos aumentando el intercambio de conocimiento en las reuniones **RCM2** de técnicos con los

empleados del proveedor. Ello permite, si se ejecuta bien, un salto cuántico en la habilidad de los mantenedores para resolver problemas difíciles gracias al efecto sinérgico del enfoque adoptado.

- Especificaciones más claras para la adquisición de nueva tecnología de Mantenimiento aplicando el análisis de factibilidad para adquirir los equipos de monitoreo de la condición, que suelen ser costosos
- Diagnósticos de falla más rápidos, detectando fallas potenciales antes de que se conviertan en fallas funcionales, reduciendo la posibilidad de fallas secundarias costosas.
- Reducción o eliminación de grandes paradas con listas de trabajos más cortas para las paradas necesarias
- Eliminación de plantas superfluas antes que sus grandes fallas ya no sean rentables o atendibles por pérdida de confiabilidad
- Instruyendo cómo la planta debe ser operada y en la identificación de las fallas crónicas. Ello reduce el número y severidad de las fallas y reduce también el gasto de Mantenimiento. Un simple mal hábito operacional (como ajustar mal una llave) puede costar a la empresa millones de USD a corto plazo.

5) Vida útil más larga de componentes caros

- Asegurándose que cada equipo reciba el mínimo Mantenimiento esencial de manera que lo que puede hacer se mantenga por encima de lo que los usuarios desean que haga. Esto se consigue prefiriendo siempre que sea posible el ***Mantenimiento a condición*** antes que cualquier otra técnica

de Mantenimiento. Un equipo puede llegar así a durar mientras halle repuestos y su estructura de Mantenimiento básico exista

6) Mayor Motivación para el personal

- El personal involucrado en el proceso de Revisión puede aumentar su Motivación al aumentar sus competencias y su auto-confianza involucrándose en entender con más claridad las funciones de un equipo y de lo que debe hacerse para mantenerlo activo. Por otra parte el no responsabilizarlo por lo que está más allá de su alcance los hace trabajar más cómodos y seguros, lo que se refuerza bastante si hay objetivos claros que cumplir por cada uno, sabiendo cada cual lo que le corresponde. En suma la mayor competencia, confianza, comodidad y sentido de pertenencia obtenida por el trabajador, gracias al **RCM2**, predispone al personal a trabajar correctamente desde el comienzo

7) Mejor Trabajo en equipo

- El trabajo altamente **estructurado** del **RCM2** propicia y favorece mucho al trabajo en equipo que es justamente la forma de organización inmediata más favorable y efectiva del modo de trabajar actualmente en las plantas industriales modernas. El uso de formatos claros y gráficos para reunir la información operativa, estructurada para **facilitar las decisiones**, canaliza el esfuerzo del grupo hacia la solución de los problemas de mantenimiento de manera eficaz y eficiente, en función de **la totalidad** de la empresa.

8) Base de Datos de Mantenimiento

- Las **Hojas de Información** y de **Decisión** permiten: Adaptarse a circunstancias cambiantes; Suministrar evidencia pormenorizada y ordenada de datos para **pruebas de Auditoria**; mayor precisión y con énfasis en la funcionalidad sobre la construcción en los **Dibujos y Manuales** de los equipos; Generación de **Sistemas Expertos** (Modelos Matemáticos, Lógicos y Conceptuales del Mantenimiento) a partir de las Hojas de Información ordenadas

9) Marco de Referencia Integrador

- Provee un efectivo Marco de Referencia paso a paso para **atacar a la vez a todos los aspectos** involucrados en el Mantenimiento e involucrar a **todos** los que tengan que ver con los equipos aunque no sean del área de Mantenimiento.

*¿Cómo se traducen estos Objetivos Generales dinámicos del **RCM2** a los Objetivos concretos, **en primera aproximación,** del Sistema de suministro de agua en cuestión, en un Informe de tipo esencialmente Descriptivo como el presente*?

En términos de los **Objetivos concretos** de **verificación** siguientes:

Verificar la existencia de **Criterios explícitos** de Diseño y estandarización definidos para equipos nuevos, mandados fabricar o a adquirir para el Sistema de suministro de agua, que sean **congruentes** con el Programa de Mantenimiento

establecido, el **RCM2**.

Verificar si el proceso de **Estudio de Riesgos** en el Sistema de suministro de agua se realiza con arreglo a los Principios, Reglas e Instrumentación señalados por el **RCM2**.

Verificar si el proceso de **Monitoreo de Condición** en los componentes del Sistema de suministro de agua, se realiza bajo los mismos Principios y de manera particular en cada uno de ellos.

Verificar si el proceso de **Análisis de modos de falla y sus efectos** en los componentes del Sistema de suministro de agua, se rige por los mismos Principios y con detalle en cada uno de ellos.

Verificar si el **Trabajo multifacético y en grupos** se efectúa en el Mantenimiento del Sistema de suministro de agua con arreglo a las Reglas del **RCM2.**

Verificar si los **Sistemas Expertos** disponibles en la empresa pueden generar aplicaciones específicas de Mantenimiento para el Sistema de suministro de agua.

Verificar si los **Sistemas de Cómputo y Redes** disponibles en la empresa tienen conectividad específica, rápida y sencilla para el personal de Mantenimiento del Sistema de suministro de agua.

1.3 ALCANCES

El análisis de la Aplicación del Método de Mantenimiento **RCM2,** en las condiciones concretas de una Instalación específica, como es el caso de una central de generación eléctrica de la empresa **Edegel SAA** y solo para su Sistema de suministro de agua, las evaluaciones numéricas hechas, al ser

esencialmente lineales y por lo tanto solo de primera aproximación, son **extrapolables** a sistemas similares con una confianza estadística normal de 95%, lo que es usual en los estudios de ingeniería básica. Esto asegura su validez para el ámbito de cualquier otra organización del país que use el agua con métodos industriales en instalaciones comparables o superiores a la aquí estudiada.

1.4 BASES Y CRITERIOS CONSIDERADOS

Mostrar con detalle y solvencia técnica las ventajas del **RCM2,** para el caso específico de los sistemas de suministro de agua de una gran organización, donde se ha adquirido experiencia ingenieril de primera mano, es de la mayor relevancia no solamente por la ya apuntada importancia de la necesaria **gestión competente del agua** en nuestro país, sino también para el aumento sostenido de la **productividad** y **competitividad** de las empresas industriales involucradas, tradicionalmente débiles en estos aspectos, toda vez que estos dos factores son acaso los más necesarios para la industria y en general para la economía nacional en esta etapa de crecimiento que, bien conducida, debe llevarnos a superar a mediano plazo y en definitiva nuestro subdesarrollo histórico.

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

1.5.1 Aspectos Teóricos

1.5.1.1. Generalidades

Esta Central requiere para operar de un sistema de Captación y

Suministro del agua, conduciéndola desde su lugar de origen hasta la Central. El agua se obtiene de la capa freática por medio de pozos y bombas de inmersión.

El sistema de abastecimiento de agua de la central está constituido por 5 electro bombas de agua de pozos, ubicados en el exterior de la central a 2 km. aproximadamente a ambas márgenes del río Chillón, y por un sistema de tuberías de suministro hacia la planta a través de dos ramales.

La función principal del sistema es suministrar agua a 3 tanques de almacenamiento; agua necesaria para el proceso de generación en el ciclo combinado, para el servicio interno y para el sistema contra incendio de la central. Los tanques de almacenamiento son el TK1 de 4500 m^3, el TQ1 y TQ2 de 750m^3 cada uno; todos ellos ubicados en el interior de la central.

El proceso de abastecimiento es gobernado por un sistema de control distribuido operado en forma local y remota.

1.5.1.2. Datos técnicos de los pozos de agua[9]

El Pozo **1** tiene las siguientes características

- Potencia de motor superficial 200 hp (149,14 KW)
- Tensión de motor superficial 460 VCA

[9] Véase fotos en apéndices B1; B2; B3 (págs. 68; 69; 70)

- Caudal de bomba sumergible 950 gpm (215.8 m^3/h)
- Altura de bombeo 125 metros
- Presión de descarga de bomba 117 psi (7.8 bar).

El Pozo **2** tiene las siguientes características

- Potencia de motor superficial 180 hp (134,23 KW)
- Tensión de motor superficial 460 VCA
- Caudal de bomba sumergible 950 gpm (215.8 m^3/h)
- Altura de bombeo 125 metros
- Presión de descarga de bomba 117 psi (7.8 bar).

Los Pozos **3, 4, 5** están constituidos cada uno por:

- Una electro bomba sumergida, con un motor de 175 hp (130,5 KW)
- Tensión de motor sumergido 460 VCA
- Caudal de bomba sumergible 80 l/s (288 m^3/h)
- Altura de bombeo de 142 metros
- Presión de descarga de bomba 90 psi (6 bar).

Un antiguo ramal de tuberías de acero al carbono de 8" desde el pozo 2 al pozo 1 y del pozo 1 hacia el TQ1 con tuberías de fibrocemento de 12" y un ramal nuevo de tuberías de HDPE de 16" desde cada uno de los 5 pozos hacia el TK1.

En la línea común de descarga de los pozos 3, 4, 5, se cuenta con dos tanques hidroneumáticos de 2 m^3 c/u para compensar las fluctuaciones de presión.

1.5.1.3. Equipos y componentes del sistema.

Una descripción **detallada y pormenorizada** de todos los aspectos relativos a Equipos y Componentes de este Sistema de suministro de agua, cuando se encontraba en su fase de Planeamiento, se muestra en el **Apéndice (1).**

En el presente Informe cabe resaltar los aspectos relevantes del mismo para su Mantenimiento bajo los principios y Métodos del **RCM2.**

- El Sistema de suministro de agua se desagrega en 4 sistemas subordinados:

✓ Sistema de suministro, almacenamiento y distribución de agua cruda[10]

✓ Sistema de suministro, almacenamiento y distribución de agua desmineralizada[11]

✓ Sistema de circulación y distribución de agua en el proceso.[12]

✓ Sistema de conducción y tratamiento de efluentes.[13]

- Los equipos principales que se agregan a la Central Ventanilla como parte del proyecto de ampliación a Ciclo Combinado se mencionan en el apartado 1.1.3.

1.5.2 <u>Proceso productivo del sistema de suministro de agua</u>

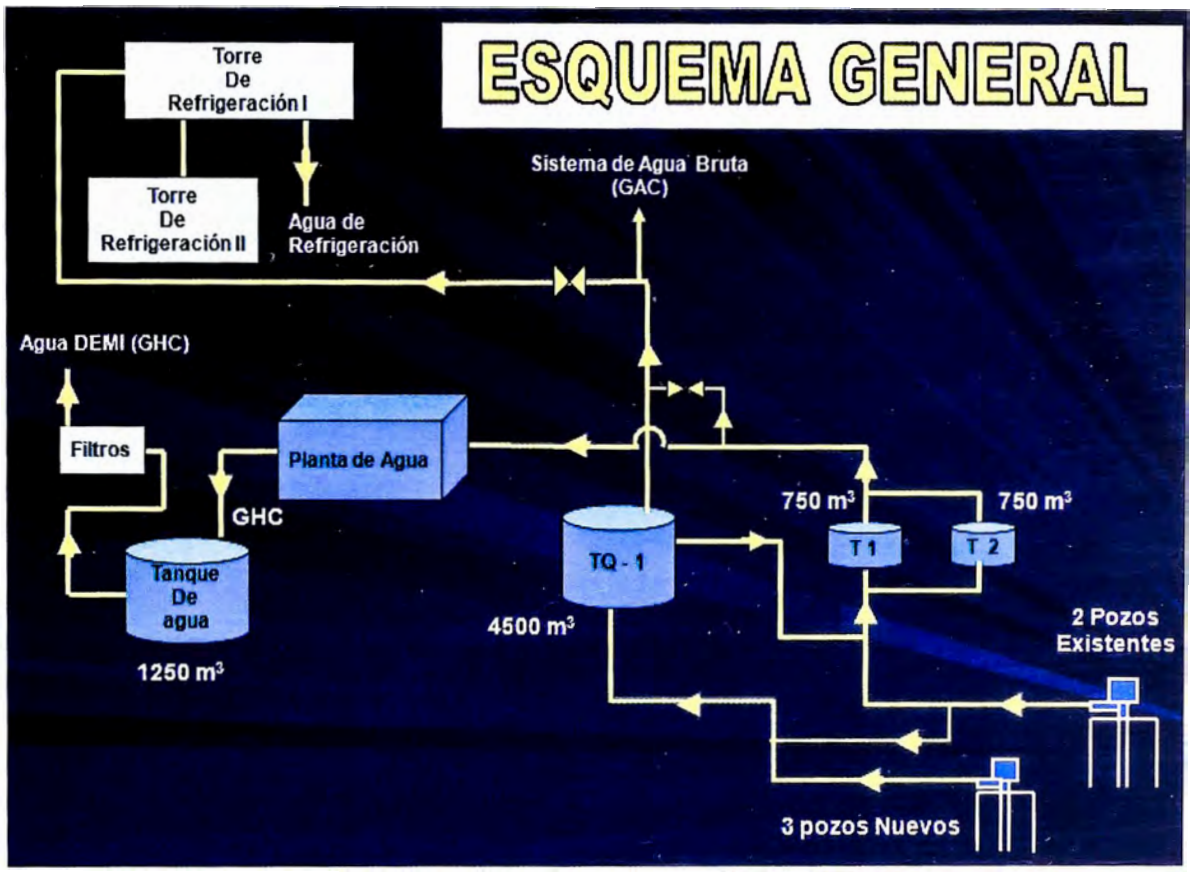
El agua cruda es obtenida de cinco pozos profundos, tres de ellos nuevos, ubicados en la faja marginal del río Chillón y dos antiguos

[10] Véase en la foto del apéndice B4 (pág. 71)
[11] Véase en la foto del apéndice B5(pág. 72)
[12] Véase en la foto del apéndice B6(pág. 73)
[13] Véase en la foto del apéndice B7(pág. 74)

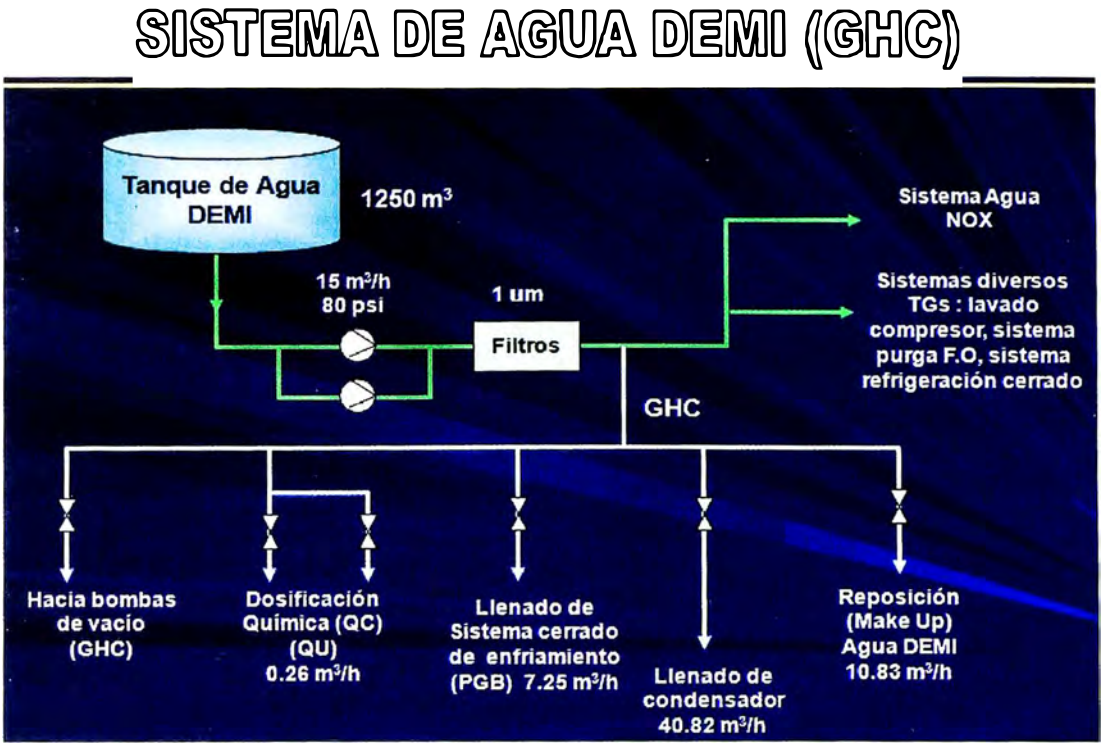
ubicados en la zona urbana próxima a la central. El agua es conducida por una tubería hasta el tanque de compensación de 4500 m3 ubicado dentro de los límites del sitio de la Central Térmica Ventanilla y luego se distribuye por gravedad a la planta de ciclo combinado para cubrir los consumos de las torres de enfriamiento, la planta de agua desmineralizada, sistema de agua bruta y los estanques de agua de almacenamiento que atienden otros servicios de la Central (servicios higiénicos y contra incendio).

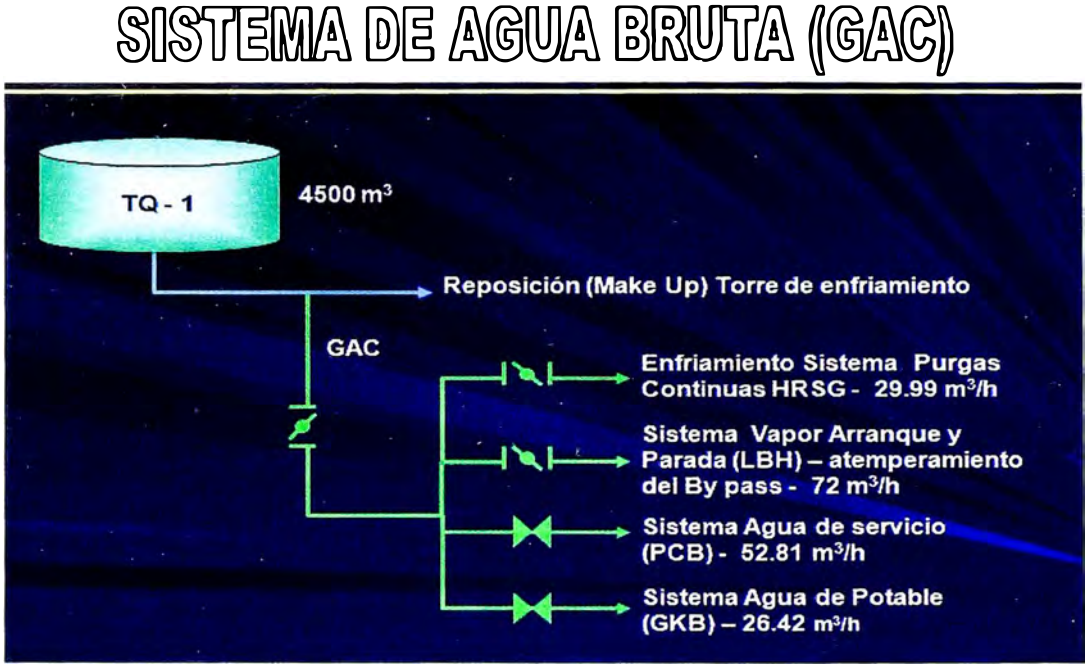
Para los requerimientos de caudal y calidad de agua desmineralizada para el ciclo combinado, se utilizará la planta de tratamiento de agua existente. El sistema capta el agua cruda de los dos tanques de 750m^3, luego es tratada y enviada a un tanque de almacenamiento de agua Demi de 1250m^3, de este tanque es distribuido para los diversos usos del agua en la planta, principalmente en la reposición de las calderas.

Se muestra el esquema general:



Se describirá gráfica y escuetamente el sistema de producción de los sistemas de Agua Demi y Bruta que son parte del proceso de producción del Sistema de Suministro de Agua.





1.5.3 Capacidad de producción

La central necesita, para garantizar la confiabilidad de la operación del Ciclo Combinado a **plena carga** (TG3 + TG4 + TV), el suministro

mínimo de agua de 450 m^3/h, y a **media carga** (TG + TV) de 240 m^3/h, pudiendo operar simultáneamente hasta tres pozos solamente a fin de proteger la tubería de descarga, siendo la combinación de operación mínima la de dos pozos.

CAPITULO II

IMPLEMENTACION DEL RCM2 EN EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA

INTRODUCCION

El presente es un estudio de los resultados en relación a la implementación del estudio final del RCM2 del Sistema de Suministro de Agua realizado por Edegel S.A, se toma en cuenta de manera resumida todos los aspectos del mantenimiento en consecuencia al RCM2, su desarrollo actual y la metodología de su aplicación.

El propósito, no es desarrollar un instructivo de cómo realizar la aplicación, sino sencillamente explicar el caso para extraer enseñanzas prácticas en futuras aplicaciones del RCM2 en distintos sistemas, maquinas o equipos no solo para empresas de generación eléctrica, sino pues, para todo el ámbito industrial.

La implementación del Mantenimiento centrado en la Confiabilidad requiere profesionalismo y esfuerzo de todos los involucrados, ´para solucionar y superar la diversidad de problemas que surgieron y seguramente seguirán surgiendo en el desarrollo del mismo.

El estudio del RCM2 es de carácter dependiente de la capacitación y aprendizaje de las personas que actúan en el mismo, generando un notable cambio cultural que continuara mejorando el desempeño del personal técnico de la empresa a medida que pase el tiempo y prosiga la retroalimentación continua.

2.1 EL MANTENIMIENTO EN LA C.T VENTANILLA

2.1.1 Gestión del mantenimiento

La Empresa dispone de un **Protocolo** de acciones previas a cualquier gestión de Mantenimiento, sea de tipo Correctivo o Preventivo. Este Protocolo está contenido en la Directiva **Edegel** SAA P. MT. 003, de fecha 18 de Setiembre del 2008, si bien está restringido a las Intervenciones en las Instalaciones Hidráulicas, es un buen ejemplo de la Filosofía de esta empresa en materia de Mantenimiento, muy congruente con las especificaciones del **RCM2,** donde los factores de **Seguridad**, **Medio ambiente**, **Servicio** e **Integridad de los equipos,** se atienden globalmente y **en ese orden** de prioridad y urgencia[14].

Es decir mediante el mantenimiento centrado en la confiabilidad se debe garantizar el flujo de agua descrito anteriormente que es de vital importancia para la capacidad base del ciclo combinado y también la calidad de operación, garantizar que el agua llegue con la calidad requerida es decir sin permitir que se contamine en el trayecto por

[14] Véase **[15]** sobre el orden de prioridades en el **RCM2**. Por contraste, no es raro encontrar en instalaciones de ciertas empresas anticuadas y descuidadas de nuestro medio, que el orden de Prioridad sea inverso a este, con el Medio ambiente al final de la lista.

roturas desgaste de materiales en la línea etc.

La calidad de agua de los pozos con que se opera actualmente es

Conductividad específica: 1400 us/cm en promedio.

Dureza total: 550 ppm en promedio

Concentración de sílice:20 ppm en promedio

Alcalinidad: 220 en promedio

PH :7.10 en promedio.

Una vez efectuada la **desconexión** del equipo o sistemas a mantener, la Directiva prevé un conjunto de **señalizaciones** con tarjetas de color vivo (entre amarillo y rojo bermellón) para marcar los mandos desconectados, reforzando la Seguridad del personal y de la planta.

En estas condiciones la OT ya puede ser emitida para proceder al Mantenimiento, sea Correctivo, Preventivo o Proactivo.

2.1.2 Generación de OT

La Empresa dispone de un conjunto de **Criterios** previos a **cualquier** trabajo de Mantenimiento que se decida realizar. Esta lista de Criterios[15] **es congruente** con la Metodología **RCM2:**

- *No se debe de realizar ningún tipo de intervención en una instalación que se encuentra en servicio fuera del programa establecido, de ser indispensable el Jefe de Central deberá de autorizarlo.*
- *Toda intervención en las instalaciones de la Central debe de tener un Permiso*

[15] Véase la Directiva **Edegel SAA** P.GE. 001 de fecha 12 Marzo del 2009

*de Trabajo. Para el caso de trabajos de emergencia se puede intervenir con un permiso de trabajo sin **N°** de OT y luego se regulariza.*

- *Toda instructiva en función de su criticidad deberá tener una Cartilla de Maniobra con campos para el "check list", donde se indique claramente las condiciones previas y la secuencia de ejecución para que todos la ejecuten de la misma manera.*
- *La aplicación de la Cartilla de Maniobra estará a cargo de un Operador que cumplirá el rol de Coordinador y contará con Operadores de Apoyo que ejecutarán las maniobras en distintas áreas programadas.*
- *Las maniobras son un "rito", una "ceremonia" que se ejecutará secuencialmente y de manera continua. Cualquier interrupción, significará el aborto de la maniobra y su reinicio desde el punto inicial.*
- *En general para la ejecución de los trabajos que impliquen tareas múltiples con riesgo eléctrico, deberá considerarse la desenergización total de la instalación.*

La congruencia con la Metodología **RCM2** se evidencia en la **estructuración** de los pasos preliminares a cualquier **OT** y la secuencia metódica de las acciones a realizar con previsiones definidas y claras de interrupción en todo momento; no hay pues pasos ni etapas **aisladas**, todo el proceso es **orgánico** e **integrado**. Sin embargo se observa que **aún no se usa** en las instalaciones una Hoja equivalente al importante *Diagrama de Decisión del **RCM2**,* que es la continuación lógica del proceso de reflexión con los Criterios antedichos. Los Avisos vigentes M1 y M2 sobre "anormalidades" observadas no son equivalentes a este

esencial Diagrama[16]. Tampoco lo es el *Informe de Análisis de Novedad Operativa*, P.GE. 001 de fecha 12 Marzo del 2009. Carecen ambos documentos del enfoque **integrador** del *Diagrama único de Decisión del* ***RCM2.***

El Formato de las **OT** de la empresa es de tipo clásico y en ese sentido, también congruente con el **RCM2** que prescribe un formato muy similar, aunque con la importante **diferencia** de que en este caso la **OT** es generada **desde** el *Diagrama de Decisión del* ***RCM2.***

Las **OT** se generan desde una aplicación de Base de Datos, como un Formulario[17] con el título de *Notificación de Orden MT.* No parece haber nada remarcable en este Formulario que merezca una referencia especial ya que es en todo similar a las OT de planta de ingeniería, corrientes. Lo que sí es importante señalar es que las Notificaciones mantienen un estándar de Contenido que es estructurado de manera distinta, según provenga de un Aviso, del Plan de Mantenimiento Preventivo anual o de las Obras y Servicios de la empresa.

2.1.3 Indicadores de mantenimiento actual

Circunscrito al ámbito del Sistema de suministro de agua, como delimitación básica de este Informe, podemos señalar los siguientes Indicadores de Mantenimiento

En consonancia con la teoría expuesta hasta aquí, El Jefe de

[16] Véase la descripción detallada de este importante Diagrama, central en el RCM2, en [15]
[17] Véase la Directiva de Edegel SAA P. MT. 003 de fecha 18 de Setiembre del 2008, Anexo Nº 2

Mantenimiento apreciará de manera particular ciertos **indicadores medidos** de desempeño efectivo de los componentes de maquinarias y equipos a tomar en cuenta y monitorear de manera constante como son:

- Tiempo promedio para fallar – MTTF (Mean Time to Failure)
- Tiempo promedio para reparar – MTTR (Mean Time to Repair)
- Tiempo promedio entre fallos – MTBF (Mean Time between Fails)
- Disponibilidad – A (Availability)
- Confiabilidad. – R (Reliability)
- Mantenibilidad. – M (Maintenability)

Estos indicadores se miden por técnicas deterministas con instrumentos de medición exacta, o por medios estocásticos y probabilísticos con instrumentos de muestreo al azar. Por ejemplo los tres indicadores de tiempos son claramente estocásticos, mientras que los tres restantes, al ser indicadores complejos, participan de ambas características. Por ejemplo la **Disponibilidad** de un equipo se puede establecer registrando de manera exacta el tiempo de operación mensual por medio de un cronómetro sumando los parciales y dividiendo entre el tiempo total de trabajo, este es un método determinista. También se puede usar el método estocástico de tomar una muestra al azar de ella registrando si el equipo se halla operando, detenido o en reparación en tiempos escogidos al azar con una tabla de números aleatorios y su distribución de probabilidades. Ambos

métodos obtienen esencialmente el mismo resultado pero son métodos completamente diferentes y sus costos también lo son. Escoger entre ambos requiere **el juicio o criterio** del Jefe de Mantenimiento en función de los Principios dinámicos de las actividades de su empresa y ello implica estar involucrado en la Gestión **integral** de la misma.

La **Confiabilidad** es acaso el indicador más importante a tener en cuenta en una empresa del tipo que se estudia en este Informe. La razón estriba en que tiene que ver con los eventos irregulares no deseados o fallas de un conjunto de máquinas costosas de producción continua en un entorno adverso. La Confiabilidad es la probabilidad de un sistema de que, operando bajo ciertas condiciones, cumplirá su función sin fallas durante un intervalo específico de tiempo. Su medida es absolutamente necesaria para los componentes críticos de cualquier conjunto de maquinaria, en el Sistema de suministro de agua los componentes críticos son principalmente las bombas sumergibles, las calderas y los generadores. La medición en cuestión no es nada fácil debido a la naturaleza misma de las fallas posibles. Una falla catastrófica será fácilmente reconocida, pero otras tienen carácter insidioso de deterioro gradual y silencioso y su efecto nocivo resulta imperceptible por mucho tiempo. Una misma falla puede tener diversas causas muy diferentes en importancia y costo y tener diversas consecuencias también muy diferentes en su impacto operacional y económico, y todo esto debe saberse lo antes posible. Aquí se presenta la principal limitación de los Indicadores de Mantenimiento

corrientes: Usualmente **NO MIDEN:**

- Las fallas potenciales PF (Potential Failure)
- Las fallas funcionales FF (Function Failure)
- Los Modos de Falla (sus causas estructuradas y tipificadas)
- Las Consecuencias de la Falla (estructuradas y tipificadas)
- El Monitoreo de Condición

Esto explica porqué el **RCM2, que sí las mide y las gestiona,** se halla en el centro de las consideraciones de la empresa **Edegel SAA** y de este Informe.

2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL RCM2 EN EL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA

Durante el año 2004 la corporación de Endesa decide implementar el RCM2 a nivel de todas sus plantas de energía eléctrica como se explico anteriormente, por tal razón la EDEGEL S.A la incluye en su filosofía de mantenimiento.

La central de ciclo combinado encargo a sus especialistas de mantenimiento realizar un estudio de criticidad en su planta con la herramienta conocida como Pareto con la cual se designo después de 3 meses realizar el estudio de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM2) al sistema de suministro de agua del ciclo combinado en el cual eran recurrentes las fallas y donde se tiene como principal problema de nivel de napa, la dificultad en reparar de una bomba su eje infinito e instalar en caso de falla la bomba de respaldo la cual dura un día de trabajo.

Se realizaron cursos de capacitación de varios días a los facilitadores y a los miembros del análisis el fin era que el personal idóneo este completamente entrenado en la técnica de RCM2 es decir sus conceptos importantes, para iniciar el estudio de manera satisfactoria.

Todos los participantes mostraron entusiasmo en la aplicación de la técnica que inicio un cambio cultural y permitió calcular beneficios potenciales importantes.

El estudio de RCM2 se realizo un día a la semana por 6 horas, en el cual participo el facilitador y el grupo especialista, se tienen mucha confianza en el éxito del estudio y poder implementar el plan de decisiones en el programa anual de mantenimiento.

2.3 FUNDAMENTOS

a) Mantenimiento

Implementar la Metodología **RCM2** al Componente del Suministro de Agua al Ciclo Combinado de la Planta de Ventanilla implica necesariamente que la Gerencia de Mantenimiento deba **decidirse** por algunos subconjuntos específicos y muy puntuales del Conjunto total de Métodos y Técnicas **RCM2** implementados por Edegel SAA en el Perú y ello implica también **decidir** cuál será el Programa de Implementación **concreto** a establecer dentro del tiempo disponible para actuar.

Se ha examinado más arriba la naturaleza y ventajas del **RCM2** para instalaciones industriales genéricas, sus Principios, Reglas e Instrumentos de acción en campo. Ahora es necesario describir cómo una Metodología tan amplia y general puede particularizarse cuando se trate de implementarla para

una instalación concreta como es el Sistema de suministro de agua en cuestión. Conviene empezar preguntando qué tipo de Mantenimiento en definitiva podría obtener la Gerencia de Mantenimiento de la instalación indicada y la respuesta es que el **RCM2,** si bien es de tipo esencialmente Proactivo, permite incorporar los tres tipos básicos de Mantenimiento (Correctivo, Preventivo y Proactivo) y todas sus derivaciones de manera **integrada** rigurosa y planificada, con la flexibilidad y concreción necesarias y a costo óptimo, a condición, claro está, de que se implemente correctamente y se aplique a largo plazo con los recursos necesarios. Ello implica **Compromiso** y **Decisión Estratégica** por parte de la Dirección de la Organización, lo que debe derivar de una muy clara Visión y Misión asumida y de los resultados concretos del FODA **analítico** organizacional.

b) Objetivos del mantenimiento

Las expectativas que actualmente se pueden tener como logros de Mantenimiento concretos, **seguros** de obtenerse con el **RCM2** son los siguientes[18]

- Mayor **Disponibilidad** y **Confiabilidad** de los Sistemas
- Mayor **Costo-Efectividad** del proceso de Mantenimiento
- Mayor **Seguridad** de los Sistemas
- Minimización del **Daño** Ambiental
- Mejor **Calidad** de los Productos o Servicios atendidos
- Mayor **Duración** de los equipos involucrados

[18] ING. FERNANDO ESPINOZA FUENTES "*Desarrollando el Modelo RCM*" Charlas especiales de Mantenimiento

Parece natural fijarse como **Objetivos** del Mantenimiento **específico** del Sistema de suministro de agua en cuestión estos seis objetivos genéricos pero **particularizados** para este sistema concreto del siguiente modo:

- Mayor **Disponibilidad** y **Confiabilidad** de los cuatro sub-sistemas que conforman el Sistema de suministro de agua
- Mayor **Costo-Efectividad** del proceso de Mantenimiento del Sistema de suministro de agua
- Mayor **Seguridad** operacional de los cuatro sub-sistemas que conforman el Sistema de suministro de agua
- Minimización del **Daño** Ambiental en torno a las orillas del río Chillón y lugares aledaños habitados
- Mejor **Calidad** del Servicio de suministro de agua encomendado al Sistema
- Mayor **Duración** de los equipos involucrados en todo el Sistema.

La tarea que realiza este Informe es **verificar** si el Mantenimiento **actual** del Sistema de suministro de agua en cuestión **se dirige** hacia estos objetivos de manera explícita o implícita, sea con mayor o menor **eficacia.**

Por otra parte la tarea es también **verificar** si Los Principios, Reglas e Instrumentos del Mantenimiento actual son **congruentes** o no con los del **RCM2** y por ende obtener los elementos de juicio necesarios para comprobar si el **Objetivo general** trazado en el parágrafo es atenible o no.

c) **Tipos de mantenimiento**

No es raro que al obtener en una planta industrial maquinas, equipos y sistemas

con tecnología moderna esta disten de ser perfectas en su optimo funcionamiento, y pues al recibirlas, no se obtenga información alguna acerca del mantenimiento óptimo, periodicidad de la sustitución de piezas, datos sobre la contaminación de sus elementos operativos y muchos más. Esta es una de las razones por las que existen diferentes tipos de Mantenimiento, cada uno con marcado énfasis en determinado **tipo de información** específico y su técnicacorrespondiente. Entre estos tipos destacan particularmente él:

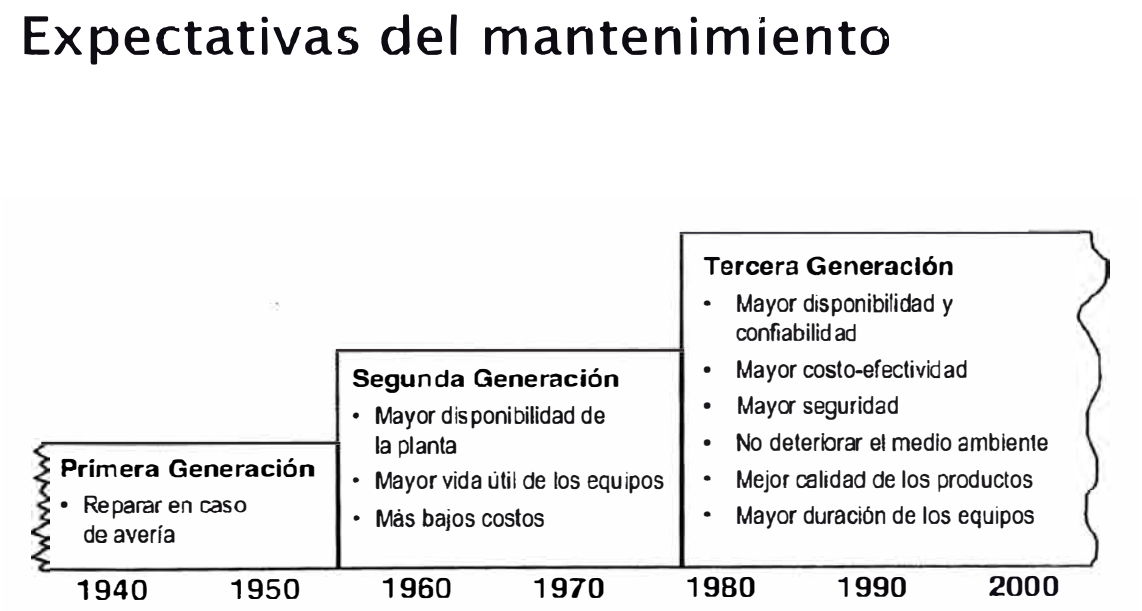
- Mantenimiento centrado en la Confiabilidad.
- Mantenimiento Predictivo o basado en la Condición.
- Mantenimiento Preventivo o basado en el Tiempo.
- Mantenimiento Defectivo o basado en la búsqueda de Fallas.
- Mantenimiento Correctivo u orientado a la Rotura.
- Mantenimiento Meliorativo o de Rediseños.
- Mantenimiento Reactivo o por Acontecimientos.
- Mantenimiento Proactivo o Planificado y Sinérgico

Estos tipos de Mantenimiento, más que comparables o excluyentes entre sí, son complementarios en una empresa dada. Por razones obvias, casi siempre uno de ellos predomina marcadamente sobre los demás dependiendo de los equipos y/o las condiciones específicas del entorno que ha encontrado el Jefe de Mantenimiento y de la política que desea establecer la empresa. Los tipos más importantes para este caso concreto son el primero y último de la lista y ambos se discuten con detalle en el Informe con el nombre de **RCM2**.

2.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM2

Para verificar si la empresa **Edegel SAA** viene implementando correctamente el **RCM2** debe establecerse si esto se realiza:

- Con arreglo a los **Principios, Reglas e Instrumentos** de esta Metodología de Mantenimiento
- Si los procedimientos de implementación adoptados están **claramente orientados** hacia la obtención de las expectativas del mantenimiento de tercera generación:



Esta verificación se realizó solo en primera aproximación[19] examinando diversos registros y documentos de Mantenimiento (Véanse los apartados Anexos) de la empresa sobre tres aspectos fundamentales del mismo:

- ✓ **Formación del Equipo de trabajo** (El personal encargado de implementar)
- ✓ **Metodología del Trabajo** (Métodos adoptados por este personal)
- ✓ **Aplicación de la Metodología del RCM** (Grado de ajuste al Método **RCM2**)

Estos se analizan por acápites separados a continuación:

2.4.1 Formación del equipo de trabajo

El Equipo de trabajo para la Implementación del **RCM2** para la Instalación del Ciclo Combinado, lo que incluye al Sistema de suministro de agua, estuvo conformado por los siguientes trabajadores:

Facilitador: Fernando Sarmiento (Mantenimiento Eléctrico)

Jefe de Mantenimiento: Luis Estrada T.

Ingeniería de Mantenimiento: Daniel López M.

Mantenimiento Control: Oscar Rivera G.

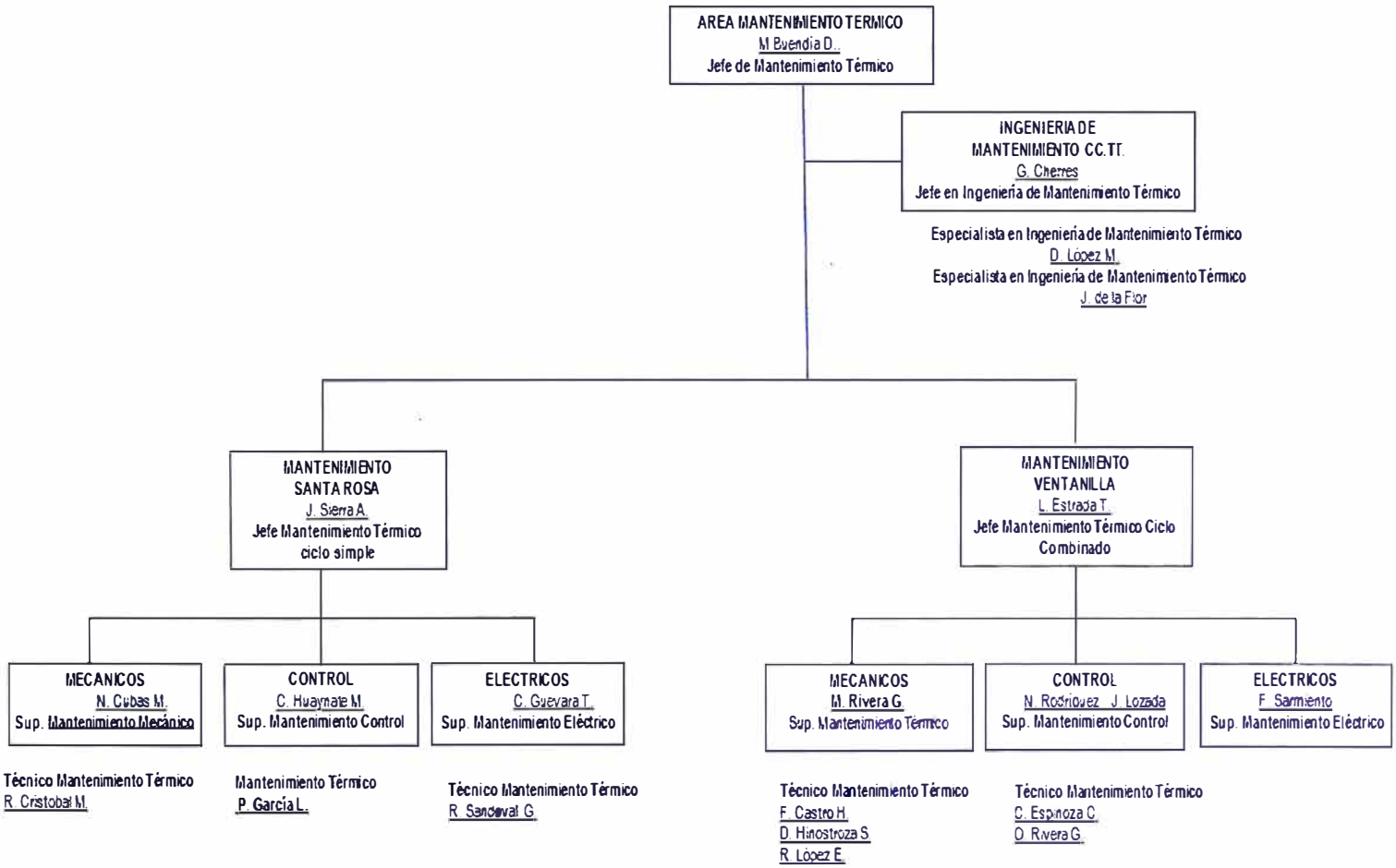
Ingeniería de Mantenimiento: Guillermo Cherres W.

Consultor: Ellmann, Sueiro y Asociados

[19] Es decir con datos registrados de **corto plazo y** por lo tanto no dependientes del tiempo. En una investigación más completa, deben analizarse datos dependientes del tiempo para entender la **dinámica** del sistema

Todos ellos calificados en **RCM2** y con amplia experiencia técnica y laboral en Mantenimiento.

Para mejor entendimiento de la ubicación en la cual se desempeña cada trabajador que conforma este equipo de estudio del **RCM2** en la planta Térmica, se mostrara el Organigrama del área de Mantenimiento del Ciclo Térmico en General, dotada de 21 trabajadores:



2.4.2 Metodología del trabajo

El Equipo de trabajo decidió usar formatos de diseño propio para implementar el **RCM2** en toda la Planta de Ciclo Combinado, lo que

incluye el Sistema de suministro de agua. Estos formatos tratan de reflejar los del **RCM2**, conjuntamente con los usos y costumbres de la empresa en materia de Mantenimiento. El resultado final no parece haber sido muy exitoso por dos falencias graves:

- Ignora las **Consecuencias** de la falla como punto de partida de las Decisiones de Mantenimiento, esencial en **RCM2.**
- **No estructura** su información para facilitar el proceso decisorio. Los datos simplemente se tabulan en una hoja Excel haciendo difícil su explotación.

Puede decirse con segura confianza que este Equipo de trabajo no ha logrado una fiel implementación del **RCM2** en la empresa, sino solo una aproximación todavía muy preliminar de esta Metodología multidimensional.

2.5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL RCM2

Fluye de todo lo tratado hasta aquí que la Metodología RCM2 exige, como **condición ineludible** para obtener los resultados que promete su aplicación, el de ser implementado con **riguroso arreglo** a sus reglas propias. Esta Metodología recalca expresamente este aspecto **[15]** de su funcionamiento.

Es un hecho que **Edegel SAA** ha tenido en mente desde el comienzo este rasgo del **RCM2,** como lo prueba el texto de la Norma Operativa Nº 33,[20] arriba citada. Sin embargo en la práctica de su implementación se han observado numerosas infracciones a esta regla de buen orden y rigor, como se apuntó

[20] Véase el apartado 1.1 de este informe donde se cita in extenso este documento de la empresa

más arriba. Queda abierta la cuestión de cuál ha sido su influencia en la eficacia de su aplicación, lo que le exigirá necesariamente a la empresa un tiempo razonable desde el final de la implementación del **RCM2** para evaluar sus resultados.

La Metodología **RCM2** señala **expresamente** los modos de su Aplicación **errada** y advierte de los malos resultados que caben esperar de esto **[15]**. Resumimos algunos modos errados a tener en cuenta, especialmente útiles en nuestro medio, a juzgar por la experiencia de los Ingenieros de Mantenimiento:

- ***El análisis se realiza a un nivel demasiado bajo:*** El resultado es la demora excesiva en la aplicación; se incrementa el trámite de documentos y decae la calidad de las decisiones. Las consecuencias son la pérdida de interés de la gente, el incremento de los costos y la reducción de los objetivos.
- ***Superficialidad y acortamiento de plazos:*** La experiencia señala que se debe a la falta de preparación y planificación suficientes. Defecto característico en nuestro medio
- ***Demasiado énfasis en los datos de fallas:*** Es común que se exagere el valor de indicadores como el MTBF[21] atribuyéndoles casi todas las anomalías observadas. En cambio se descuidan los criterios, estándares y conceptos inferidos de la experiencia y la teoría. Este fenómeno es un indicio de tener personas poco preparadas en el equipo de Implementación.
- ***Encargar a una sola persona la aplicación:*** Este proceder, que trasunta nulo

[21] MTBF = Tiempo medio entre fallas (Mean Time Between Failures)

compromiso, fracasa necesariamente ya que los planes de trabajo serán con toda probabilidad incompetentes y la gente no se sentirá que pertenece a un equipo y no colaborará. Este fenómeno no es nada raro en nuestro medio y conduce a la irrelevancia y la trivialidad.

- ***Sentido de pertenencia bajo o nulo:*** El personal de Mantenimiento y los operadores actúan normalmente cuando comparten un fuerte sentido de pertenencia[22].En caso contrario se esforzarán al mínimo y solo para cumplir. Problema muy frecuente en nuestro medio. El **RCM2** necesita mucho sentido de pertenencia y cohesión en el equipo para funcionar y si es insuficiente empiezan a aparecer los reportes de logro falseados y los éxitos imaginarios de la Gerencia de Mantenimiento.
- ***Encargar solo a la Gerencia de Mantenimiento la aplicación:*** Esto suele deberse a la costumbre antigua en las empresas industriales de separar netamente el área de Mantenimiento del de Producción. Entonces se supone que es **solo** Mantenimiento quien debe encargarse de implementar y aplicar el **RCM2** y que los "usuarios" sean la gente de Producción. Pronto aparecerá el hecho de que la tarea le queda grande a Mantenimiento y los errores se empiezan a acumular junto con programas destinados a ocultarlo. En nuestro país es muy frecuente este enfoque anticuado.
- ***Encargar a terceros la aplicación:*** Esto suele suceder cuando los proveedores de los equipos se hacen cargo del Mantenimiento debido a que así parece ser más económico a la empresa sin pensar que así nunca se atenderán

[22] Véase al respecto la ***Teoría de las Necesidades Humanas*** de Abraham Maslow, distinguido Psicólogo transpersonal del siglo XX, de mucha relevancia en los temas laborales

los problemas del contexto operativo de conjunto. Pone en evidencia una dirección incompetente de parte de la empresa.

Peor es todavía “tercerizar” el Mantenimiento de la empresa a fin de ahorrar en personal. El **RCM2** advierte especialmente contra esta mala práctica, típica de las empresas sin Visión, Misión ni Planeamiento Estratégico propios. Caso todavía mayoritario en nuestro **país**.

CAPITULO III

ANALISIS DE RESULTADOS

INTRODUCCION

Los resultados económicos se encontraran perceptiblemente en la reducción de costos de mantenimiento y aumento de beneficios por mayor disponibilidad de equipos.

Al respecto enfatizamos la necesidad de determinar correcta y verazmente los verdaderos costos de fallas es decir ¡verdadero efecto de cada falla!

Hay detenciones de máquinas o equipos que no necesariamente detienen el proceso de producción, ni disminuyen la capacidad de alimentación, el tener máquinas o equipos de reserva llamados también auxiliares, interconectados a la línea de producción y de arranque automatizados, permite que no haya pérdida en la producción, es decir estaríamos lejos de aplicar el lucro cesante.

Es de gran importancia entonces conocer o determinar confiablemente el contexto de operación, es muy importante analizar y comprender en forma completa los efectos económicos de las fallas en el verdadero contexto de operación, solo haciéndolo podrá conocerse la verdadera criticidad de cada máquina y se podrá optimizar las estrategias del mantenimiento ya que si las consecuencias de una falla determinada no son las realmente supuestas, pueden dictaminarse tareas de mantenimiento que no son las realmente costo – eficaces que el RCM2 debe proponer.

3.1 MEDICIÓN DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM2

La Implementación del **RCM2** en la empresa **Edegel SAA** se ha efectuado aprovechando las experiencias previas de la empresa matriz **Endesa Chile** con esta Metodología de Mantenimiento. El examen de la documentación disponible presenta claras muestras de ello.

La implementación del RCM2 fue realizada por personal propio del área de mantenimiento, ingeniería , planeamiento y operaciones de la empresa teniendo como principales involucrados a los jefes y supervisores de mantenimiento mecánico y eléctrico(control) , especialistas en su respectiva área , los cuales han dedicado 06 horas todo los viernes durante un periodo en la capacitación por una empresa especialista en la implementación del RCM2 para la elaboración de este proyecto , sin que este pueda ser obstáculo para sus tareas diarias.

El costo de la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se encuentra detallado en el siguiente cuadro 3.1, el cual para dicho cuadro es decir para su elaboración se ha considerado aquellas etapas de mejora los cuales han involucrado la mano de obra tanto de de ingenieros, técnicos, artículos de oficina como hojas, impresiones, computadoras, etc y las diferentes capacitaciones de los supervisores, ingenieros y el personal.

Cuadro 3.1 Costos de la Implementación del RCM2

Implementación del RCM2	S/. 35,681.75
1. Situación actual del mantenimiento	S/. 6,699.00
Elaboración de las estadísticas de fallas	S/. 1,183.40

Elaboración de los costos de mantenimiento	S/. 4,500.0
Elaboración del indicador de confiabilidad	S/. 3,065.75
Elaboración de los informes de condición de equipo	S/. 8,283.75
2. Etapas del Mejoramiento del Mantenimiento	
Elaboración de las fichas técnicas de los equipos	S/. 1,672.45
Análisis de estadística de fallas	S/. 4,283.75
Análisis de criticidad de equipos	S/. 1061.25
Selección del tipo de mantenimiento de los equipos	S/. 961.25
Estudio de fallas	S/. 8500.25
Elaboración de tareas de mantenimiento	S/. 3,065.75
Elaboración de plan anual de mantenimiento	S/. 5,283.75
3. Capacitaciones	S/. 60,065.75

En cualquier caso se puede estar seguro de que el costo involucrado está perfectamente al alcance de una empresa de la magnitud de **Edegel SAA,** entre otras razones por no involucrar inversiones considerables en equipos complejos y/o personal muy especializado. Lo esencial es adoptar una **estrategia** de Implementación eficaz a cargo de un **equipo selecto** encabezado por un **Facilitador [15]** que debe tener:

- Tener Conocimientos Tecnológicos importantes
- Ser muy metódico y promotor del consenso
- Disponibilidad para trabajar a tiempo completo o parcial
- Conocer con razonable profundidad el Sistema a ser mantenido
- Debe ser empleado a tiempo completo de la empresa, no un extraño

Una idea **clave** es que los miembros del grupo **son los expertos** y no el Facilitador.

Hay hasta tres estrategias de Implementación diferentes a adoptar:

- Enfoque de Fuerza de Tareas
- Enfoque Selectivo
- Enfoque Amplio

El Enfoque de Fuerza de Tareas conviene adoptarlo cuando la empresa tiene graves problemas recurrentes que se atacan con pequeños grupos de tareas que realizan el Análisis **RCM2** intensivo de los componentes afectados. El costo principal se concentra en la preparación y entrenamiento de los grupos de tareas y la adquisición de la Instrumentación especial necesaria. Es **el más económico [15]** y puede ser el que obtiene **los mayores beneficios** debido a su elevado porcentaje de acierto y éxito en sus tareas. En cambio tiene poca incidencia para la participación, compromiso y práctica de los otros empleados de la empresa. Claramente este **NO** ha sido el enfoque adoptado por **Edegel SAA**

El Enfoque Selectivo es apropiado cuando se tienen problemas de tipo crónico difíciles de identificar con fenómenos característicos como tiempos de parada excesivos, mala calidad de producto, o costos de Mantenimiento elevados. También pueden implicar amenazas peligrosas a la Seguridad o al Medio ambiente. Por la vaguedad y extensión del problema se suele empezar focalizando solo el área con los problemas más graves y de allí ir pasando

selectivamente a las demás áreas. Este **ES** el enfoque adoptado por **Edegel SAA** que empezó la implementación en Agosto del 2008 en el área de suministro de agua de pozos y es de suponer esté concluido a la fecha en toda la empresa. En este enfoque es importante ordenar las áreas de la empresa y sus Sistemas por su importancia para la Dirección y proceder a implementar el **RCM2** en ese orden. La experiencia enseña **[15]** que entre el 20% al 40% de los Sistemas y Equipo de una empresa llega a estar cubierto por el **RCM2** al final de la implementación. La ventaja principal de este enfoque es que se consiguen retornos rápidos a la inversión en Mantenimiento y su costo es claramente menor a la implementación completa. Su inconveniente básico es que otorga el mayor énfasis a los equipos y sistemas y muy poco a la gente encargada, algo por lo demás muy común y acostumbrado en la industria nacional.

El Enfoque Amplio es, como indica su nombre, el análisis **RCM2** a todos los Sistemas y Equipos de la empresa de manera integral y exhaustiva a fin de poner el mismo énfasis al material y al personal desde la perspectiva del Mantenimiento. Es el mejor modo de implementar el **RCM2** y suele ser asumida por las empresas con una cuidadosa Planificación Estratégica a largo plazo y vocación de liderazgo en su rama. Tiene en contra el ser relativamente costoso y requerir intensivo apoyo gerencial. Puede hacerse por etapas. Formando a varios grupos de implementación, entre 4 a 5, con uno o dos Facilitadores cada uno, lo que puede tomar de 5 a 10 años en culminar su tarea en las empresas de gran magnitud. Su principal ventaja consiste en que es el que mejor

aprovecha la Metodología RCM2 en su totalidad pero tiene el inconveniente de poder ser descontinuado por una nueva gerencia que lo vea como algo "interminable", y su necesaria lentitud por que debe involucrar en el Mantenimiento a **todo** el personal de la empresa.

3.2 COMPARACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO

El **costo - eficacia**[23] de una tarea de Mantenimiento puede establecerse por una **comparación** de costos muy concreta:

Supóngase que una bomba sumergible del pozo 1 del Sistema de suministro de agua falla por estar ubicada en un nivel erróneo de profundidad. El costo por MWH es de aproximadamente 30 dólares.

El ciclo combinado genera 492MW Hen base, cuando sucede este tipo de fallas, se toma varias horas para el cambio por la bomba de respaldo, en el tiempo en que el tanque esta debajo del nivel de poder suministrar agua al ciclo a vapor, operaciones baja la carga a mínimo técnico, generando energía las turbinas a gas, dicha potencia disminuye a 300MHW.

La Oficina de Mantenimiento recoge los datos siguientes:

MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA

[23] Es mejor utilizar el término ***Eficiencia de Mantenimiento***, donde el concepto está más claro; el término empleado se debe a que es muy popular en el ámbito gerencial corporativo.

Los rodajes se traban	La bomba se detiene y no suena la alarma El tiempo de reemplazo de la bomba dura prácticamente un día de trabajo, no se realiza el cambio de rodajes por las limitaciones del equipo completo que se tiene. La ocurrencia de esta falla es de una cada 3 años

El grupo de análisis determina que el modo de falla es "rodajes trabados por error de operación" Se trata de una interrupción automática por profundidad incorrecta, con la alarma en sala de control desconectada

Se procede a tomar agua del tanque con un gasto de 800 litros / minuto, quedando vacío en 2,5 horas. El tiempo de para será: 9 – 2,5 = 6,5 horas. EL costo de la falla será [(6,5H) x 192MWx30$/MWH + Costo de Mantenimiento] = 37 600 USD, que debe cargarse a la cuenta de pérdida de producción, prorrateada en 3 años.

Es posible realizar el monitoreo de sonido de los cojinetes a razón de un día por semana. Es posible anticipar la falla al aumentar el ruido anómalo de los cojinetes y ello da tiempo para llenar los tanques, que pueden suministrar agua hasta por 5 horas, permitiendo el trabajo de reparación, que tomará 4 horas, **sin interrumpir** el suministro.

La estación de bombeo es casi automática, pero el monitoreo lo debe hacer un miembro del equipo de Mantenimiento y dura 20 minutos. El costo de personal es por lo tanto (30 USD / día) ÷ 3 = 10 USD. Si el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 3 años, se tendrán que hacer 50 x 3 = 150 operaciones de monitoreo a un costo de: 150 X 10 = 1 500 USD en 3 años + El Costo de Mantenimiento, es decir 5 000 USD.

La pregunta es entonces: ¿Vale la pena realizar este monitoreo?

A primera vista la respuesta es afirmativa ya que evidentemente La esperanza matemática del costo sin monitoreo = 37 600 X 1 es >> que la esperanza matemática del costo con monitoreo = 5 000 x 1 (el factor 1en ambas cantidades es la probabilidad de ocurrencia). Sin embargo debe analizarse más esta cuestión porque puede estar ligada a otras condiciones.

Los siguientes factores deben considerarse para **decidir** si conviene o no hacer el monitoreo:

- La probabilidad de que la falla es resultado de causas no controlables o no
- El beneficio del monitoreo para las operaciones futuras
- El costo del monitoreo

Conviene, para los fines de este estudio, analizar en profundidad el costo del monitoreo:

Tomar una decisión a nivel de Jefe de Mantenimiento requiere tener en cuenta **el tipo** de decisión que debe tomar, porque cada uno de ellos requiere muy **diferente** tratamiento decisorio:

- Decisiones bajo **Conflicto:** Hay varias opciones que dependen de un oponente, por ejemplo Decidir perforar un nuevo pozo sujeto a restricciones estrictas de parte del Municipio. Conviene utilizar la Matriz de Juegos para resolverlo
- Decisiones bajo **Riesgo:** Hay varias opciones que tienen probabilidades de ocurrencia conocidas por el historial acumulado, por ejemplo Decidir por el Monitoreo de Condición de una bomba sumergible conociendo su frecuencia de falla. Conviene utilizar la Teoría de Probabilidades
- Decisiones bajo **Incertidumbre completa:** Hay varias opciones sin probabilidades conocidas de ocurrencia por carecer de historial y además por

no conocerse su comportamiento, por ejemplo Decidir por perforar un nuevo pozo de agua en un área sin registros ni antecedentes del subsuelo. Conviene utilizar el Principio del Mini-Max para resolverlo.

Corresponde el segundo tipo de decisión, el de **Riesgo,** al caso que se está analizando: Decidir si conviene o no establecer el Monitoreo de la bomba sumergible del Pozo 1, y por ello se procede como sigue:

Alternativas de Acción	Estado Observado E1	E2
A1	R11	R12
	R21	R22

Donde:

A1 = Monitorear la Bomba sumergible del Pozo 1

A2 = **No** Monitorear la Bomba sumergible del Pozo 1

E1 = El Monitoreo reporta altos beneficios para las operaciones futuras

E2 = El Monitoreo **no** reporta altos beneficios para las operaciones futuras

R11 = Costo de A1 si ocurre E1

R12 = Costo de A1 si ocurre E2

R21 = Costo de A2 si ocurre E1

R22 = Costo de A2 si ocurre E2

Las Probabilidades involucradas (calculadas de los Historiales o evaluadas por un experto RCM2) son:

Estado Observado	Probabilidad
E1	P1
E2	P2
	P1 + P2 = 1

Donde:

P1 = Probabilidad de ocurrencia de E1

P2 = Probabilidad de ocurrencia de E2

La condición P1 + P2 = 1 expresa que los estados son mutuamente excluyentes. Basta conocer la probabilidad de uno de ellos para saber la del otro: P2 = 1 – P1

Los costos esperados serán entonces:

Alternativas de Acción	Estado Observado E1	E2	Costo Esperado
A1	R11	R12	R11P1 + R12(1-P1)
A2	R21	R22	R21P1 + R22(1-P1)
Probabilidad	P1	1 – P1	

La **decisión** de aplicar el Monitoreo a la bomba sumergible del Pozo 1 dependerá de cuál de los costos esperados de A1 ó A2, es el menor

Este método para la toma de Decisiones en condiciones de Riesgo puede extenderse por generalización al caso de las Decisiones de Mantenimiento con

y sin Investigación de causas **controlables** o no de la falla.

Ello se consigue con un cuadro de Costos más general:

Alternativas de Acción	Estado Observado E1	E2	Costo Esperado
A1	C	C - L	CP1 + (C – L) (1 - P1)
A2	0	L	L(1 - P1)
Probabilidad	P1	1 – P1	

Donde:

A1 = Investigar las causas

A2 = No Investigar las causas

E1 = La falla resulta de causas incontrolables

E2 = La falla resulta de causas controlables

P1 = Probabilidad de ocurrencia de E1

P2 = Probabilidad de ocurrencia de E2

C = Costo de investigar la falla

L = Costo agregado por no corregir las causas de la falla

Véase que al no hacer la Investigación no se incurre en el Costo C; sin embargo, si ocurre E2, se incurre en el costo L por no corregir estas causas; de allí la importancia de calcular el Costo esperado y decidir si la empresa puede asumirlo.

Este proceder permite obtener uno de los objetivos del **RCM2**: La **optimización**

del costo del Mantenimiento. Reducir drásticamente los costos evitables sin sacrificar Confiabilidad.

Examinando los documentos de Implementación del **RCM2** en la Empresa **Edegel SAA** se observa que las fallas son correctamente tipificadas y registradas por su modo y sus causas **en el formato** de la empresa[24] que **no es** estrictamente equivalente al Diagrama de Decisión de **RCM2** y por lo tanto NO SIGUE LA FILOSOFIA de **empezar** el proceso de toma de Decisiones de Mantenimiento por la **Evaluación de las Consecuencias** de la falla ANTES QUE CUALQUIER OTRA CONSIDERACION. Esta idea es CLAVE en **RCM2**, y no asumirla hace perder mucho la eficacia del Método que se implementa.

Esta FILOSOFIA de Mantenimiento de **RCM2** demostró, en el ámbito del sector aeronáutico de los EUA (muy exigente en materia de Confiabilidad y con márgenes de ganancia no muy altos), en los años 70, que era posible **reducir** costos de Mantenimiento, ***sin perder*** *Confiabilidad*, en mayor proporción que con el tradicional Reemplazo Programado del Mantenimiento Preventivo de aquella época **[15]**.

Sin embargo no ocurre igual con la Comparación de Costos de Mantenimiento del Sistema de suministro de agua. No se ha encontrado ningún análisis comparativo de costos equivalente al presentado en el ejemplo de este parágrafo y esto permite concluir, tentativamente, que esta empresa no ha aplicado todavía esta tecnología de optimización de costos de Mantenimiento propugnada por el **RCM2,** por lo menos en lo que respecta a este Sistema de

[24] Véase el Informe POZOS SUM AGUA (que exhibe este formato de la empresa) en el **Apéndice 2)**

suministro de agua.

3.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.3.1. Cálculo del ROI y el retorno (Rentabilidad de la implementación)

Es innegable que un factor de primera importancia para adoptar el **RCM2** en el ámbito del Mantenimiento de **Edegel SAA** es el económico. Pueden hacerse muchas preguntas acerca de su impacto en este respecto y la primera y tal vez más simple es: ¿**RCM2** puede contribuir significativamente a aumentar los Beneficios de la empresa? Más específica e indirectamente: ¿**RCM2** puede contribuir significativamente a reducir los Costos de producción de agua de suministro a la Planta por unidad de volumen?

Es perfectamente posible dar una respuesta razonable a estas preguntas en términos de la Matemática Financiera, siempre que se tuviese datos confiables y suficientes correspondientes a los periodos anteriores y posteriores a la Implementación del **RCM2**. Existe un indicador financiero muy útil para ello, el llamado ***Retorno sobre la Inversión*** (**R**eturn **O**n **I**nvestment) **(ROI)**

El ROI, el retorno de la inversión es de la mayor importancia, para saber si la empresa está gastando bien su dinero en nuevas inversiones, o reinvirtiendo en negocios que ya se hallan funcionando.

El ROI es un indicador de tipo Razón o **Ratio** que mide el **rendimiento**

de una inversión, o también permite evaluar cuan **eficiente** es el gasto que se planea realizar. La expresión matemática que lo define no puede ser más simple; es en función de la **inversión** realizada y el **beneficio obtenido**, o que se piensa obtener.

ROI = (Beneficio obtenido - Inversión) / Inversión

Al beneficio obtenido en una inversión (o que se planea obtener) se le resta el costo de la inversión realizada. Al resultado se le divide entre el costo de la inversión y el resultado es el ROI.

Por ejemplo, si se ha planeado una inversión de 108,560.00, se puede considerar si fuera el caso una tasa del 15% anual, para un periodo de 15 meses. Los periodos de inversión para el planeamiento de la implementación del RCM2 son de octubre a diciembre de los 2009 (03 meses) y los períodos de flujo de caja son considerados de enero a diciembre del 2010 (12 meses). Los valores de flujo de caja de enero a diciembre son una estimación de acuerdo a una curva de tendencia. Son considerados como flujos de caja los ahorros en el costo total de mantenimiento obtenidos en el año 2010 en comparación al año 2009. En el cuadro 3.3.1 se muestra los valores de inversión y beneficios del RCM2.Con este cuadro se calcula el VAN y el TIR.

El VAN calculado es igual a S/. 108,750.5, el cual es mayor que cero, por lo tanto nos indica que es rentable el proyecto.

El TIR calculado es igual a 31%, el cual es mayor que la tasa de inversión del 15 %, por lo tanto nos reafirma la rentabilidad del proyecto.

Con el análisis anteriormente hecho se puede decir que nuestro proyecto es rentable, pero cabe resaltar que este análisis solo ha sido considerado para un periodo de 15 meses, pero esta implementación del RCM2 es para un tiempo más prolongado, por lo cual el beneficio es mayor que él antes calculado.

Cuadro 3.3.1 Costos de inversión y beneficios del RCM2

Mes	**Inversión**	**Ahorro en costos de mantenimiento (S/.)**
Oct-09	-S/. 36,250.1	
Nov-09	-S/. 36,250.1	
Dic-09	-S/. 36,250.1	
Ene-10		S/. 10,566.5
Feb-10		S/. 22,422.9
Mar-10		S/. 24,162.3
Abr-10		-S/. 8,035.4
May-10		S/. 71,474.32
Jun-10		S/. 36,132.8
Jul-10		S/. 71,624.4
Ago-10		S/. 67,712.3
Sep-10		S/. 15,435.6
Oct-10		S/. 122,646.5
Nov-10		S/. 95,128.1
Dic-10		S/. 106,233.7

Con los valores obtenidos de inversión y beneficios en el costo del mantenimiento con el RCM2, es inevitable obtener el valor estimado del ROI.

Debe tenerse en cuenta además que si la Inversión es a largo plazo (si la empresa hace Planificación Estratégica) entonces tanto el Beneficio como los Costos en la fórmula del ROI deben hallarse descontados por actualización a su valor presente.

Esto involucra el concepto de **periodo de devolución** de la inversión que no es otra cosa que el número de años que se requieren para amortizar la inversión en cuestión. La manera más sencilla y realista de obtenerlo es por medio de la Técnica del Flujo de Caja. Sin embargo solo tiene sentido hacerlo para inversiones considerables y en el marco de una Planificación a largo plazo, porque en caso contrario las proyecciones de gasto e ingreso serían muy inciertas y de poco valor.

En el caso concreto de **Edegel SAA** y de su Sistema de suministro de agua aquí estudiado, no se han encontrado referencias contables o financieras que permitan el cálculo **efectivo** del ROI y del período de devolución; la documentación que fundamenta la decisión de optar por el **RCM2** en esta empresa es accesible solo a su personal ejecutivo superior. Sin embargo existen evidencias de mucho peso, avaladas por la experiencia internacional de estos últimos 20 años, en el sentido de que el **RCM2** obtiene en general un ROI muy atractivo comparado con otros sistemas de Mantenimiento alternativos y esta idea se refuerza

cuando se toma en cuenta que esta Metodología de Mantenimiento surgió y se expandió en el seno de la industria aeronáutica norteamericana, un sector tradicionalmente muy competitivo, exigente y aquejado de márgenes reducidos. De haber sido el **RCM2** poco rendidor, nunca habría "despegado" por así decirlo.

Por otra parte ningún Sistema puede ser mejor que la gente que lo crea o lo **aplica,** hay ejemplos muy concretos de efectividad impresionante del **RCM2** citados por J. Moubray (2004) **[15]** como es el caso de la planta procesadora de lácteos que aumentó en 16% su producción, o el de un alto horno cuya Disponibilidad pasó de 95% a 98%, que son realmente convincentes. Pero ello **solo se logró** porque **se implementó** el **RCM2** de manera **óptima.**

Esta es la razón por la que en este Informe se da **tanto énfasis** a la correcta Implementación del **RCM2** en **Edegel SAA** y de hecho es el tema central del Informe.

3.3.2. Cálculo de los indicadores del mantenimiento con la aplicación del RCM2

Es necesario combinar el cálculo con la observación y el registro de datos de campo para evaluar objetivamente y con precisión suficiente los Indicadores de Mantenimiento de un Sistema. Este es el Método clásico de la Ingeniería y el **RCM2** se basa plenamente en él. Un ejemplo lo ilustra convincentemente.

Se quiere calcular el MTBF[25] de 10 bombas sumergibles para pozos de agua que tienen 4 años de servicio con los siguientes datos:

10 bombas sumergibles x 4 años = 40 años de vida total en servicio

El motor de estas bombas se chequea una vez al año.

Se registraron en los 4 años de servicio 4 fallas importantes.

Por lo tanto: MTBF = 40 años de servicio total / 4 años = 10 años

Como se chequea cada bomba una vez al año, este intervalo resulta ser el 10% del MTBF. Esto es solo información promedio pues no se tiene el dato exacto de cuando un motor de bomba fallado dejó de funcionar. Sin embargo se puede asumir, sin pérdida de exactitud, que las fallas se produjeron exactamente a la mitad del año en que fallaron y por lo tanto cada motor fallado estuvo fuera de servicio por medio año. En 4 años se tendrá:

4 motores fallados x 0,5 años en estado de falla = 2 años de tiempo esperado fuera de servicio.

Ahora se puede calcular la **No – Disponibilidad** de las bombas sumergibles:

2 años esperados fuera de servicio / 40 años de servicio = 5%

Por lo tanto la **Disponibilidad** será de 95%

Este resultado se generaliza con la fórmula:

No – Disponibilidad = 0,5 x Intervalo de búsqueda de falla / MBTF

Esta sencilla expresión lineal se cumple **solo si [2] [8]:**

[25] Para el significado de las siglas de los Indicadores sírvase ver el apartado **4.3** de este Informe.

- La No – Disponibilidad es < = 5%
- Los tiempos de supervivencia de los motores de bomba son aleatorias y obedecen a una distribución de probabilidades de tipo exponencial

Ahora ya se puede calcular otro Indicador importante: el FFI (Failure Finding Interval) es decir el "Intervalo de búsqueda de falla" con la fórmula:

FFI = 2 x (No – Disponibilidad) x MTBF

Si la empresa considera que una Disponibilidad de 95% no es suficiente y quiere incrementarla hasta 99%, se tendría:

FFI = 2 x 1% x 4 años = 2% de 4 años = **1 mes**

Eso significa que los motores eléctricos de las bombas deberán chequear su funcionamiento **cada mes**, siempre y cuando el tiempo de servicio de las bombas sea aproximadamente igual para todas.

Estos cálculos no pueden usarse en las excepciones, en las fallas individuales importantes y no previsibles. En estos casos debe aplicarse una *tarea a condición* con sustitución cíclicas o de reacondicionamiento, según el modo de falla correspondiente. La búsqueda de falla se aplica solo a los casos calculables.

Los datos para los cálculos serán suficientemente confiables si salen de las siguientes fuentes:

- Los fabricantes de los equipos
- Base de datos de la empresa y otras similares
- Usuarios de equipos similares

CONCLUSIONES

En términos de los **Objetivos concretos** de **verificación** que se trazó este Informe[26] para la Implementación de la Metodología de Mantenimiento **RCM2** en el Sistema de suministro de agua de la planta térmica de Ciclo Combinado de **Edegel SAA** en Ventanilla, se llega, con un grado de 95% de Confianza, a las siguientes Conclusiones:

En la Implementación en cuestión **no** se ha observado el establecimiento de **Criterios explícitos** de Diseño y estandarización definidos para **equipos nuevos**, mandados fabricar o a adquirir para el Sistema de suministro de agua, de tal manera que sean **congruentes** con el Programa de Mantenimiento, el **RCM2,** en aspectos tan fundamentales como los factores antropométricos, sensoriales, fisiológicos, psicológicos de los operadores y mantenedores, de tal manera que **minimicen** los errores humanos **[15]**. Un ejemplo sencillo de esto es establecer **Criterios de Accesibilidad** para un cuerpo humano en los tanques de suministro de agua para su mantenimiento con plena seguridad, razonable comodidad y eficacia operativa. Nada hay escrito sobre ello.

El proceso de **Estudio de Riesgos** por medio de un equipo nombrado ex

[26] Véase parágrafo **1.2**, inciso **9** de este Informe

profeso, como establece el **RCM2 [15]**, no se ha implementado **explícitamente.** Solo cabe asumir implícitamente que el Equipo de trabajo para la Implementación del **RCM2** en la Instalación del Ciclo Combinado de Ventanilla sea también el grupo de Estudio de Riesgos. Esto es solo una suposición que no ha podido comprobarse. Este grupo es **necesario** si se ha dispuesto que van a seguirse "con rigor" los Principios, Reglas e Instrumentación óptima señalados por el **RCM2**.

El Proceso de **Monitoreo de Condición** en los componentes del Sistema de suministro de agua, se realiza bajo los Principios de Mantenimiento del **RCM2,** pero a la manera usual en el Mantenimiento Preventivo. Por ejemplo se echa de menos los Criterios fundados en cálculos de costo comparativo (el llamado Análisis de Costo – Efectividad), como el ejemplo desarrollado en el parágrafo **6.2** de este Informe, que le permitirían **decidir cuándo monitorear y cuando no hacerlo** bajo criterios económicos y de ingeniería conjuntamente. Esta limitación de la Implementación no es satisfactoria desde el punto de vista de la Metodología **RCM2.**

El Proceso de **Análisis de modos de falla y sus efectos** en los componentes del Sistema de suministro de agua, se realiza bajo los Principios de Mantenimiento del **RCM2** pero de manera parcial y particular para cada uno de ellos. Por ejemplo la Hoja o Diagrama de Decisión, que es el núcleo de esta Metodología, no está implementada todavía a plenitud. Las Decisiones de Mantenimiento no se guían todavía por el Criterio fundamental de considerar

como punto de partida del análisis a los efectos de las fallas. Las hojas que reemplazan a los formatos de **RCM2** no son enteramente adecuadas para la toma de Decisiones de Mantenimiento en base al análisis de la falla por carecer de información **estructurada** con los criterios del Método. Esto no es satisfactorio desde el punto de vista de la Metodología **RCM2.**

La verificación acerca de si el **Trabajo multifacético y en grupos** se efectúa en el Mantenimiento del Sistema de suministro de agua con arreglo a las Reglas del **RCM2** no ha sido posible realizarlo de la manera exhaustiva que era deseable por tratarse este Informe de una investigación de tipo Descriptivo de primera aproximación. Hacerlo de manera rigurosa hubiese requerido un mínimo de 6 meses de observación de la manera cómo realiza sus funciones el área de Mantenimiento de esta empresa y compararlo con lo estipulado por el **RCM2.** Sin embargo, a juzgar por el accionar **observado** del Equipo de Implementación del **RCM2** en este empresa, encabezados por el Facilitador Fernando Sarmiento, se tiene la plena seguridad de que son perfectamente capaces de desplegar este trabajo multidisciplinario, si les es requerido.

En cuanto a los **Sistemas Expertos,** tan necesarios hoy en cualquier industria, tanto en su forma clásica, consistente en la [Modelación lógico matemática de la experiencia + un motor informático de toma de decisiones vía computadoras centralizadas] como referencia para la decisión gerencial, ó su forma más actual de [Modelación Matemática distribuida vía Internet o teléfono móvil], **se ha observado** como existente en el ámbito de Mantenimiento de esta empresa

se cuenta con un software de mantenimiento **SAP**, internet e intranet, comunicación vía móvil rpm y radios en caso falle el satélite de comunicacion. Es probable que los implementadores del **RCM2,** conocedores de esta **exigencia** del método, estén pensando implementar gradualmente mejores vías de comunicación para el mejor desarrollo del mantenimiento. Es seguro que, solo en cuanto al Sistema de suministro de agua, la empresa puede generar numerosas aplicaciones específicas para las decisiones de Mantenimiento y un buen comienzo podría ser implementar el Modelo matemático probabilístico de comparación **Costo – Eficacia**, que el autor de este informe ha desarrollado en el apartado **6.2** de este documento para este Sistema, a título de sugerencia solamente.

Se ha comprobado que los **Sistemas de Cómputo y Redes** disponibles en la empresa tienen conectividad **específica**, rápida y sencilla para el personal de Mantenimiento del Sistema de suministro de agua. Este personal está dotado, a los programas estándar de Office, siendo los más usados el Word, Excel , el MS Proyect y el acrobat profesional para la elaboración de las Hojas de Control y trabajos de Mantenimiento, pero limitados en el área de ingeniería como el programa de diseño autocad o solidwork. Es con los programas de Office que los integrantes de la Comisión de Implementación del RCM2 han editado sus formularios y realizado sus bases de datos. Es de suponer que esta situación pasajera cambiará en breve y se podrá disponer en la empresa de las herramientas indispensables en la actualidad para integrar las actividades de cualquier organización muy especialmente en la tarea de Mantenimiento.

RECOMENDACIONES

- **A las empresas industriales del país:** Que se decidan a adoptar el Tipo de Mantenimiento Proactivo, como el **RCM2,** por sus claras ventajas, respecto a los tipos de Mantenimiento que prevalecen en nuestro medio, en aspectos tan decisivos como la optimización de la Disponibilidad y la Confiabilidad de los Sistemas y Equipos industriales, indispensables en la industria de alta calidad y difíciles de conseguir con los sistemas de Mantenimiento tradicionales, como el de Reemplazo Programado, que prevalecieron en las plantas industriales del siglo pasado.

- **Al Estado:** Que se decida a cumplir sus muchos compromisos asumidos frente a instituciones internacionales en el sentido de contribuir al desarrollo sustentable y el cuidado del medio ambiente, traduciéndolos en términos de leyes industriales operantes y verificables.

  En particular debe establecerse, con arreglo a un Plan estratégico de largo plazo, un control efectivo y **explícito** de las empresas industriales del país respecto al Mantenimiento que realizan en sus Sistemas y Equipos y determinar si cumplen los estándares correspondientes. No es posible crear una gran industria nacional con prácticas de Mantenimiento descuidadas, obsoletas o dañinas que las conviertan en peligrosas para

sus trabajadores y el entorno.

- **A la Universidad:** Que se establezca en el currículo de las especialidades de Ingeniería concernidas la asignatura de Mantenimiento Industrial Sustentable orientado a priorizar la atención a la integridad del medio ambiente, al cambio climático y a la calidad de los productos y servicios, a fin de formar a los futuros profesionales en la necesidad del cambio del paradigma industrial del siglo XX, todavía ampliamente vigente, para afrontar en condiciones óptimas los retos específicos del nuevo siglo XXI en el campo industrial. El Mantenimiento consciente, flexible y adaptable debe contribuir al reemplazo de los hábitos enraizados del desperdicio e ineficiencia en las industrias que solo puede conducirnos a la larga a una catástrofe ecológica y ambiental de consecuencias ominosas.

- **A mis colegas:** Que se apliquen con entusiasmo y decisión a la realización de estudios e investigaciones tendientes a demostrar la necesidad del cambio de paradigmas de Mantenimiento de Sistemas y Equipos industriales en las nuevas condiciones derivadas del proceso de Globalización que privilegia la competencia a ultranza y de la Revolución Tecno-científica que ha abierto un nuevo mundo de Instrumentación hasta escalas nanométricas, incluyendo los fenómenos de indeterminación cuántica, para las tareas de monitoreo de condiciones.

En particular deben aplicarse a la tarea de contribuir a aumentar en flecha la **productividad** y **calidad** del Mantenimiento en las instalaciones industriales del país, por ser una de las asignaturas pendientes más urgentes de la industria nacional.

BIBLIOGRAFIA

[1] ABARCA, Roberto y ALVARADO, Mauricio, ***Análisis de vida útil de equipos y bienes de capital.*** Universidad Central de Chile, 2000.

[2] ANDREWS JD & MOSS TR. ***Reliability and Risk Assessment***. Harlow, Essex, 1993. Longman.

[3] BACA, Guillermo. ***Ingeniería económica.*** Sexta edición. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, 2000.

[4] BALDIN, Asturio; FURLANETTO, Luciano; ROVERSI, Antonio y TURCO, Francesco. ***Manual de Mantenimiento de instalaciones industriales***. Barcelona: Editorial Gustavo Gil, 1982.

[5] BEICHELT, Frank. ***A replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost***. En: The International Journal of Quality & Reliability Management. Tomo 18, Nº 1; p. 76. 2001. Disponible en: <http://gateway.proquest.com>.

[6] CANTILLO, Víctor. ***Reemplazo económico de los equipos.*** En: Ingeniería y desarrollo. Universidad del Norte. Nº 3/4; p. 58. Barranquilla, 1998.

[7] CORTÉS, Manuel y CURBEIRA, Domingo. ***La programación lineal aplicada a la reposición y el mantenimiento***. Cienfuegos (Cuba), 2002. Universidad de Cienfuegos.

<www.ucf.edu.cu/publicaciones/anuario2002/ técnicas/articulo14.pdf>.

[8] COX SJ & TAIT NRS. ***Reliability, Safety and Risk Management***. Oxford, 1991. Butterworth Heineman.

[9] CHURCHMAN, West; ACKOFF, Russell y ARNOFF, Leonard. ***Introducción a la investigación operativa.*** Madrid: Aguilar S.A. Ediciones, 1971.

[10] GÓMEZ, Giovanni. ***Análisis de reemplazo de activos físicos.*** En: Revista de Ingeniería de planta. Nº 41. Chile, 2002. Disponible en: <www.gestiopolis.com/canales/ financiera/artículos/17/caue.htm>.

[11] HARTMAN, Joseph. **An economic replacement model with probabilistic asset utilization.** En: IIE Transactions. Tomo 33, Nº 9; p. 717. 2001. Disponible en: <http://gateway. proquest.com>.

[12] HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald. ***Investigación de operaciones.*** Séptima edición. México D.F.: Editorial McGraw Hill, 2001.

[13] MARRERO, Fernando y ABREU, René. ***Simulación de sistemas.*** Manizales, 2001. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

[14] MIRA, Luis. ***Tiempo óptimo de reposición por Obsolescencia del equipo.*** En: Memos de investigación. Universidad de los Andes. Santa Fe de Bogotá: Nº 147. Bogotá, 1994

[15] MOUBRAY JHON. ***Mantenimiento centrado en la Confiabilidad.*** Edwards Brothers Lillington North Carolina USA, 2004, Edición en español

[16] MOUBRAY JHON. ***Maintenance Management - A New Paradigm.*** Third Annual Conference of the Society if Maintenance and Reliability Professionals. Chicago Illinois USA, 1995.

[17] MOUBRAY JHON. ***Maintenance and Safety – A Proactive approach.*** Annual

Conference of the Accident Prevention and Advisory Unit of the UK National Health and Safety Executive. Liverpool UK, 1989.

[18] POVEDA, Gabriel. ***Óptimo económico de máquinas y equipos.*** Revista facultad de Ingeniería. Nº 27; p. 151. Universidad de Antioquia. Medellín, 2002.

[19] RAY, Thomas. ***Development of an Approach to Facilitate Optimal Equipment Replacement.*** En: Summary of Report 329, 1999. Louisiana State University.

[20] SAPAG CHAIN Nassir, ***Criterios de Evaluación de Proyectos. Como medir la rentabilidad de las inversiones***, Serie McGraw-Hill de Management, Madrid 2002.

[21] SELIVANOV, I.A. ***Fundamentos de la teoría del envejecimiento de las máquinas.*** Moscú: Editorial Mir, 1972.

[22] SOTSKOV B. ***Fundamentos de la Teoría y del Cálculo de Fiabilidad***, Editorial. Mir Moscú, 1980

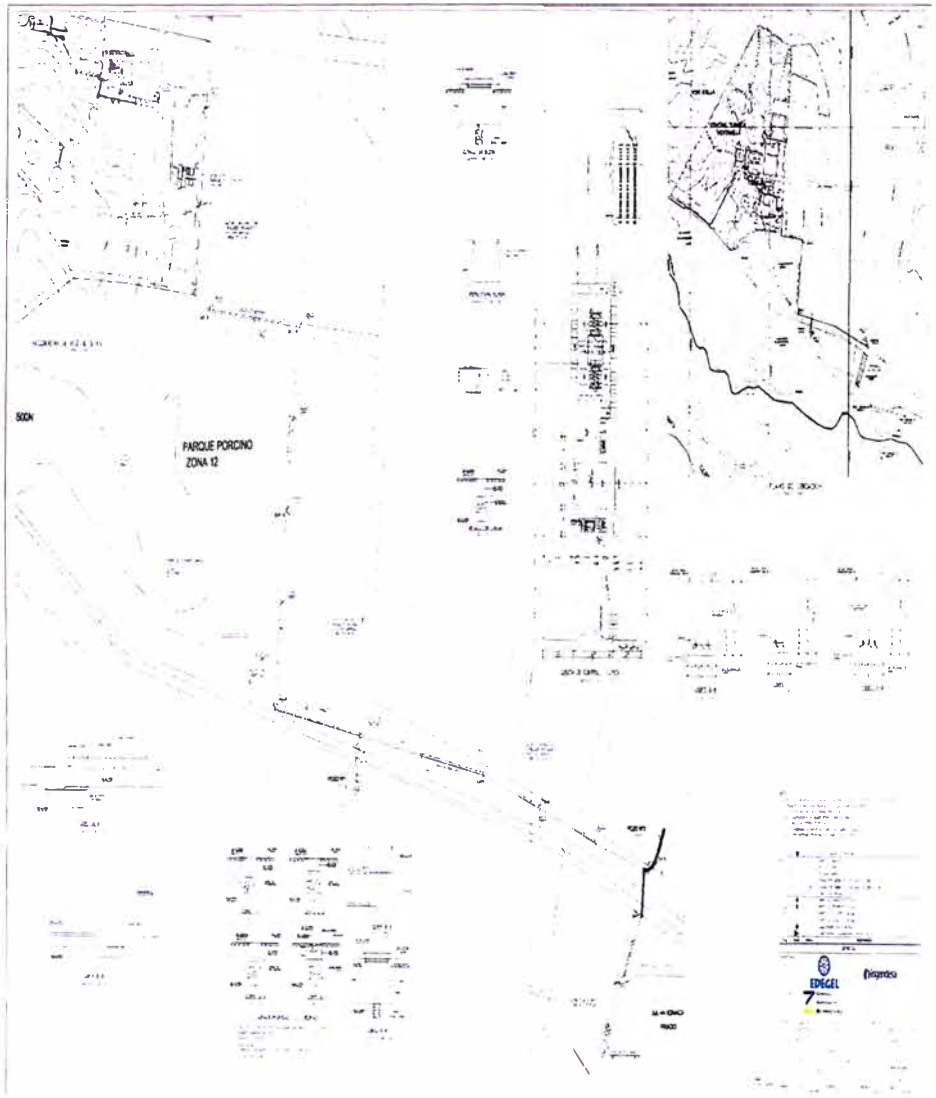
[23] WALKER, John. ***Graphical analysis for machine replacement: A case study***. En: International Journal of Operations & Production Management Tomo 14, Nº 10; p. 54. 1994. Disponible en: <http://gateway.proquest.com>.

APENDICE

1) **MEMORIA DESCRIPTIVA DE LOS SISTEMAS DE AGUA DE PROCESO Y EFLUENTES DE LA CENTRAL TERMICA DE CICLO COMBINADO VENTANILLA – ETEVENSA (Documento S/N de la Organización ENDESA - ETEVENSA)**
2) **INFORME** *POZOS SUM AGUA* **DE MANTENIMIENTO PARA LA GESTION DEL RCM2 (Formato Excel)**

PLANOS

A1) PLANO C Y A RECORRIDO



A2) PLANO SISTEMA DE ABASTESIMIENTO

LEYENDA

LEGEND							
EV	ELECTRIC VALVE	TT	TEMPERATURE TRANSMITTER	PDS	PRESSURE DIFFERENTIAL SWITCH	PHE	pH ELEMENT
SV	SAMPLE VALVE	PT	PRESSURE TRANSMITTER	LS	LEVEL SWITCH	HH	HIGH HIGH LEVEL
HCV	HAND CONTROL VALVE	CE	CONDUCTIVITY ELEMENT	TI	TEMPERATURE INDICATOR	I	PLC INPUT SIGNAL
CV	CHECK VALVE	PSL	PRESSURE SWITCH LOW	TE	TEMPERATURE ELEMENT	O	PLC OUTPUT SIGNAL
PRV	PRESSURE RELIEF VALVE	IL	ILLUMINATION INDICATOR	TC	TEMPERATURE CONTROL	H	HIGH LEVEL
S	SOLENOID	EH	ELEMENT HOUSING	TS	TEMPERATURE SWITCH	LL	LOW LOW LEVEL
PI	PRESSURE INDICATOR	FI	FLOW INDICATOR	FS	FLOW SWITCH	L	LOW LEVEL
CS	CONDUCTIVITY SWITCH	FE	FLOW ELEMENT	PHS	pH SWITCH	LSH	LEVEL SWITCH HIGH
CI	CONDUCTIVITY INDICATOR	M	MOTOR	PHI	pH INDICATOR	LSL	LEVEL SWITCH LOW
						LC	LEVEL CONTROL

V-IN-TK4	Válvula neumática de ingreso TK4	V-OUT-TK4	Válvula neumática de salida TK4
V-IN-TK8	Válvula neumática de ingreso TK8	V-OUT-TK8	Válvula neumática de salida TK8

REV	DESCRIPCION	FECHA	CAD	REV 1	REV 2	APROBADO
E4	AS BUILT	MARZO 2009	S.ASTUCONDOR	J.ARTEAGA		—
E3	SE ACTUALIZA PLANTA DE AGUA	FEBRERO 2009	S.ASTUCONDOR	J.ARTEAGA		—
E2	SE MODIFICA ZONA DE TANQUES	ENERO 2009	S.ASTUCONDOR	J.ARTEAGA		—
E1	SE ACTUALIZA LEYENDA	ABRIL 2007	A.ALVARADO	A. GRAHAM	J.TUNA	A. CAGGO S.
A	PRELIMINAR	NOVIEMB	A.ALVARADO	A. GRAHAM	J.TUNA	A. CAGGO S.

EDEGEL

PLANTA CICLO COMBINADO VENTANILLA
CALLAO PERU

PROYECTO: AMPLIACION CICLO COMBINADO

PLANO: P&ID
SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y TRATAMIENTO DE AGUA

DIB: A. GRAHAM M.	No. SE	CÓD. ATPMD		PCCV-AA-P&ID-01	REV. E
REV.: A. ALVARADO O.	ÁREA: OPERACIONES		CAD: S.S	FECHA: NOV. 8	LÁMINA: 1DE1

EDEGEL Copyright © Derechos Reservados 2007 PLANTA CICLO COMBINADO VENTANILLA

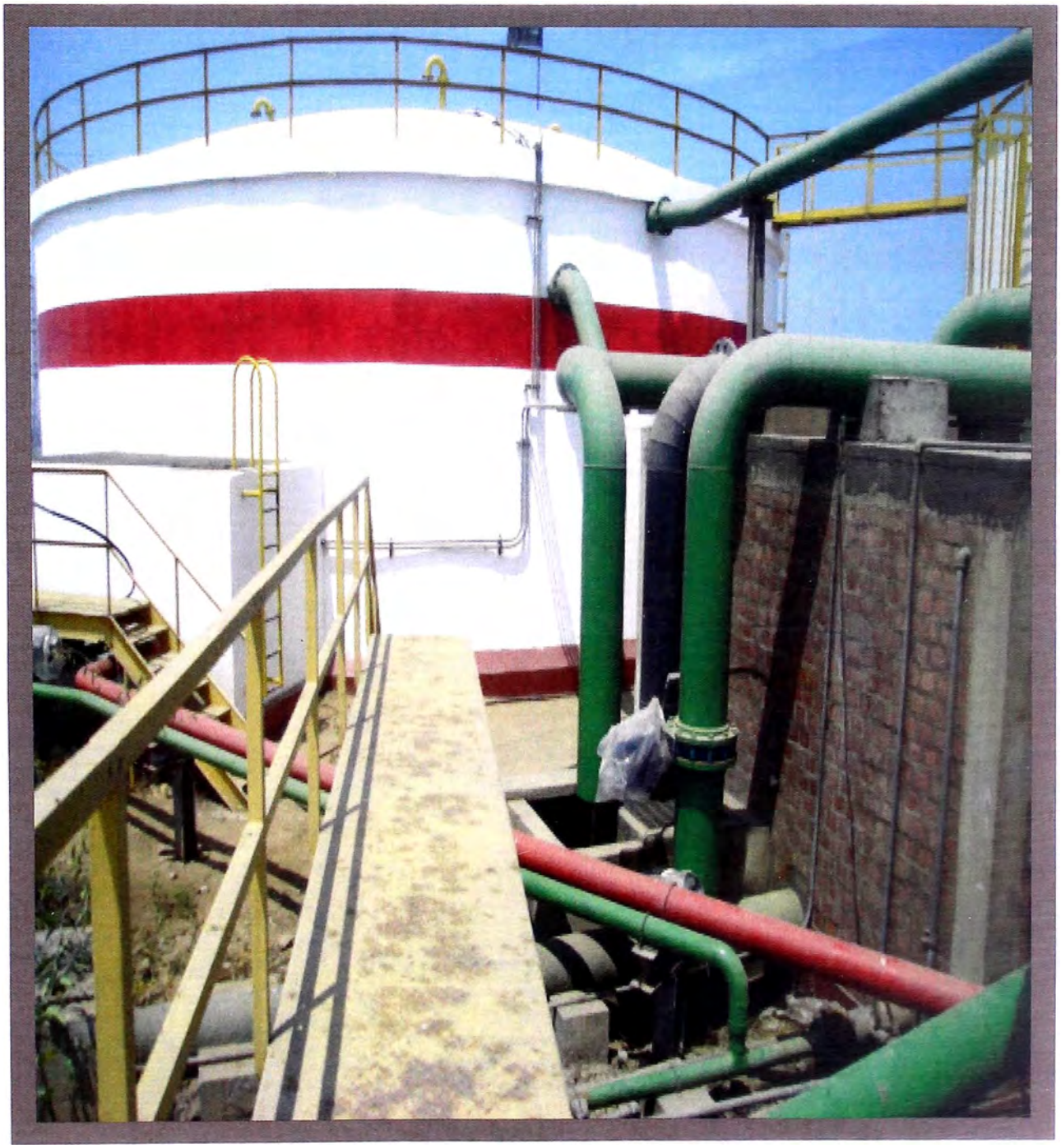
B) FOTOS

APENDICE B1

APENDICE B2

APENDICE B3

APENDICE B4



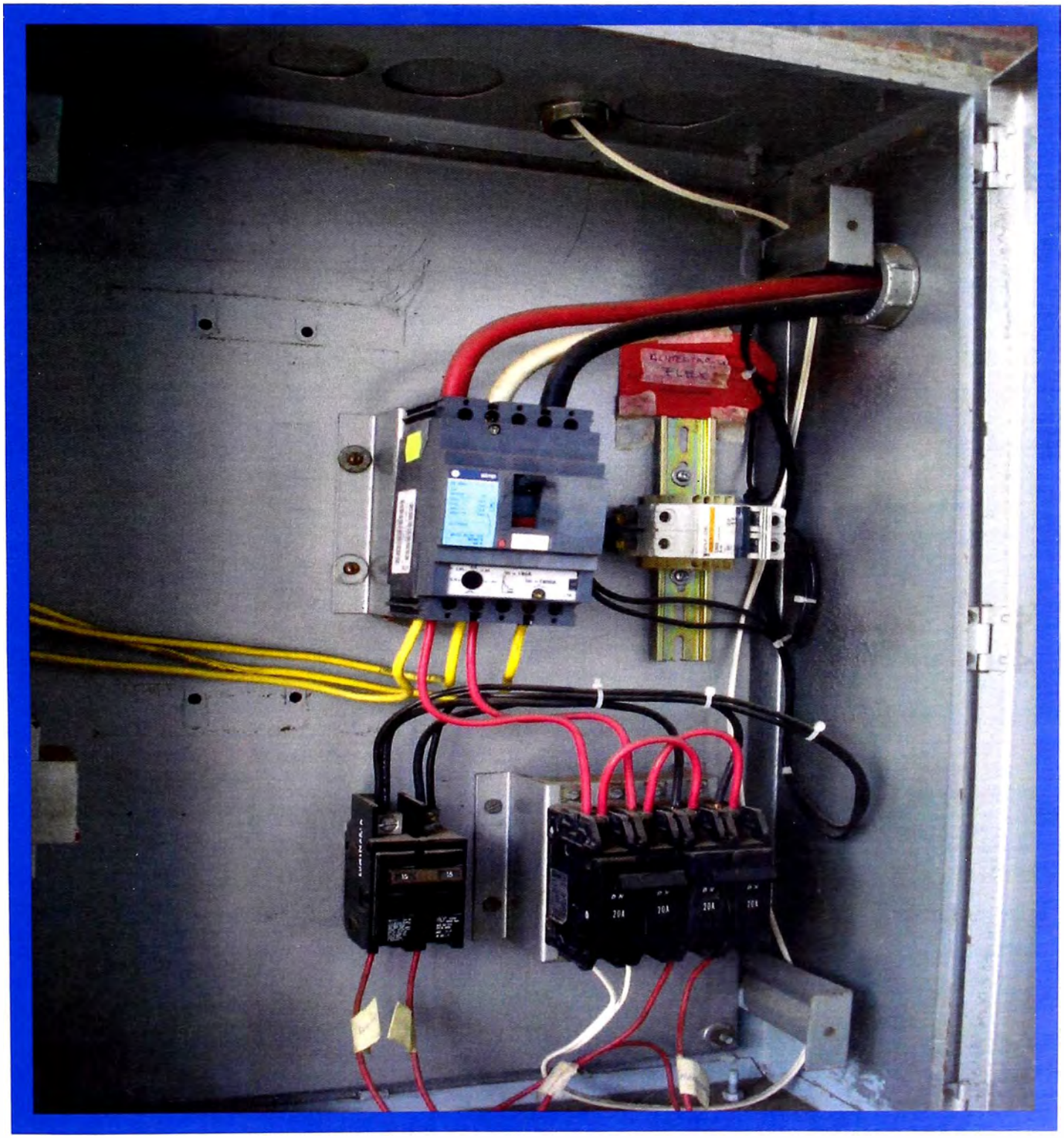
APENDICE B5

APENDICE B6

APENDICE B7

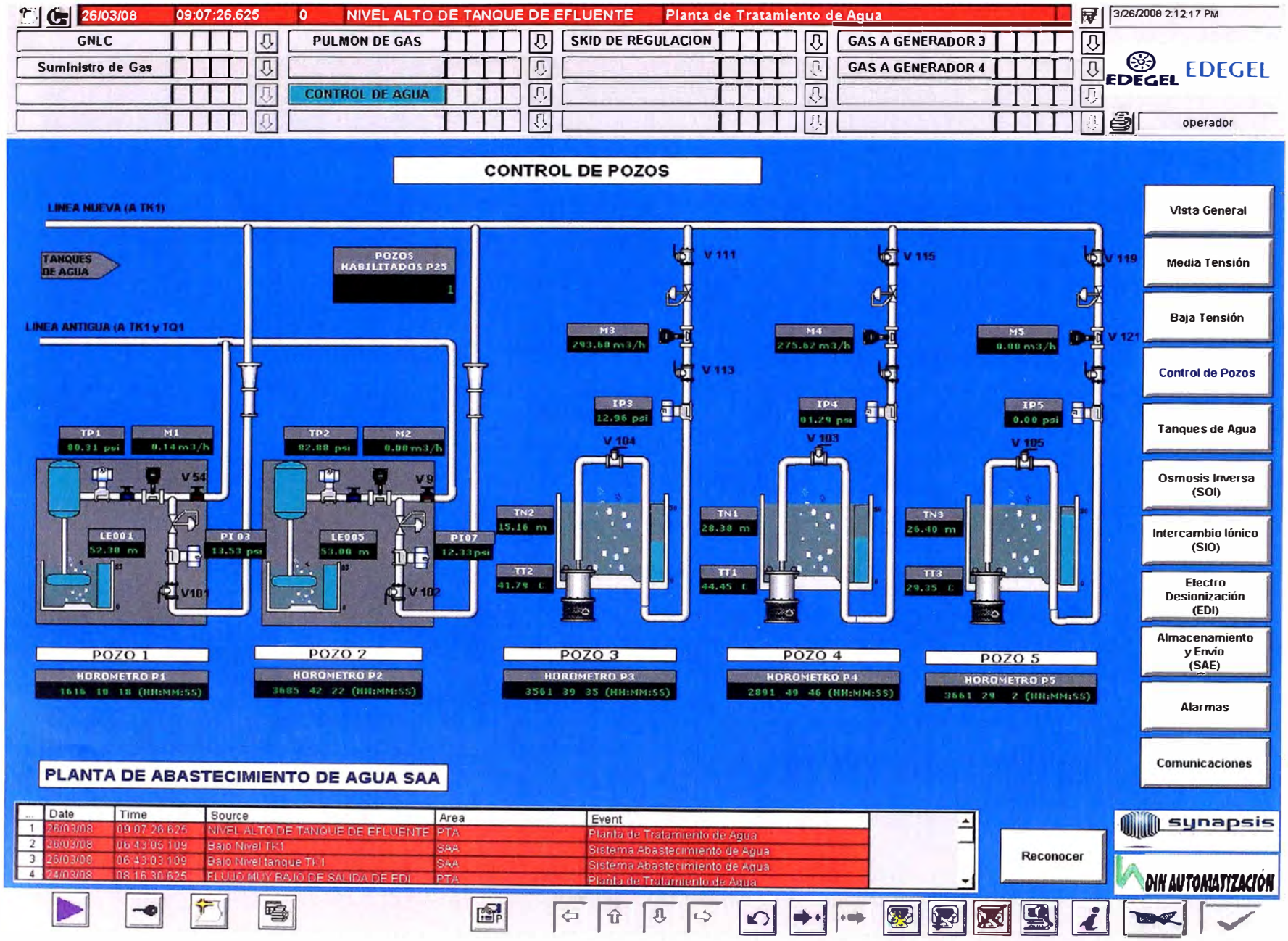
APENDICE B8

APENDICE B9

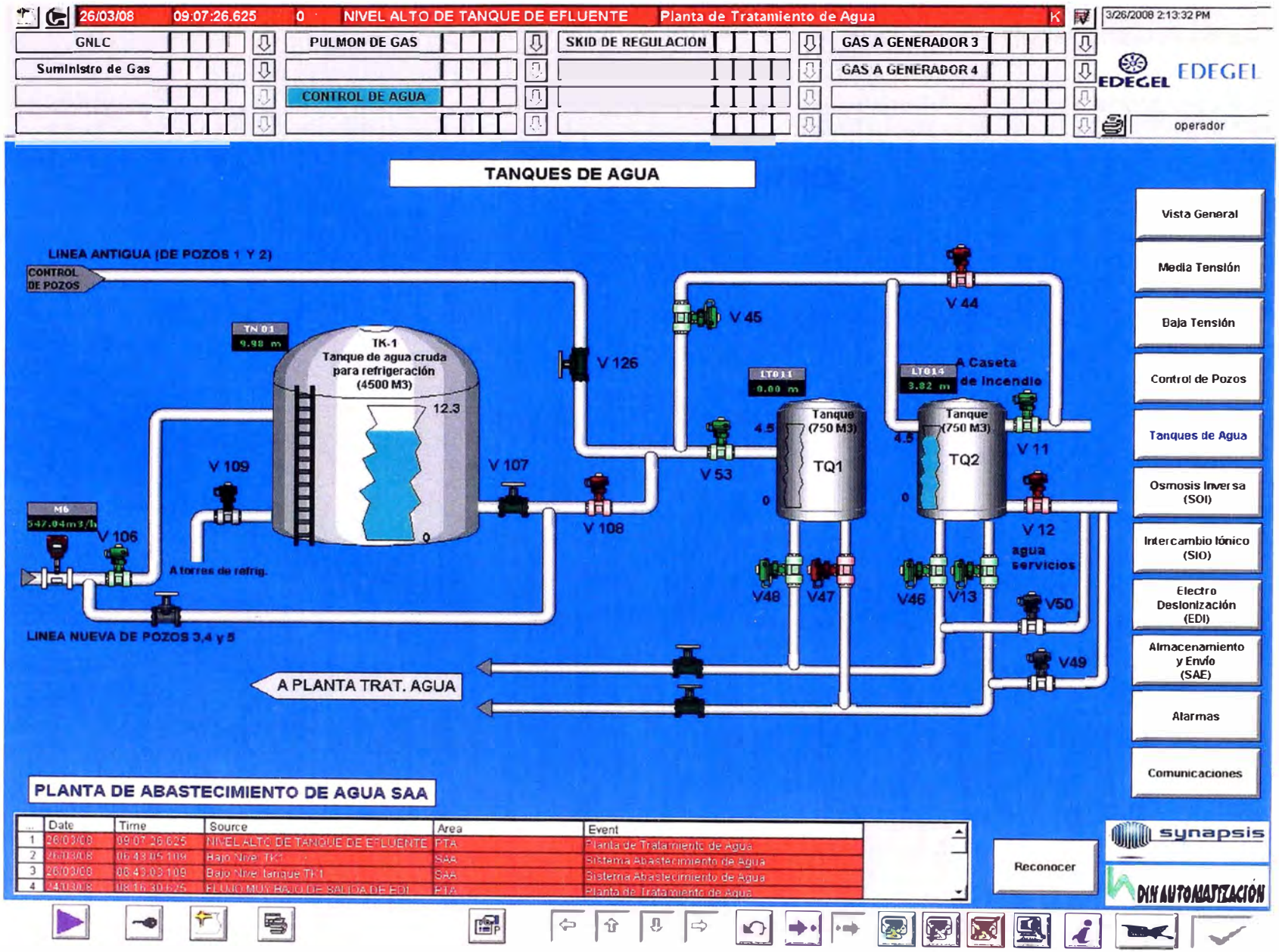


C) DIAGRAMA

C1) DIAGRAMA CONTROL DE POZOS



C2) DIAGRAMA TANQUES DE AGUA



C) HOJAS DE CONTROL

APENDICE C1

RCM II
HOJA DE TRABAJO
DE INFORMACION

© 2008 ALADON LTD.

SISTEMA (EQUIPO)	No.	Realizado por	Fecha	Hoja
Sistema de suministro de agua de Pozos	*<Tag Sistema>*	*Equipo RCM2 - Edegel*	*29-08-08*	82
SUB SISTEMA (COMPONENTE)	**Ref.**	**Revisado por**	**Fecha**	**de**
Captacion y abastecimiento de agua	*<Tag Subsistema>*	*<Consultor>*	*<Revisión>*	5

FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
1	Abastecer al TK1 con no menos de 450 m3 / hora	A	Totalmente incapaz de abastecer agua.	1	Falta de suministro de energía eléctrica en la línea de 4.16 kv	Modo de falla externo, se analiza aparte.	1.
				2	Falla de comunicación por rotura de fibra óptica por maniobras externas en red de fibra óptica	Se detienen automáticamente los motores. Se congelan señales y pierde supervisión de señales de los 5 pozos. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, arrancar en modo manual y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación : 7 días	2.
				3	Falla de repetidor de fibra óptica por deterioro por ambiente agresivo en pozo 1	Se detienen automáticamente los motores. Se congelan señales y pierde supervisión de señales de los 5 pozos. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, arrancar en modo manual y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación : 24 horas	3.
				4	Falla en el ramal nuevo (tubería de HDPE) por rotura por mala instalación	Sistema de control da alarma visual de rotura de línea, Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Se pone en servicio línea de FIBROCEMENTO. Tiempo de reparación 48 horas	4.
				5	Falla en el ramal nuevo (tubería de HDPE) por rotura por falla de uniones con bridas por fatiga.	Sistema de control da alarma visual de rotura de línea, Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Se pone en servicio línea de FIBROCEMENTO. Tiempo de reparación 48 horas	5.

RCM II
HOJA DE TRABAJO
DE INFORMACION

© 2008 ALADON LTD

SISTEMA (EQUIPO)	No.	Realizado por	Fecha	Hoja
Sistema de suministro de agua de Pozos	<Tag Sistema>	*Equipo RCM2 - Edegel*	29-08-08	83
SUBSISTEMA (COMPONENTE)	**Ref.**	**Revisado por**	**Fecha**	**de**
Captacion y abastecimiento de agua	<Tag Subsistema>	<Consultor>	<Revisión>	6

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
				6	Falla en el ramal nuevo (tuberia de HDPE) por rotura de tuberia por corte por excavación	Sistema de control de alarma visual de rotura de lineas, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Se pone en servicio lines de FIBROCEMENTO. Tiempo de reparación 48 horas	6.
				7	Falla en el ramal nuevo (tuberia de HDPE) por rotura de tuberia por corte por desastre natural	Sistema de control de alarma visual de rotura de lineas, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Se pone en servicio lines de FIBROCEMENTO. Tiempo de reparación 48 horas	7.
				8	Falla en el ramal nuevo (tuberia de HDPE) por rotura por corrosion de unión Y de A.C. de los pozos 1 y 2 a la linea troncal	Sistema de control de alarma visual de rotura de lineas, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Se pone en servicio lines de FIBROCEMENTO. Tiempo de reparación 48 horas	8.
				9	Falla en el ramal antiguo, por rotura de tuberia en empalmes de FIBROCEMENTO – ACERO por corrosión	Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Tiempo de reparación 3 dias.	9.
				10	Falla en el ramal antiguo, por rotura de tuberia de FIBROCEMENTO - ACERO por corte por excavación	Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Tiempo de reparación 3 dias	10.
				11	Falla en el ramal antiguo, por rotura de tuberia de FIBROCEMENTO - ACERO por corte por desastre natural	Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Tiempo de reparación 3 dias	11.
				12	Falla en el ramal antiguo, por rotura de tuberia de ACERO por corrosión	Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, y avisa a mantenimiento. Tiempo de reparación 3 dias.	12.

© 2008 ALADON LTD.

SISTEMA (EQUIPO)	No.	Realizado por	Fecha	Hoja
Sistema de suministro de agua de Pozos	*<Tag Sistema>*	*Equipo RCM2 - Edegel*	29-08-08	84
SUBSISTEMA (COMPONENTE)	**Ref.**	**Revisado por**	**Fecha**	**de**
Captacion y abastecimiento de agua	*<Tag Subsistema>*	*<Consultor>*	*<Revisión>*	5

FUNCION		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
				13	Bajo nivel de agua en pozos por perdida de napa freática	Deja de bombear y opera en vacío. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, y esperar que nivel de agua se recupere. Tiempo de reparación (NO DETERMINADO)	13.
				14	Sobrepasa el nivel máximo de extracción permitido por la autoridad pertinente.	Personal de operaciones comprueba alcance el límite permitido. Procede a dejar inhabilitados los pozos	14.
				15	Rotura de tanque y bladder en compensadores TH1 y TH2 por corrosión y fatiga.	Sistema de control da alarma visual de rotura de líneas. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe identificar en sitio motivo de falla, procede a aislar los tanques y avisa a mantenimiento. Tiempo de reparación 5 días.	15.
				16	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por falta de suministro de energía eléctrica al motor eléctrico de la bomba 1	Se analiza aparte	16.
				17	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por cortocircuito en terminales de bornes del motor debido a perdida de aislamiento por envejecimiento.	Actúa protección térmica, detiene automáticamente el motor. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA., debe reconocer en sitio motivo de falla, avisa a mantenimiento Tiempo de reparación 4 días.	17.
				18	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por Falla en bobinado de motor eléctrico debido a perdida de aislamiento por envejecimiento	Actúa protección térmica, detiene automáticamente el motor. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA., debe reconocer en sitio motivo de falla, avisa a mantenimiento Tiempo de reparación 4 días.	18.
				19	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por Bajo nivel de agua en el pozo por perdida de napa freática	Detiene automáticamente el motor. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA., debe reconocer en sitio motivo de falla, avisa a mantenimiento Tiempo de espera (NO DETERMINADO)	19.

RCM II
HOJA DE TRABAJO
DE INFORMACION
© 2008 ALADON LTD

SISTEMA (EQUIPO)	No.	Realizado por	Fecha	Hoja
Sistema de suministro de agua de Pozos	<Tag Sistema>	Equipo RCM2 - Edegel	29-08-08	85
SUBSISTEMA (COMPONENTE)	**Ref.**	**Revisado por**	**Fecha**	**de**
Captacion y abastecimiento de agua	<Tag Subsistema>	<Consultor>	<Revisión>	5

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
				20	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa minima por Falla de (RTU) Pozo 1 Por deterioro de componentes por ambiente agresivo.	Se detiene automáticamente el motor. Se congelan señales y pierde supervisión de señales de los 5 pozos. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, arrancar en modo manual y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación : 24 horas	20.
				21	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa minima por Falla de UPS de sistema de control local pozo 1 Por deterioro de componentes por ambiente agresivo.	Se detiene automáticamente el motor. Se congelan señales y pierde supervisión de señales de los 5 pozos. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, arrancar en modo manual y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación : 24 horas	21.
				22	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa minima por Falla de comunicación por rotura de fibra óptica aguas arriba de pozo 1, por golpe por maniobras	Se detiene automáticamente el motor. Se congelan señales y pierde supervisión de señales de los 5 pozos. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, arrancar en modo manual y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación : 7 días	22.
				23	Falla del sensor de nivel del pozo 1 por mal montaje.	Se registra alarma genérica de pozo en SCADA y detiene automáticamente el motor Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación 3 días	23.
				24	Falla del sensor de presión del pozo 1 por mal montaje.	Se registra alarma genérica de pozo en SCADA y detiene automáticamente el motor Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA, debe reconocer en sitio motivo de falla, y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación 3 días	24.
				25	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa minima por Rotura de chaveta de acoplamiento de eje central por desgaste	Disminuye la presión, Operador detecta caída de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan, debe reconocer en sitio motivo de falla y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación 15 días.	25.

RCMII
HOJA DE TRABAJO
DE INFORMACION
© 2008 ALADON LTD.

SISTEMA (EQUIPO)	No.	Realizado por	Fecha	Hoja
Sistema de suministro de agua de Pozos	<Tag Sistema>	Equipo RCM2 - Edegel	29-08-08	86
SUBSISTEMA (COMPONENTE)	**Ref.**	**Revisado por**	**Fecha**	**de**
Captacion y abastecimiento de agua	<Tag Subsistema>	<Consultor>	<Revisión>	5

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)	
				26	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por Atascamiento de impulsor de bomba por cuerpo extraño.	Disminuye la presión, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. debe reconocer en sitio motivo de falla y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación 15 días.	26.
				27	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por Rotura de eje de bomba por desgaste	Disminuye la presión, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. debe reconocer en sitio motivo de falla y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación 20 días.	27.
				28	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por Agarrotamiento de cojinetes de motor por falta de lubricación por agotamiento en el tiempo.	Disminuye la presión, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. debe reconocer en sitio motivo de falla y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación 10 días.	28.
				29	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por Atascamiento de impulsores por desajuste de tuerca por rotura del seguro por fatiga.	Disminuye la presión, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. debe reconocer en sitio motivo de falla y avisar a mantenimiento Tiempo de reparación 30 días.	29.
				30	Falla del pozo 1 estando en combinación operativa mínima por aranamiento del pozo debido a desastres naturales.	Disminuye la presión, Operador detecta caida de nivel de TK1 en las tendencias de SCADA. Sistema de control manda arranque de pozos de respaldo y fallan. debe reconocer en sitio motivo de falla y avisar a mantenimiento. Tiempo de reparación 60 días.	30.

APENDICE C2

HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN RCM II

© 1995 ALADON LTD.

EQUIPO **Sistema de suministro de agua de Pozos**	**No.**	**Realizado por** *Equipo RCM2 - Edegel*	**Fecha**	**Hoja**
COMPONENTE	**Ref.**	**Revisado por**	**Fecha**	**de**

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tarea Propuesta	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1											Se analiza aparte		
1	A	2	N				N	N	N	N	N		NMP/Implementar anillo de comunicaciones La descripción de la modificación debe ser auto explicativa y debe entenderla cualquiera que no haya leido el modo de falla del cual proviene		Externo
1	A	3	N				N	N	N	N	N		NMP/Implementar alarma audible de falla de pozo		1 instrumentista
1	A	4	S	S			N	S					Se inspeccionara uniones cada 4 años, en caso de encontrar goteos se programara cambio de uniones Es extraño encontrar que sea técnicamente factible una tarea a condición ante un MF de un error humano ó un golpe porque generalmente no hay punto de falla potencial ó el P-F no es consistente, por favor revisar decisión		2 mecanicos
1	A	5	S	S			N	S					Se inspeccionara uniones cada 4 años, en caso de encontrar goteos se programara cambio de uniones La tarea indicada en la decisión es una tarea de reacondicionamiento cíclico mientras que la descripción así como la pusimos es una tarea a condición.	Indicar aqui la frecuencia y no en la descripción de la tarea	2 mecanicos
1	A	6	S	S			S						Operaciones coordinara supervisión y vigilancia de cualquier obra de excavación en el tendido del ducto. PF= 2 día Es extraño encontrar que sea técnicamente factible una tarea a condición ante un MF de un error humano ó un golpe porque generalmente no hay punto de falla potencial ó el P-F no es consistente, por favor revisar decisión	1 DIA	1 operador
1	A	7	S	S			N	N	N			N	Ningún mantenimiento programado / "El rediseño es obligatorio"./ Diseño de construcción antisísmica quitar la frase "Ningún mantenimiento programado" si marcan N debajo de S4 el rediseño es obligatorio		Externo
1	A	8	S	S			N	S					Se inspeccionara uniones cada 4 años, en caso de encontrar goteos se programara cambio de uniones	Indicar aqui la frecuencia y no en la descripción de la tarea	2 mecanicos
1	A	9	N				N	S					Se inspeccionara uniones cada 4 años, en caso de encontrar goteos se programara cambio de uniones	Indicar aqui la frecuencia y no en la descripción de la tarea	2 mecanicos
1	A	10	N				S						Operaciones coordinara supervisión y vigilancia de cualquier obra de excavación en el tendido del ducto. PF= 2 día Es extraño encontrar que sea técnicamente factible una tarea a condición ante un MF de un error humano ó un golpe porque generalmente no hay punto de falla potencial ó el P-F no es consistente, por favor revisar decisión	1 DIA	1 operador
1	A	11	N				N	N	N			N	Ningún mantenimiento programado / "El rediseño es obligatorio"./ Diseño de construcción antisísmica quitar la frase "Ningún mantenimiento programado" si marcan N debajo de S4 el rediseño es obligatorio		Externo
1	A	12	N				S						Inspección sistema protección catódica PF = 1 año En la descripción de las tareas a condición debemos indicar no solamente la tarea, sino también el punto P que debemos detectar y qué hacer en caso de encontrarlo, por ejemplo: Monitorear vibraciones de rodamiento de motor de bomba fuller, en caso de ser mayores a 1 mm/seg., programar cambio de rodamiento. No olvidemos de poner el intervalo inicial (relacionado con el punto P de la descripción de la tarea) y quién lo realizará	6M	2 electricistas
1	A	13	S	N	S		S						Realizar estudio de nivel de napa freática PF = 10 años En la descripción de las tareas a condición debemos indicar no solamente la tarea, sino también el punto P que debemos	5A	1 quimico