

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA LOS
EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO, DRENAJE Y DESAGÜE EN EL MONTAJE DE
LAS TURBINAS DE GENERACIÓN; PROYECTO HIDROELECTRICO
SOGAMOSO

NELSON SEBASTIAN VACCA BLANCO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2014

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA LOS
EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO, DRENAJE Y DESAGÜE EN EL MONTAJE DE
LAS TURBINAS DE GENERACIÓN; PROYECTO HIDROELECTRICO
SOGAMOSO

NELSON SEBASTIAN VACCA BLANCO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

Ing. CARLOS BORRAS PhD, MS.C

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

*Gracias a **DIOS**, por permitir realizar mis objetivos y darme el apoyo espiritual que siempre fue fundamental para lograr mis metas en la universidad como en la vida y contar con la fuerza de voluntad necesaria que cada día nos colmaba de buenas noticias.*

*A mi **Madre, Maria Cristina** que en sus entrañas ha conservado ese amor infinito por sus hijos, y ha logrado que salgamos triunfantes. Que se ha preocupado por nuestro bienestar y nos entrega sus experiencias, que siempre serán nuestras enseñanzas.*

*A mi **Padre, Nelson José** que desde mis primeros pasos me indicó el camino del bien, quien con su amor y voluntad, logró que confiáramos plenamente en él, y lleváramos una vida muy estructurada, correcta y admirable, a él le debo gran parte de mi conocimiento, pues muchas de sus enseñanzas estaban enfocadas en lo que hoy aplico y me siento orgulloso de él.*

*A mis Hermanas **Luz Mary, y Bibiana**. Quienes con su apoyo y ejemplo han hecho de mí una persona sensata y realista, pues son el motor de la familia, y están entre las mejores personas que he conocido jamás. Gracias a ellas por su incondicional apoyo cuando más lo necesité, espero poder seguir compartiendo momentos especiales y agradables.*

A mis Amigos y compañeros, Especialmente a Johan Ardila por su amistad sincera y virtuosa, pues se vivieron momentos muy gratos, y llenos de experiencias y logros. Les agradezco a todos ellos por su amistad incondicional y gratas experiencias vividas, pues son la fortaleza que se necesita para pasar muchas adversidades.

A aquellas personas que hicieron parte de mi corazón y me enseñaron a luchar por un propósito, a creer en Dios y a cumplir las metas como él nos indica, a una de ellas le debo la frase “ Todo lo puedo en Cristo que me fortalece” con frases como esta que motivan un propósito

Nelson Sebastián Vacca Blanco

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco al profesor **Carlos Borrás** por su paciencia y conocimiento dirigió mi libro de una manera concreta y fortaleció mis decisiones para crear este proyecto de una forma experimentada.

A la Compañía **Consalfa**, pues me abrió sus puertas para adquirir el mayor conocimiento posible y tener la posibilidad de desarrollar mi proyecto con asesoramiento personalizado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. EI PROBLEMA.....	18
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	20
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	22
2. COMPAÑÍA DE MONTAJES INDUSTRIALES CONSALFA S.A.S PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO.....	24
2.1 GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA	24
2.1.1 Reseña historica de la compañía	25
2.1.2 Misión.....	25
2.1.3 Vision	26
2.1.4 Politica del sistema de gestion integrado.....	26
2.1.5 Estructura de la compañía.	27
2.1.6 Valores corporativos	28
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO HIDROELECTRICO DE SOGAMOSO.....	29
2.2.1 Localizacion y generalidades del proyecto.....	29
2.2.2 Descripcion tecnica del proyecto.	31
2.2.3 Descripcion de los equipos electromecanicos.	32
3. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	35
3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO	35
3.1.1 Mantenimiento preventivo	36
3.1.2 Mantenimiento predictivo.	37
3.1.3 Mantenimiento correctivo.....	38

3.2	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)	38
3.2.1	Objetivos Y Ventajas Del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad RCM ..	39
3.2.2	Equipo Natural De Trabajo.....	40
3.2.3	Análisis De Modo Y Efecto De Falla.	42
3.2.4	Diagrama de decisión RCM II	45
3.2.5	Norma SAE J1012	52
4.	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES DE LA TURBINA: ENFRIAMIENTO, DRENAJE Y DESAGÜE.	54
4.1	CARACTERISTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	54
4.1.1	Condiciones iniciales del funcionamiento de los equipos rotativos del sistema de enfriamiento.....	57
4.1.2	Lógica de operación del sistema.....	57
4.1.3	Cicrcuito abierto	60
4.1.4	Circuito cerrado.....	67
4.2	CARACTERISTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE DRENAJE Y DESAGÜE	73
4.2.1	Condiciones iniciales del funcionamiento de los equipos rotativos del sistema de drenaje y desague	76
4.2.2	Calculo de diseño para la selección de los equipos rotativos pertenecientes al sistema de drenaje y desague	84
5.	IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD A LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO, DRENAJE Y DESAGUE.	94
5.1	IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II).....	94
5.2	CONFORMIDAD PARA EL PROCESO EFECTUADO CON LA NORMA SAE J1012.....	95
5.3	LISTA Y CODIFICACION DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DRENAJE Y DESAGUE	96
5.3.1	Explicación de la Codificación Utilizada.....	96

5.3.2 Codificación Para El Sistema De Enfriamiento, drenaje y desagüe.....	98
5.4 IMPLEMENTACION DE ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA.....	103
5.4.1 Planilla informativa RCM II dispuestas para cada una de las bombas utilizadas en los sistemas auxiliares de enfriamiento drenaje y desagüe	104
5.5 DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II.	106
5.2.1 Planilla informativa RCM II del diagrama de decisión para cada una de las bombas utilizadas en los sistemas auxiliares de enfriamiento drenaje y desagüe	107
5.3 ESTABLECIMIENTO DE LAS FRECUENCIAS Y RESPONSABILIDADES DE LAS TAREAS PROPUESTAS PARA EL RCM II.	109
5.3.1 Plan de mantenimiento rcm II	109
5.4 ESTUDIO DE HAZOP (RIESGOS Y OPERABILIDAD).	111
5.4.1 Metodología del estudio hazop.	112
6. CONCLUSIONES	116
7. RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFIA.....	120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Logo Consalfa.....	24
Figura 2. Trabajo de consalfa	25
Figura 3. Estructura organizacional de consalfa S.A.S	27
Figura 4. Vista en perspectiva finalizado el embalse y la hidroelectrica.	30
Figura 5. Localización geográfica proyecto hidrosogamoso.	30
Figura 6. Rotor Del generador En Caverna de Maquinas El. 163,40	33
Figura 7. Esquema De Las Unidades De generación, Modelado Render.....	33
Figura 8. Grupo Tipo de revisión RCM.	40
Figura 9. Ejemplo de planilla informativa	45
Figura 10. Diagrama de decisión RCM II	47
Figura 11. Planilla de decisión RCM II	48
Figura 12. P&ID, Sistema de enfriamiento Con Sus Equipos.	56
Figura 13. Distribución general del sistema de control del S. enfriamiento.....	58
Figura 14. Sistema de enfriamiento Circuito de Agua Cruda. Equipos Rotativos Con Sus Elevaciones y Condiciones operacionales.	62
Figura 15. Caudales del sistema de enfriamiento.	63
Figura 16. Curvas del sistema y de las bombas circuito abierto.	66
Figura 17. Bomba Circuito Abierto BCAC-101.	66
Figura 18. Sistema de enfriamiento de Circuito Cerrado de agua tratada.	68
Figura 19. Curvas del sistema y las bombas del circuito cerrado.	72
Figura 20. Bombas de circuito cerrado.	72
Figura 21. P&ID, Sistema de Drenaje Y Desagüe Con Sus Equipos Rotativos....	75
Figura 22. Distribución general del sistema de control de drenaje y desagüe:	80
Figura 23. Sistema de drenaje y desagüe; Bomba centrífuga para desagüe tubos de aspiración en pozo seco.	85
Figura 24. Curva del sistema y de las bombas Verticales pozo seco.	88
Figura 25. Bombas centrífugas verticales en pozo seco.	88

Figura 26. Sistema de drenaje y desagüe; Bomba centrífuga para Drenaje de pozo de Sentina y canales de aguas vertientes.	90
Figura 27. Curvas del sistema y de las bombas centrífugas del pozo de sentina. .	93
Figura 28. Bombas Drenaje En pozo Sentina.	93
Figura 29. Planilla de información RCM II.....	105
Figura 30. Plan de mantenimiento RCM II	110
Figura 31. Ejemplo de hazop, riesgo y tolerabilidad.	115

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de las áreas prespectivas en el proyecto.	28
Tabla 2. Compotentes de equipos electromecánicos.	32
Tabla 3. Formas de gestion del mantenimiento.	35
Tabla 4. Parametros y Ventajas Del Mantenimiento Predictivo.	37
Tabla 5. Siete Preguntas Básicas que plantea el RCM.	42
Tabla 6. Codificación: Sistema, subsistema, identificación y localización de los equipos en general.	100
Tabla 7. Codificación: Dimensiones y características específicas de los equipos En general.	101
Tabla 8. Codificación; Características eléctricas, fabricante, ficha técnica. Etc. ..	102
Tabla 9. Planilla Informativa RCM II Diagrama de decisión.	108
Tabla 10. Método de hazop.	112

RESUMEN

TÍTULO: * MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA LOS EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO, DRENAJE Y DESAGÜE EN EL MONTAJE DE LAS TURBINAS DE GENERACIÓN; PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO

AUTORES: NELSON SEBASTIAN VACCA BLANCO

**

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento, Disponibilidad, Confiabilidad, Modos de Falla, Efectos de Falla, Turbinas, Generador, Enfriamiento, Drenaje y Desagüe Presiones, Temperatura, Bombas Centrífugas, Accesorios. ETC.

DESCRIPCIÓN:

En el desarrollo de la generación de la energía eléctrica en Colombia se opta por utilizar menos recursos en su transformación. Y las hidroeléctricas tratan con reducir impactos ambientales y mejorar la producción eléctrica, es por esto que hidrosogamoso se construye aprovechando recursos hídricos conservando sus características. Con esta investigación y nuevas filosofías de mantenimiento que apoyan a los sistemas que allí intervienen se ejecuta un plan de mantenimiento a los sistemas de enfriamiento drenaje y desagüe logrando detallar su operación y las posibles causas de fallas que puedan generar una vez estos equipos entren a pruebas de operación, por tanto se estructuran formatos que brindan información sobre las tareas de mantenimiento que se sugieren particularmente, además se hace un análisis de causas y consecuencias, para que el operario de pruebas tenga en cuenta las características por las que un activo puede perder su capacidad inicial de operación y la intención de diseño. Para tal fin se siguió a cabalidad las normas del mantenimiento centrado en confiabilidad, y la norma SAE j1012, que brindan una guía objetiva acerca de este mantenimiento.

En el libro se describen los sistemas y su operación, para apoyar el plan de mantenimiento que debe ser entregado una vez concluyan las pruebas y puesta en operación de los equipos de enfriamiento drenaje y desague completando los procedimientos que Consalfa debe llevar a cabo para cumplir con los estándares de calidad, además de esto maximizar la confiabilidad que los equipos requieren siguiendo una estrategia de políticas de mantenimiento que han logrado llegar a tener un gran éxito con las reuniones de los especialistas en mantenimiento y los operarios que están atentos a su funcionamiento.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director;
Carlos Borrás Pinilla PhD, Mcs.

ABSTRACT

TITLE: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE FOR EQUIPMENT COOLING, DRAINAGE AND DRAIN ASSEMBLY GENERATION TURBINES; SOGAMOSO HIDROELECTRIC PROJECT. *

AUTHORS: NELSON SEBASTIAN VACCA BLANCO. **

KEY WORDS: Maintenance, Availability, Reliability, Failure Modes, Effects of Failure, Turbine Generator, Cooling, Drain & Drain Pressure, Temperature, Centrifugal Pumps, Accessories.

DESCRIPTION:

In the development of electricity generation in Colombia will choose to use fewer resources in its transformation. And try to reduce hydroelectric environmental impacts and improve electricity production, which is why taking advantage Hidrosogamoso builds water conserving features. This research new philosophies and maintenance support systems there involved a maintenance plan running cooling systems drainage and sewer operation and achieving detailing the possible causes of faults that can generate these teams enter once testing operation therefore formats that provide information about maintenance tasks that are structured particularly suggest further analysis of causes and consequences is to test the operator takes into account the characteristics that an asset may lose its initial operating capability and design intent . For that purpose fully followed the rules of reliability centered maintenance, and SAE J1012 , which provide objective guidance on this maintenance.

The systems and their operation are described in the book to support the maintenance plan must be submitted after the conclusion of the testing and commissioning of cooling equipment drain and water Consalfa completing the procedures must be performed to meet quality standards, besides that maximize reliability require teams following a strategy of maintenance policies that have made it to be very successful meetings with maintenance specialists and operators who are attentive to their operation.

*Thesis

**Physical-Mechanical Engineering Faculty, Mechanical Engineering School, Director, Ing. Carlos Borrás Pinilla Phd, Mcs.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mantenimiento hace parte fundamental en las empresas que desean sobresalir por su organización y mérito de mejorar eficientemente sus procesos, tal es su importancia que se implementa un departamento exclusivo para desarrollar paso a paso los estándares que los organismos certificadores exigen para que un proceso se lleve de manera correcta, es por esto que una serie de programas de mantenimiento se modelan para ser ejecutados en las empresas de acuerdo a sus necesidades y requerimientos. Siendo un requisito proteger la seguridad humana, la responsabilidad con el medio ambiente, la reducción de costos y optimización de recursos físicos.

Dentro de los programas de mantenimiento de clase mundial encontramos mantenimientos muy flexibles a la reducción de costos, y otros muy exigentes en cuanto a la seguridad, es el caso de la industria aeronáutica que tiene como propósito la confiabilidad de sus aviones para que no ocurra accidentes, y en la industria de hidrocarburos su propósito es aprovechar al máximo los recursos naturales, y evitar el impacto ambiental, es por eso que se implementa mantenimiento productivo total (MPT), Mantenimiento basado en condición (MBC), Y Mantenimiento centrado en confiabilidad son excelentes dirigentes en la gestión del mantenimiento e industria en general.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II) por sus siglas en ingles define; que es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos y activos físicos en su contexto operacional fue desarrollado por F.S Nowlan y H.F Heap y publicado por USA en 1978, e integra las herramientas necesarias para que las empresas tengan sus equipos y máquinas trabajando dentro de sus contextos operativos y su capacidad inicial en

perfecta condición también mitigando las consecuencias negativas que se puedan generar en el ambiente, en los costos o la seguridad humana.

En el proyecto es de primera necesidad conseguir y seguir una estrategia que unifique los criterios dentro de una misma organización, que se basen en la lógica del conocimiento de los equipos y de sus objetivos primordiales diseñando un buen plan como punto de partida para que posteriormente se detallado y retocado con aportes de mayor nivel. Como objetivo principal el RCM determina que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los equipos continúen operando con su capacidad inicial y su confiabilidad inherente.

Sabiendo la necesidad del PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO por lograr los más altos estándares de calidad y seguridad operativa, consigue que la gestión del mantenimiento implemente estas filosofías pro activas de manera efectiva y rápida dejando a un lado mantenimientos predictivos o preventivos que para el caso de la hidroeléctrica se encuentra en construcción y no justifica el alto costo de tales mantenimientos debido al gran valor de sus activos. Para la empresa del montaje electromecánico CONSALFA S.A.S. Es necesario tener un plan de mantenimiento diseñado a las condiciones iniciales de pruebas y pruebas independientes de funcionamiento de los equipos, dando prioridad a los equipos rotativos de enfriamiento drenaje y desagüe de los sistemas auxiliares.

Poder conservar todas las memorias de entidades que participan en su construcción y puesta en marcha, el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) soporta el buen funcionamiento y suministra las guías suficientes y reúne las personas necesarias para llevar a cabo estos estándares de calidad generando un buen funcionamiento, y que da la confiabilidad necesaria para operar estos equipos durante su comienzo de pruebas y su posterior puesta en marcha.

Dentro del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II es sobresaliente la disponibilidad de los sistemas ante una inminente falla, pues cada activo será reemplazado por otro donde la criticidad sea alta, por esto un sistema no será totalmente crítico pues existe un sistema de respaldo que estará dispuesto a ser principal con la decisión que toma el operador. Equipos rotativos, tuberías accesorios y demás componentes que fallen de manera múltiple, será inmediatamente reemplazado por su similar que está en espera. Es por esto que el análisis de criticidad por un método específico no tiene mayor valor pues la inversión en los equipos de redundancia reduce la necesidad de evaluar a los equipos y sistemas más críticos.

Accesorios y demás componentes que fallen de manera múltiple, será inmediatamente reemplazado por su similar que está en espera. Es por esto que el análisis de criticidad por un método específico no tiene mayor valor pues la inversión en los equipos de redundancia reduce la necesidad de evaluar a los equipos y sistemas más críticos.

1. EI PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto hidroeléctrico Sogamoso, creado con el apoyo de ISAGEN tiene como objetivo la generación de energía eléctrica mediante tres unidades de turbinas y generadores, que se activaran por las fuerzas hidrostáticas desde la presa que contiene el agua de sus afluentes, hasta las cavernas de máquinas.

Es para el proyecto imprescindible que los sistemas auxiliares entre ellos los sistemas de enfriamiento y el sistema de drenaje y desagüe de las turbinas en la central estén funcionando de manera confiable y con total disponibilidad y así minimizar no solo cualquier riesgo operacional sino ambiental, es preciso que estos equipos estén siempre disponibles y puedan alargar su vida útil, donde su eficiencia operacional sea siempre la inicial sin que pierda su capacidad inicial.

Enfocando a la Ingeniería, el mantenimiento asegura la confiabilidad de los equipos, disminuyendo las fallas que generan suspensiones no programadas, brindándole así al proyecto una mayor disponibilidad. Dentro de la central los equipos están expuestos a altos índices de humedad y hasta el momento carecen de un plan de mantenimiento eficaz, lo cual conlleva a la insuficiencia de confiabilidad y disponibilidad una vez inician sus pruebas. Por tal razón es requisito que por parte de la empresa encargada del montaje se entregue un plan de mantenimiento eficaz, para estos sistemas en particular.

Los equipos con los que cuentan estos sistemas son de gran tamaño y deben soportar un gran volumen de agua, es por esto que cada equipo tiene un similar de respaldo considerando el alto riesgo que pueda causar una parada inesperada.

Los componentes críticos de cada activo deben estar previamente analizados y listos para ser repuestos.

Inicialmente estos componentes son nuevos y durante el montaje serán sometidos a pruebas donde empezaran a llevar una hoja de vida que aún no tiene un historial de fallas , para cada uno de ellos, mientras tanto solo se tiene registro de equipos en funcionamiento en condiciones similares.

De esta forma el problema que se presenta cuando se desarrolla el montaje de los equipos, es que cuando inicien las pruebas y operación de las turbinas no exista un plan de mantenimiento adecuado que establezca su mantenibilidad y sea eficaz, por esta razón todo el trabajo está condicionado a realizarse con la pericia del personal que decida sobre los cambios a realizar, agregando que de ser así, una falla funcional de las unidades provocaría una puesta en marcha de los sistemas de respaldo, que de no ser suficiente entraría en peligro la turbina con una posible inundación, seguido de un problema técnico que finalizaría con un problema ambiental, debido a todos los fluidos y sustancias que allí se manejan.

La ausencia de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad y el desconocimiento de las normas técnicas internacionales como la SAE JA1012 (Reliability-centered-maintenance) que dan una guía tanto para el personal de operación como el personal de mantenimiento, implicaría a los equipos un mantenimiento no coordinado, se perdería la objetividad a los requerimientos, se aumentaría el nivel de fallas de forma intolerable y se registrarían consecuencias operacionales para la planta y el medio ambiente.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Con el objetivo de contribuir con la misión de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, al atender las necesidades de la industria y fortalecer el desarrollo de la región, Se busca garantizar la confiabilidad de los equipos en el proyecto Hidrosogamoso y apoyar a las empresas interesadas en el proyecto, que en este caso serán ISAGEN como operador y CONSALFA S.A.S como encargado del montaje electromecánico.

Acorde con esto se pretende desarrollar por medio de esta TESIS, la solución a esta problemática, proponiendo un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para los equipos que operan los sistemas de enfriamiento, drenaje y desagüe. Aplicando las planillas respectivas que rige la norma, mediante la herramienta de modos y efectos de falla.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (Reliability Centered Maintenance) tiene como finalidad ayudar a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas, siendo su objetivo principal el razonamiento de los costos de mantenimiento, enfocándose en las funciones más importantes de los sistemas. Al desarrollar un programa de mantenimiento nuevo el resultado será que la carga de trabajo sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos no pro activos.

Los programas de mantenimiento más efectivos se enfocan en garantizar la vida útil del activo, evitando las fallas o minimizando sus consecuencias, lográndose esto mediante el uso de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO

1.3.1 Objetivo general

Contribuir con la misión de la universidad industrial de Santander en la generación y aplicación de conocimientos con nuevas técnicas para mejorar la capacidad de mantenimiento, la disponibilidad de equipos y desempeño de procesos en los sistemas de enfriamiento, drenaje y desagüe de las turbinas del proyecto hidrosogamoso, apoyando las políticas y rutinas de mantenimiento con la implementación de la confiabilidad, que garantizará la eficiencia y calidad de sus activos siendo aún más productivos y logrando beneficios en la minimización de costos de operación y mantenimiento.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Generar un plan maestro de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II) para las bombas centrífugas de los sistemas de enfriamiento, drenaje y desagüe de las turbinas, siguiendo la norma SAE-J1012 basada en confiabilidad.

Para lo cual se deberá;

- ✓ Realizar una lista y codificación de los equipos que forman parte de los sistemas de enfriamiento, drenaje y desagüe de las turbinas tales como Bombas centrífugas e intercambiadores de calor, clasificándolos por funcionamiento operativo y sistema al que pertenecen; crear una base de datos en Excel.
- ✓ Adquirir y organizar información técnica y documental de los equipos del sistema de enfriamiento drenaje y desagüe de las turbinas

Estas Actividades son:

- a) Búsqueda en los archivos técnicos de registro en control documental de la empresa CONSALFA, encargada del montaje. Planos, procedimientos de instalación, montaje y pruebas.
 - b) Contacto al fabricante o representante de cada activo y adquisición de información, e historial de falla los equipos en condiciones similares.
 - c) Catálogos técnicos y manuales de instalación de los equipos suministrados por los Fabricantes.
 - d) Elaboración de fichas técnicas de los activos.
 - e) Verificación de los cálculos de diseño y sus condiciones operacionales.
- ✓ Realizar un análisis de modos y efectos de falla (FMEA) basado en la norma SAE-J1012, de los equipos rotativos que forman parte de los sistemas de enfriamiento, drenaje y desagüe de las turbinas, siendo independiente de los demás sistemas auxiliares.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Lo planteado conlleva a tomar la decisión de hacer la propuesta de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la central , específicamente para el sistema de enfriamiento, drenaje y desagüe a fin de garantizar su correcto funcionamiento, tomando en cuenta todos los aspectos claves para alargar su vida útil y minimizar las paradas no previstas.

El desarrollo de este de este plan de mantenimiento se basa principalmente en búsqueda de optimización y cumplimiento de los estándares de confiabilidad RCM para los nuevos equipos del sistemas de enfriamiento, drenaje y desagüe en el proyecto hidrosogamoso por medio de un análisis detallado de sus elementos constituyentes que garantizará un eficiente manejo en la implementación de programas de mantenimientos proactivos.

La confiabilidad operacional se encuentra orientada a ser aplicada en casos:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección equipos estáticos y dinámicos.
- Solución de problemas recurrentes en equipos e instalaciones que afectan los costos y efectividad de las operaciones. Establecer el alcance y frecuencia adecuada de las paradas de planta.
- Determinación de tareas que permite equipos e instalaciones.

2. COMPAÑÍA DE MONTAJES INDUSTRIALES CONSALFA S.A.S PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO.

Figura 1. Logo Consalfa



Fuente: *Página principal de Consalfa citado [2/12/2013] online <consalfa.com>*

2.1 GENERALIDADES DE LA COMPAÑÍA

Consalfa, Es una empresa de Montajes Industriales que comenzó sus actividades como el Consorcio Consalfa Hidrosogamoso siendo una de las empresas que desarrollan el montaje electromecánico de las turbinas y su puesta en marcha, mediante un contrato de licitación que se hizo efectivo a comienzos del proyecto hidroeléctrico, la empresa es la encargada del montaje de los equipos y máquinas que allí funcionaran, su sede principal es en Bogotá, y la oficina de operaciones del proyecto se establece en las instalaciones dentro del campamento de Isagen, consalfa genera empleo a personas de la región, e instruye frecuentemente los trabajadores con sus respectivas capacitaciones ya sean técnicas o de seguridad. Además cuenta con Ingenieros con gran experiencia en montajes industriales y técnicos y supervisores que han trabajado particularmente con hidroeléctricas en Antioquia y el Tolima. Tiene una particularidad, su estrategia de trabajo es siempre dirigido a la seguridad industrial y operativa. A continuación se presentara una breve descripción de la empresa, con su historia visión y misión.

2.1.1 Reseña histórica de la compañía

En el año 2010 dos de las compañías líderes en construcción en Latino América, Concreto y SalfaCorp, decidieron unir esfuerzos y experiencia para crear una compañía capaz de ofrecer al mercado servicios integrales de construcción y montajes industriales.

La experiencia y habilidad para evolucionar a través de mercados cada vez más exigentes y complejos, confirman el liderazgo que estas compañías han alcanzado en las últimas décadas. Como resultado de este crecimiento ConSalfa S.A.S. fue establecida para agregar valor al desarrollo de la construcción y la industria en Colombia.

Figura 2. Trabajo de consalfa



Fuente: *página principal consalfa. Adaptado y citado [12/12/2013] on line <consalfa.com>*

2.1.2 Misión

Generamos valor a los clientes y accionistas desarrollando proyectos industriales con las mejores prácticas de ingeniería, procesos innovadores y el compromiso de un equipo humano de excelencia que respeta la integridad de las personas, el ambiente y fortalece las relaciones con los grupos de interés.

2.1.3 Vision

Ser la mejor empresa en Colombia en el desarrollo integral de proyectos industriales reconocida por su excelencia técnica, capacidad operacional y sus altos estándares de seguridad, ambiente y responsabilidad social.

2.1.4 Política del sistema de gestion integrado.

CONSALFA S.A.S. orienta sus servicios al desarrollo integral de proyectos industriales ofreciendo a nuestros clientes conocimiento, eficiencia, excelencia técnica y capacidad operacional, cumpliendo con los estándares de la industria.

CONSALFA S.A.S. a través de la participación de la Gerencia General está comprometida con un Sistema de Gestión Integral donde el desarrollo y el bienestar de sus colaboradores, la satisfacción de los requisitos, necesidades y expectativas de nuestros Clientes, el mejoramiento continuo y la prevención de los daños a la propiedad son el eje de su organización. Para ello proporciona los recursos necesarios para el desarrollo e implementación del sistema, garantizando el trabajo integrado y permanente de todos los colaboradores que forman parte de la misma.

CONSALFA S.A.S. está comprometida con la protección de su colaboradores y con la responsabilidad ambiental a través de la implementación del Sistema de Gestión Integral, dando cumplimiento a la legislación vigente y otros requisitos que la organización suscriba en materia de prevención de accidentalidad, enfermedades laborales, protección a la vida y prevención de la contaminación, orientando sus esfuerzos en el control de los riesgos laborales y de los aspectos e impactos ambientales significativos.

En CONSALFA S.A.S. la responsabilidad social empresarial se aplica con el respeto de los derechos humanos y la creación conjunta de valor con sus grupos de interés. En consecuencia, no permite el trabajo infantil ni la discriminación y se

vela porque las compensaciones y los horarios de trabajo estén acordes con la ley.

2.1.5 Estructura de la compañía.

Figura 3. Estructura organizacional de consalfa S.A.S



Fuente: sitio web Consalfa adaptado [10/12/2013] online <consalfa.com>

Desde sus inicios Consalfa cuenta con grandes aportes de conocimientos estas dos empresas que unieron esfuerzos para crearla, se organizaron de manera tal que para el desarrollo del nuevo proyecto Hidrosogamoso, su estructura se había conformado por oficinas de gerencia en Bogotá, y oficinas de operaciones directamente en el proyecto hidroeléctrico quienes dividieron la parte operativa y la parte administrativa organizada de esta manera;

Tabla 1. *Distribución de las áreas perspectivas en el proyecto.*

División administrativa:	División operativa:
Director del proyecto	Director de obra.
Director de montajes	Jefes de frente mecánico
Oficina técnica	Jefes de frente eléctrico
Control documental	Jefes de frente instrumentación, control.
Oficina de calidad.	Jefe de seguridad industrial y operativa.
Administración y costos.	Almacenamiento, taller y bodega.
Recursos humanos.	Mantenimiento
Servicios generales.	Operativos y operadores.

Fuente: *Elaboración propia.*

Todas estas divisiones trabajan en conjunto para lograr tener la competencia y conocimiento suficiente ejecutando un proyecto insignia de avances industriales en la región de Santander, como es el Proyecto Hidrosogamoso, donde 58 personas administrativas y 250 operativas trabajan por lograr los ítems contractuales que fueron pactados después de la firma del contrato donde se debe ejecutar la instalación y montaje electromecánico de las turbinas y sus respectivas pruebas.

2.1.6 Valores corporativos

Para ConSalfa S.A.S., los principios corporativos abarcan el conjunto de valores, creencias y normas que son compartidos por todas las personas que la constituyen, y que por tanto deben regular la vida misma de la organización, la interacción entre el personal, con los clientes, los proveedores, las autoridades y los inversionistas.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO HIDROELECTRICO DE SOGAMOSO.

2.2.1 Localización y generalidades del proyecto.

El Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso está localizado en el noreste del país, en el Departamento de Santander a 75 Km aguas arriba de la desembocadura del Río Sogamoso al Magdalena. Para aprovechar las aguas del río Sogamoso se ha previsto la construcción de una presa de gravas con cara de concreto, con una altura de 190 m, que tiene en su extremo izquierdo la estructura para el vertedero, el cual será controlado por cuatro compuertas y su canal de descarga terminará en un salto de esquí para la disipación de energía.

La desviación del río para permitir la construcción de la presa, está prevista a través de dos túneles de desvío excavados en la margen izquierda.

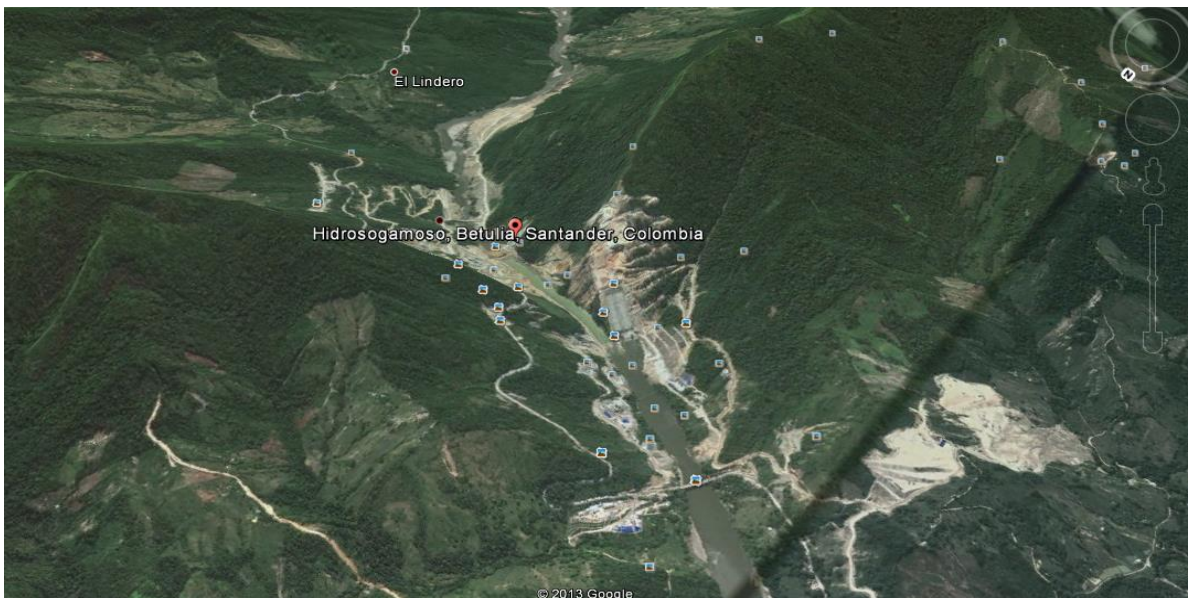
Se ha determinado una capacidad instalada del Proyecto de 820 MW, utilizando tres unidades de generación accionadas por turbinas tipo Francis con un caudal máximo turbinable de 665 m³/s, y caudal nominal de 630 m³/s. El embalse tendrá un volumen total de 4.717 millones de metros cúbicos, de los cuales 2.802 millones corresponden a embalse útil; el área inundada (espejo de agua) será de 6.969 ha. Los valores medios mensuales de temperatura ambiente en el área el Proyecto oscilan entre 27,3 °C y 28,1 °C, la temperatura máxima media varía entre 35 °C y 36,3 °C, mientras que la mínima media está entre 19,6 °C y 21 °C.

Figura 4. *Vista en perspectiva finalizado el embalse y la hidroeléctrica.*



Fuente: Tomado de *Proyectos Isagen Online* [12/12/2013] <consalfa.com> "

Figura 5. *Localización geográfica proyecto hidrosogamoso.*



Fuente: Tomado de *Google-earth*. Adaptado y citado [12/12/2013] online.

2.2.2 Descripción técnica del proyecto.

El proyecto hidroeléctrico se compone de las siguientes obras y equipos, de los cuales nombramos solamente los principales, e importantes para el desarrollo de este plan de mantenimiento.

Obras principales: Presa y obras anexas:

- Túneles de desviación, incluyendo los sistemas las compuertas de cierre para cada uno
- Pre ataguía
- Ataguía en concreto compactado con rodillo
- Presa de gravas con cara de concreto
- Vertedero
- Descarga de fondo

Obras de generación:

- Obras de Captación
- Túneles de carga
- Túnel de acceso a la Central Subterránea.

Central Subterránea:

- Caverna de máquinas
- Caverna de transformadores
- Caverna de oscilación o almenara
- Obras de descarga
- Galerías y túneles de acceso e interconexión
- Pórtico de salida de cables

Equipos electromecánicos:

La Central contará con tres (3) unidades de generación compuestas de:

- Turbina Hidráulica Tipo Francis, de eje vertical, para operación continua, con un caudal nominal de 210 m³/s, salto neto nominal 145,53 m, potencia nominal de 278,8 MW y eficiencia garantizada en las condiciones nominales de 94 %.
- Válvula cilíndrica de admisión
- Regulador de velocidad (hidráulico y electrónico)
- Generador de Potencia asíncrono, trifásico, 60 Hz, enfriado por aire, de 163,63 PM, 324 MVA, 16,5 KV y su equipo asociado (sistema de excitación, sistema de puesta a tierra, sistema de lubricación, sistema de refrigeración, etc.)
- Barras de fase aislada
- Interruptores de máquina
- Transformador de Potencia, trifásico, con una relación de transformación de 16,5 kV a 230 kV y una potencia de 324 MVA, y su equipo Asociado (sistema de control sistema de refrigeración, sistema de circulación de aceite, etc.)
- Cables aislados - Tipo Seco 230 KV

2.2.3 Descripción de los equipos electromecánicos.

Tabla 2. Competentes de equipos electromecánicos.

SISTEMA DE CAPTACIÓN	UNIDADES DE GENERACIÓN
Rejas de protección	Turbina
Compuertas del túnel de captación	Válvula cilíndrica
Blindaje del túnel inferior de la conducción	Regulador de Velocidad. Generador
	Barras de fase aislada
	Interruptor de maquina
	Transformador elevador Cables de potencia.

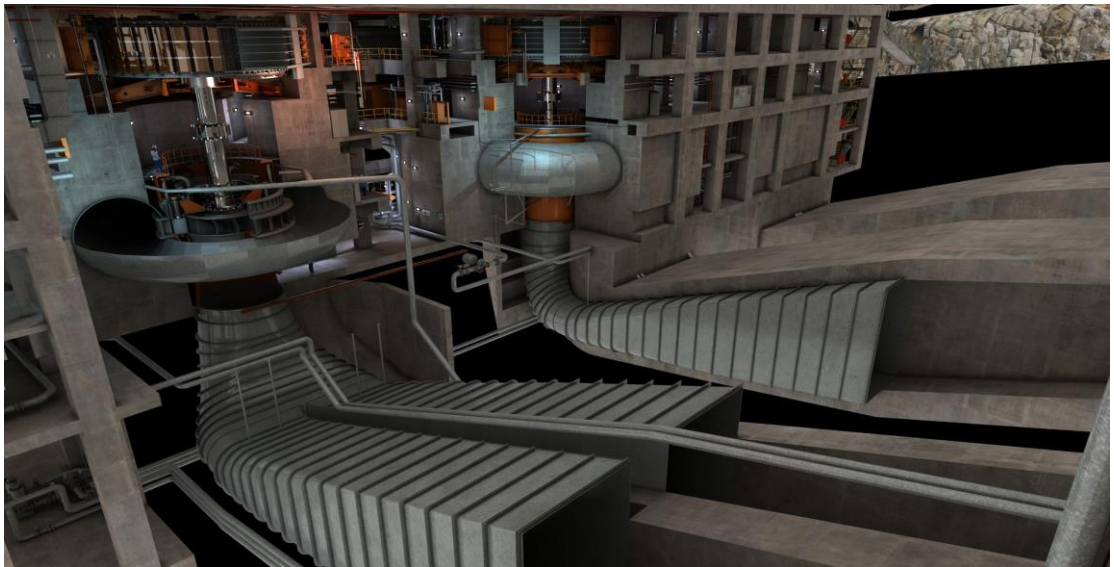
Fuente: Descripción General Proyecto Hidrosogamoso, Control documental Consalfa [2013]

Figura 6. *Rotor Del generador En Caverna de Maquinas El. 163,40*



Fuente: *El Autor.*

Figura 7. *Esquema De Las Unidades De generación, Modelado Render.*



Fuente: *Imágenes Digitalizadas Adaptadas [12/12/2013] Consalfa S.A.S Control documental. Hidrosogamoso].*

- **LA TURBINA.**

Tipo Francis, de eje vertical, diseñado para operar en forma continua a una velocidad sincrónica de 163,63 RPM, con un caudal nominal de 210 m³/s, salto neto nominal 145,53 m y potencia nominal de 278,8 MW. La eficiencia mínima garantizada en las condiciones nominales es de 94%.

El rodete será fabricado en acero inoxidable y la cámara espiral y el tubo de aspiración serán construcciones soldadas de acero laminado.

El eje de la turbina deberá contar un cojinete guía y estará acoplado al eje inferior de generador. El cojinete deberá diseñarse y construirse en varios segmentos o sectores ajustables e inmersos en aceite.

Los álabes móviles serán fabricados en acero inoxidable y su operación será a través de un sistema hidráulico, comandado por el regulador de velocidad de la turbina, lo cual incluye las palancas de los álabes, bieletas, anillos de conexión y servomotores.

La turbina deberá operar satisfactoriamente sin ningún requerimiento de aire comprimido bajo condiciones establecidas. No obstante, el rodete de la turbina deberá proveerse con un sistema de aspiración natural de aire atmosférico y de un sistema de inyección de aire comprimido, para reducir la cavitación y las vibraciones cuando se opere a baja carga.

3. FUNDAMENTOS TEORICOS

3.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existen diferentes formas de diferenciar los tipos de mantenimientos, sin embargo la generalmente utilizada, parte del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, quienes son los más comunes además está el mantenimiento centrado en confiabilidad que aporta un análisis completo para las tareas que se deben seguir en la disponibilidad de equipos por medios proactivos.

Tabla 3. *Formas de gestion del mantenimiento.*

1. Mantenimiento Correctivo	Una acción
2. Mantenimiento Progresivo	Recomendación del Fabricante
3. Mantenimiento Programado	Metodologías
Periódico	
Sistemático	
4. Mantenimiento con Proyecto	Ingeniería de Proyectos
5. Mantenimiento Preventivo	Una Filosofía
6. Mantenimiento Predictivo	Una Tecnología
7. Mantenimiento Productivo	Una Estrategia
Mantenimiento Total	Un ideal

Fuente: *Mantenimiento Carlos Ramón González. Diapositivas Material Académico Escuela de Ingeniería Mecánica. UIS. [2013]*

Todos los mantenimientos pueden ser aplicados para un sistema de gestión que permita llevar la mantenibilidad en los sistemas de la hidroeléctrica, pero el estudio analítico permite que estos mantenimientos sean más objetivos y se desarrollen

tan solo uno de ellos, depende de que tan necesario sea la inversión para el mantenimiento, dado que los equipos serán utilizados desde cero, los programas deberán tener o bien sea un programa preventivo o un programa correctivo, vamos a tener en cuenta estos dos tipos de mantenimiento, más el mantenimiento centrado en confiabilidad, que programara el estado de tareas y tendrá un análisis más detallado^[1]

3.1.1 Mantenimiento preventivo

Siendo una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, donde el objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos. Las ventajas que proporciona este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- Disminución de los paros imprevistos y no deseados, Menor número de reparaciones repetitivas que pudieran resultar en daños y costos excesivos.
- Mayor conservación y seguridad de los equipos y personal.
- Intervenciones de manera organizada, ubicación de repuesto y con el personal calificado, y así tener control de materiales, herramientas, repuestos y personal Este método asegura una óptima confiabilidad de la planta y una disminución de los riesgos de salida de la misma. Además, ayudará a mantener la alta productividad de la planta.
- Se efectúan intervenciones profilácticas programadas.
- Disminuye gastos en reparaciones.
- Intervenciones más frecuentes: Servicio diario (limpieza, lubricación), trabajos periódicos (ajustes, recambios, regulaciones, engrases), reparaciones pequeñas, medianas, generales, reparaciones imprevistas.
- Diagnóstico para definir las actividades y para evaluar el mantenimiento.
- Disminuye eventualidad aumenta vida útil.^[1]

3.1.2 Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza. [2]

Tabla 4. *Parámetros y Ventajas Del Mantenimiento Predictivo.*

PARAMETROS	VENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• Vibración.• Corrosión.• Estado de válvulas.• Contaminación del aceite lubricante.• Ruidos• Calibración de la instrumentación.• Estado de ensuciamiento interior de superficies de intercambio de calor.• Regímenes químicos de aguas, composición química de condensados.• Caídas de presión en sistemas	<ul style="list-style-type: none">• Reduce los tiempos de parada.• Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.• Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.• La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.• Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.

Fuente: *Gestion del mantenimiento Carlos Ramón Gonzales Diapositivas, Material académico Escuela Ingeniería Mecánica [2013]*

3.1.3 Mantenimiento correctivo.

Es una actividad no programada y se dirige a reparaciones por fallas inesperadas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones operativas, en el menor tiempo posible si es de su interés por medio de restauración, reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a los daños que sufren en sus estructuras. ^[2]

CARACTERÍSTICAS:

- Mantenimiento después que el equipo se ha dañado.
- Reparar cuando el fallo se produjo o es inminente.
- Se mantienen acciones de lubricación, limpieza, etc. Como preventivos.
- Ahorro en reparaciones pequeñas, medias y generales.
- El costo de sus consecuencias generalmente muy alto.
- Máximo aprovechamiento de la pieza.

Puede ser:

- No planificado: de emergencia (reparación de roturas).
- Planificado: Se sabe con antelación qué es lo que debe hacerse. Este mantenimiento es de práctica frecuente pero no es muy recomendable.

Estos métodos dejan extender intervalos entre el mantenimiento y las actividades, aunque el mantenimiento puede ser llevado a cabo, si hay daño. Debido a la minimización de las interrupciones de operación el método predictivo en condiciones de mantenimiento es un método muy económico Sin embargo, se requieren unas condiciones de monitoreo periódicas, un amplio conocimiento del equipo así como también la suficiente tecnología y experiencia. ^[2]

3.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional

presente. Un aspecto clave de la metodología MCC es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional. La definición de este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño).

Desde este punto de vista, el MCC, no es más que una herramienta de gestión del mantenimiento, que permitirá maximizar la confiabilidad operacional de los activos en su contexto operacional, a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento. El MCC es necesario porque: responde a las debilidades derivadas de los enfoques tradicionales de mantenimiento, permite asociar y sopesar los riesgos del negocio con el fallo de los activos, facilita de manera sistemática, la determinación del enfoque que se le debe dar a los recursos de la función mantenimiento.^[4]

3.2.1 Objetivos Y Ventajas Del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad RCM

Objetivos del RCM mantenimiento centrado en la confiabilidad:

- Reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias

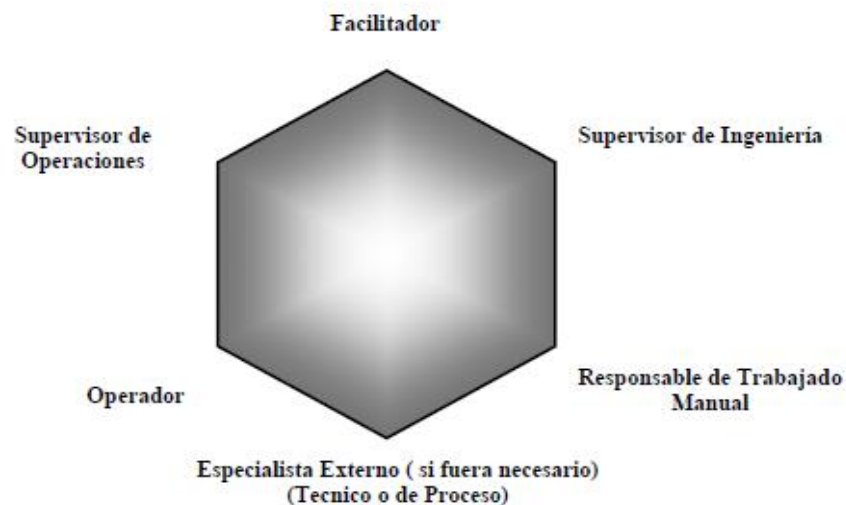
Ventajas del RCM mantenimiento centrado en la confiabilidad:

- Si RCM se aplicara a un sistema de mantenimiento preventivo ya existente en las empresas, puede reducir la magnitud mantenimiento rutinario hasta un 40% a 70%.
- Si RCM se aplicara para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento preventivo en la empresa, la carga de trabajo programada será mucho menor que si el sistema fuera método convencionales.

- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas. Saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo. [6]

3.2.2 Equipo Natural De Trabajo.

Figura 8. Grupo Tipo de revisión RCM.



Fuente: Moubray Jhon; *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad [2004]*.

Es el conjunto de personas de diferentes funciones de la organización, que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar los problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común. Los equipos naturales de trabajo son vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa, y trabajan consistentemente a largo plazo.

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar todas las preguntas por sí mismos. Esto porque muchas de las respuestas solo las pueden

dar el personal de operaciones, los cuales se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos. Por esta razón, una revisión de Los requisitos de mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajos reducidos que incluyan una persona por lo menos de mantenimiento y otra de producción.^[3]

Contexto Operacional

El primer documento que se realiza para un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es el contexto operacional, lo que debe realizarse muy cuidadosamente porque de esto dependerá la ejecución del análisis, el cual debe contener una descripción detallada de la instalación que será analizada; también se refleja el propósito del equipo o sistema, descripción de equipos y procesos, dispositivos de seguridad, metas de seguridad ambiental y operacional, volumen de producción, calidad, servicio, planes a futuro, personal, turnos de trabajo, operaciones, mantenimiento, gerencia, límites del sistema y un listado de componentes de cada sistema en caso de que haya división del sistema en varios subsistemas, incluyendo dispositivos de seguridad e indicadores.^[3]

Resolviendo Las Preguntas Básicas Del Rcm.

Para la resolución de estas preguntas se cuenta con técnicas de confiabilidad como el FMEA (Análisis de los Modos y Efectos de las fallas) y DIAGRAMAS DE DECISIÓN DE RCM. La primera ayuda a determinar las consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional, mientras que la segunda permite decidir el tipo de mantenimiento más adecuado, para cada modo de falla.

Tabla 5. *Siete Preguntas Básicas que plantea el RCM.*

¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
¿Que ocasiona cada falla funcional?
¿Qué ocasiona cada falla funcional?
¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
¿De qué modo afecta cada falla?
¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?

Fuente: *Moubray Jhon; Mantenimiento Centrado en Confiabilidad [2004].*

3.2.3 Análisis De Modo Y Efecto De Falla.

El Análisis de los modos y efectos de Fallas (FMEA), constituye la herramienta principal del MCC, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. EL FMEA es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Hay que tener presente que la realización del FMEA, constituye la parte más importante del proceso de implantación del MCC, ya que a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo MCC, a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.^[5]

“un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional”

➤ FUNCIONES PRIMARIAS

Las funciones primarias de un elemento son las razones por las que existe, de modo que normalmente es una tarea sencilla identificarlas y describirlas. A menudo se identifica la función primaria por el nombre del elemento.^[3]

➤ FUNCIONES SECUNDARIAS

Además, de sus funciones primarias, casi todo elemento tiene diversas funciones secundarias. Suelen ser menos obvias que las funciones primarias, pero su falla puede traer graves consecuencias, a veces más graves que las de la falla de una función primaria. Estas funciones son definidas por los criterios o estándares de funcionamiento.^[3]

➤ FALLAS FUNCIONALES

Las fallas funcionales se producen por la incapacidad de un elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Para definir una falla funcional sólo se requiere escribir la función en sentido negativo, es decir, contradecir la función en caso de una bomba, no “bombear” algún fluido.^[3]

➤ MODOS DE FALLAS.

Son las razones que dan origen a las fallas funcionales, es decir, lo que hace que la planta, sistema o activo no realice la función deseada. Cada falla funcional puede ser originada por más de un modo de falla y cada modo de falla tendrá asociado ciertos efectos, que son básicamente las consecuencias de que esta falla ocurra.^[3]

➤ EFECTO DE FALLAS.

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.^[3]

➤ **CONSECUENCIA DE LAS FALLAS OCULTO.**

Una función oculta o no evidente, es aquella cuya falla no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí solo.

Generalmente no ejercen efecto directo, pero si exponen a las instalaciones a otras fallas cuyas consecuencias serían más graves, y a menudo catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos.

Dentro de las fallas funcionales se encuentra una planilla que hace referencias al RCM II, considerando los sistemas y subsistemas. Para los sistemas de enfriamiento.^[3]

Aplicación de análisis de modos y efecto de fallas (FMEA).

Una vez determinados los equipos y componentes críticos del sistema, se le aplica el Análisis de Modos y Efecto de Fallas, el cual consiste en determinar las funciones, las fallas de las funciones, las causas y las consecuencias de las fallas. Los manuales de fabricantes, manuales de Operaciones de la central fueron las referencias revisadas, para indagar sobre las interrogantes que propicia el FMEA. Las entrevistas con el personal forman parte fundamental de esta etapa y el desarrollo del trabajo, en el área de procesos, el taller de mantenimiento y área de oficinas. Se harán entrevistas personal de mantenimiento, operaciones, el Equipo Natural de Trabajo y personal de mayor experiencia. Para asentar los resultados del FMEA se desarrolla una hoja de información adaptada a la central hidroeléctrica basada en la plantilla De Información RCM II con la finalidad de mejorar la identificación de los componentes objeto de estudio, cumpliendo normalmente con los requisitos que amerita la aplicación del FMEA.

Vale decir que estos sistemas viene muy avanzados dado que el control y automatización hacen parte fundamental de los equipos, mas sin embargo nos dirigimos hacia las partes mecánicas de los activos, más que a la parte de control, pues nuestro interés en este momento es por fallos mecánicos, y reparaciones, mecánicas no digitales, que en este campo es muy amplio. [3]

Figura 9. Ejemplo de planilla informativa

PLANILLA INFORMATIVA RCM II

SISTEMA		<u>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA</u>	
SUBSISTEMA			
<u>FUNCION</u>	<u>Falla Funcional</u>		<u>MODOS DE FALLA</u>
<u>1</u>	<u>Transferir Agua del Tanque X Al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.</u>	<u>A</u> Incapaz de transferir Agua	1 Rodamiento falla 2 El propulsor se suelta 3 Propulsor atascado por un objeto extraño 4 Campana de enganche falla por fatiga. 5 Se quema el motor 6 Válvula de entrada tapada 7 Propulsor desgastado 8 Línea de succión Parcialmente bloqueada.
		<u>B</u> Transfiere menos de 800 litro Por minuto.	

Fuente: Moubray Jhon; *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad [2004].*

3.2.4 Diagrama de decisión RCM II

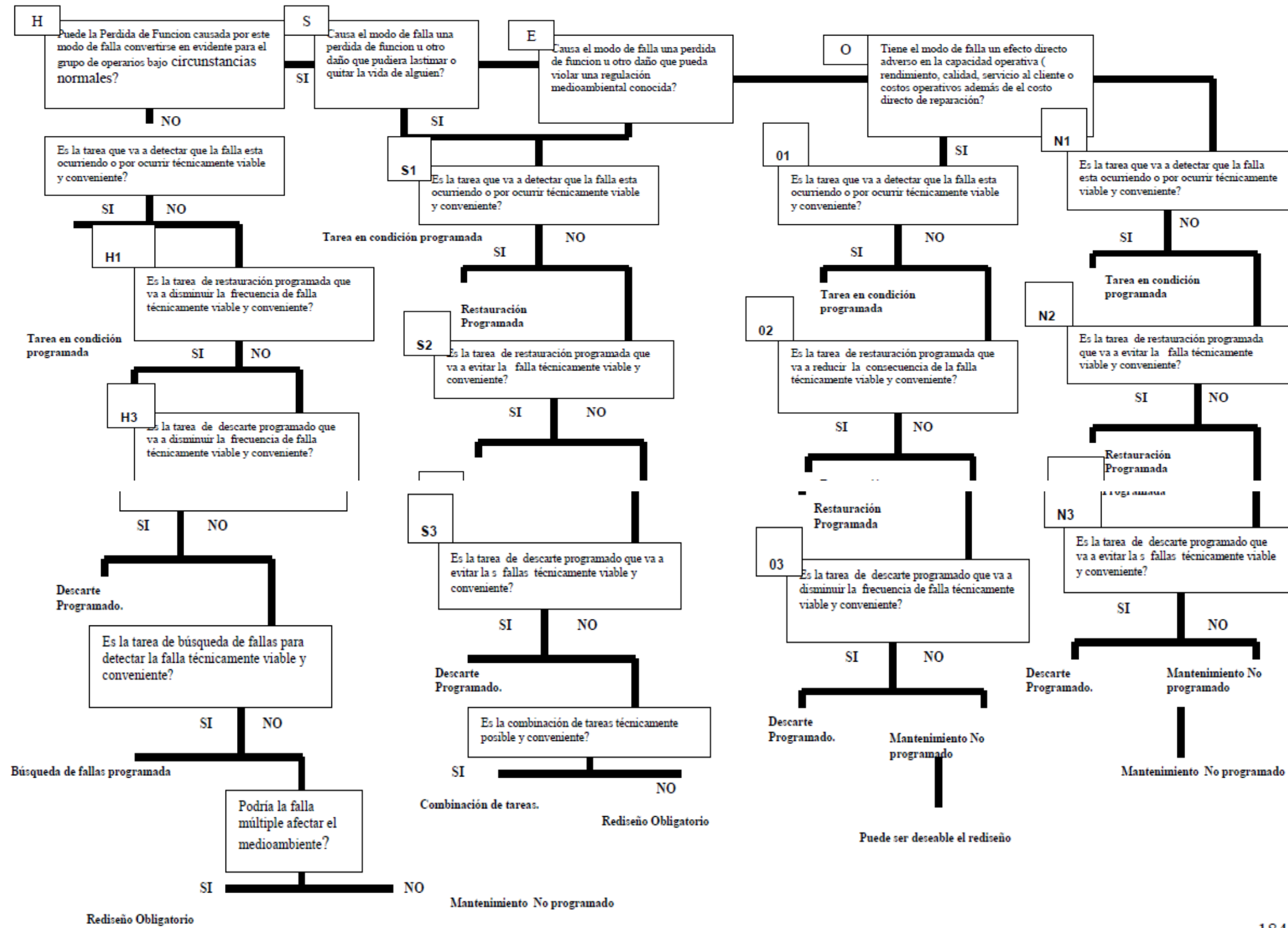
Esta etapa se fundamentara en determinar las tareas necesarias a implementar para el sistema, mediante el método del flujograma de preguntas al diagrama de

decisiones de Decisiones. La técnica podrá realizarse con reuniones con el Equipo de Trabajo y entrevistas constante con el personal de experiencia.

En el siguiente diagrama propuesto se podrían integrar todos los procesos de decisión en un marco estratégico simple, y donde se incluyen todos los análisis de modos y efectos de falla, que intervenga en un sistema o un equipo, también se lleva una unión de datos con las planillas de decisión RCM II, y donde se pueden interpretar muy bien los datos de las fallas nombradas.

Luego de seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento a partir del Árbol Lógico de Decisión, se tiene que especificar la acción de mantenimiento a ejecutar asociada al tipo de actividad de mantenimiento seleccionada, con su respectiva frecuencia de ejecución, teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del MCC, es evitar o al menos reducir las posibles consecuencias a la seguridad humana, al ambiente y a las operaciones, que traerán consigo la aparición de los distintos modos de fallas. El primer paso para seleccionar las actividades de mantenimiento, consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallas. ^[2]

Figura 10. Diagrama de decisión RCM II



Fuente: Moubray Jhon; *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* [2004].

Planilla De Decisión De RCM II

Figura 11. Planilla de decisión RCM II

PLANILLA DE DECISIÓN RCM II								SISTEMA						N° De sistema.	Facilitador:	Fecha	N° De Hoja			
REFERENCIA DE INFORMACION								CONSECUENCIA DE LA EVALUACION						ACCION DE DEFAULT			N° De Sub-sistema.	Auditor:	Fecha	De
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4	H5	S4	TAREA PROPUESTA			Intervalo Inicial	Puede ser Realizado por			
							O1 N1	O2 N2	O3 N3											

Fuente: Moubray Jhon; *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad [2004]*.

La primera parte, muestra el encabezado de la hoja, así como los datos de información del equipo y del personal que realizó la compilación. La segunda parte, expresa la información del FMEA como identificación de cada modo de falla, posteriormente las repuestas de cada modo de falla, sobre si son evidentes, trae consecuencias sobre las personas, el medio ambiente o si trae consecuencias sobre la operación (expresados con H, S, E y O respectivamente), luego se presentan las respuestas, a las tareas recomendadas. Seguidamente aparece una breve descripción de la tarea a implementar, así como su frecuencia inicial y el departamento recomendado, cumpliendo entonces con las especificaciones de una hoja de decisión. ^[4]

Cabe destacar que las respuestas a las preguntas del Diagrama se reflejan en la Hoja de Decisiones de la siguiente manera: para respuestas negativas (NO) se reflejan con la letra N y para respuestas positivas (SI) con la letra S. ^[4]

Consecuencia de las fallas.

Para el diagrama de decisión pueda decidir sobre las tareas de mantenimiento a realizar, es importante que se tengan las consecuencias de los fallas y decidir el eslabón en que se encuentra cada modo de falla.

Consecuencia de las Fallas Oculto. Una función oculta o no evidente, es aquella cuya falla no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí solo.

Generalmente no ejercen efecto directo, pero si exponen a las instalaciones a otros fallas cuyas consecuencias serían más graves, y a menudo catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos. ^[4]

➤ Consecuencias De Fallos Ocultos.

Una función oculta o no evidente, es aquella cuya falla no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí solo.

Generalmente no ejercen efecto directo, pero si exponen a las instalaciones a otros fallas cuyas consecuencias serían más graves, y a menudo catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos. ^[4]

➤ Consecuencia Para La Seguridad.

Un modo de falla tiene consecuencias sobre la seguridad personal si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, mientras que sobre el ambiente si origina una infracción de cualquier normativa o reglamento relacionado con el medio ambiente. ^[4]

➤ Consecuencias Operacionales.

Una falla trae consecuencias operacionales si tiene efecto adverso directo sobre la capacidad operacional, afectan al rendimiento total, la calidad del producto y el servicio al cliente. En todos estos casos estas consecuencias cuestan dinero.

➤ Consecuencias No Operacionales.

Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría son aquellas que no traen consecuencia sobre la seguridad ni la producción, de modo que solo originan cambios de elementos que se puedan ejecutar de una manera rápida y programada y sola con el coste directo de la reparación

Tareas De Mantenimiento Preventivo.

Son aquellas que ayudan a decidir qué hacer para prevenir una consecuencia de falla. El que una tarea sea técnicamente factible depende de las características de la falla y la tarea.^[5]

➤ Tareas Preventivas

Se dividen según el MCC en tareas no asociadas con el envejecimiento (tareas a condición) y tareas asociadas con el envejecimiento (tareas de reacondicionamiento cíclico y tareas de sustitución cíclica).^[1]

➤ Tareas A Condición

Las tareas “A Condición” consisten en chequear los equipos si están fallando de manera que se puedan tomar medidas, ya sea para prevenir la falla funcional o para evitar las consecuencias de las mismas, con estas tareas los elementos que se inspeccionan se dejan en funcionamiento a condición de que continúe desempeñando satisfactoriamente las prestaciones asociadas al equipo. Las tareas a condición son cíclicas y se hacen con cierta frecuencia, y ésta a su vez depende del intervalo P-F; para explicar el concepto de este intervalo hay que definir lo que es una falla potencial.^[1]

➤ Tareas De Reacondicionamiento Cíclico

En estas tareas los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. Las tareas de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles sí: Existe una edad a partir de la cual se incrementa la probabilidad condicional de falla, la mayoría de los elementos sobreviven a esta edad, y si las fallas, afectan a la seguridad o al medio ambiente, todos los elementos deben soportar esta edad, se puede conseguir su estado original realizando la tarea. ^[5]

➤ Acciones A “Falta De”

Son tareas que deben realizarse si no se pueden encontrar tareas preventivas adecuadas, con este tipo de tareas se completan los siete pasos principales del MCC. ^[5]

➤ Tareas Cíclicas De Búsqueda De Fallas

Estas consisten en chequear una función oculta a intervalos regulares para ver si ha fallado, no se consideran como preventivas porque su objeto es evitar las fallas múltiples que pueden ocurrir si la falla oculta permanece inadvertida; un claro ejemplo de este tipo de tareas es el chequeo continuo de detectores de incendio. ^[5]

➤ Ningún Mantenimiento Preventivo

Consiste en dejar en servicio al equipo hasta que se produzca una falla funcional. Es aplicable sólo si el mantenimiento preventivo es más costoso que el monto involucrado en las consecuencias operacionales y/o el costo de reparar la falla. ^[5]

➤ El Rediseño

Comprende una modificación de las especificaciones de un componente, la adición de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una de otra marca o tipo, o el cambiar una máquina de sitio. ^[5]

3.2.5 Norma SAE J1012

(“a guide to the reability-centered maintenance (RCM) standard”) amplifica los criterios claves listados en la SAE J1011, resume problemas adicionales que deben ser tomados en cuenta para ser aplicados exitosamente, y establece que el RCM es un proceso específico para identificar las políticas que deben ser implementadas para manejar los modos de falla que pudieran causar fallas funcionales de cualquier activo físico en un contexto operacional dado. ^[5]

Se procederá hacer una análisis de modos y efectos de falla (FMEA) con la información obtenida, y siguiendo los pasos de la norma se definirán las funciones de cada uno de los activos en este caso las bombas de carcaza partida (nijhuis) las bombas sumergibles portátiles y las bombas verticales, junto con los parámetros de funcionamiento deseado y calculados previamente por los diseñadores y suministradores que en este caso son ELECTROHIDRAHULICA S.A.S y al ser positivos los equipos son mantenibles.

Una vez definido lo anterior se definirán los fallos funcionales, lo cual no será más que la incapacidad del equipo de cumplir una función dada a un nivel de rendimiento aceptable. Y luego se procederá a identificar los efectos de falla que no son más que eventos responsables de ocasionar fallas funcionales. Para los efectos de fallo se toman en cuenta lo siguiente:

- Riesgo a la seguridad y el ambiente.
- Efectos sobre la producción y daños físicos y acciones correctivas.

Luego de este análisis queda la pregunta ¿Cómo y cuánto importa la falla? Así que la consecuencia determina si es necesario prevenir la falla y dependiendo de la consecuencia de fallo se dividen en cuatro categorías, consecuencia en la seguridad y medio ambiente, consecuencias operacionales, consecuencias no operacionales y consecuencias de fallos evidentes y no evidentes.

De ahí se tiene en cuenta los fallos no evidentes y se revisan si estos producen fallas múltiples es decir si falla uno, entonces fallan los demás. Si en su defecto

el fallo es evidente se considera el fallo de forma prioritaria dependiendo su importancia.

Con las consecuencias definidas, se procede a determinar las tareas que aseguran la continuidad del activo y de las funciones identificadas inicialmente, terminando así el estudio previo de RCM. ^[5]

4. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS AUXILIARES DE LA TURBINA: ENFRIAMIENTO, DRENAJE Y DESAGÜE.

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento de cada unidad consistirá de dos circuitos: un circuito cerrado de agua tratada y un circuito abierto de agua cruda, con transferencia de calor entre ellos a través de un intercambiador de placas. El circuito cerrado enfriará el aire del generador, el aceite dieléctrico de los transformadores de potencia, el aceite de los cojinetes de guía y combinado del generador y el aceite hidráulico del regulador de velocidad.

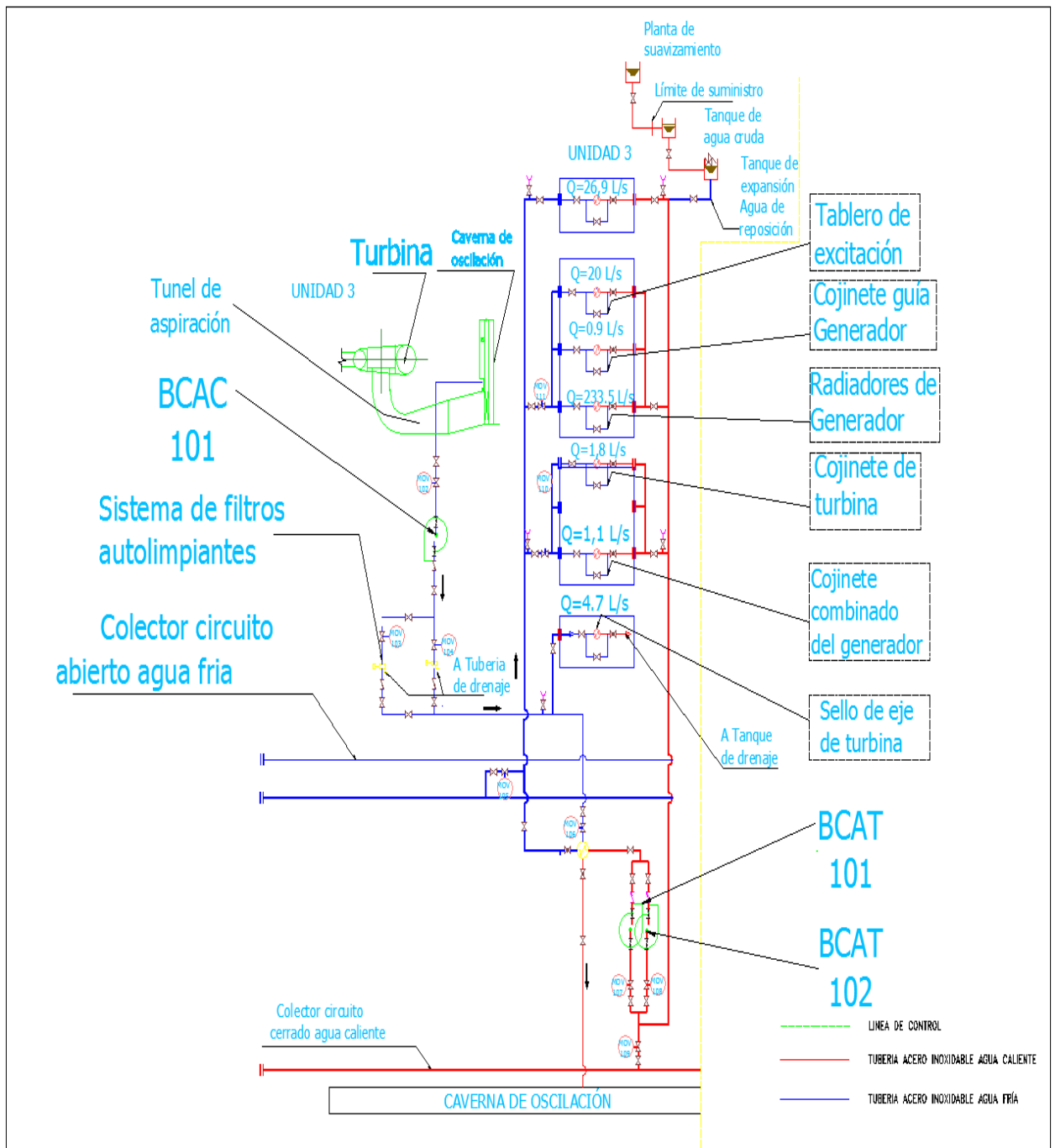
Los sistemas de enfriamiento de todas las unidades serán interconectados por tres colectores, uno para el agua cruda y dos para el agua tratada. Cada conjunto tendrá un equipo de reserva para suplir las necesidades de enfriamiento en caso de falla del equipo propio de unidad.

El resumen de las características de los equipos cuyo montaje, pruebas y puesta en operación serán el objeto de los trabajos descritos en el presente Capítulo, son las siguientes:

- Tres (3) bombas centrífugas de carcasa partida para un caudal de 237 l/s a una altura dinámica de 33 m, para los sistemas de circuito abierto.
- Seis (6) filtros del tipo auto limpiante, con una capacidad de 237 l/s.
- Ocho (8) bombas centrífugas de carcasa partida para un caudal de 234 l/s a una altura dinámica de 40,5 m para los sistemas de circuito cerrado.
- Cuatro (4) intercambiadores de calor de placas paralelas de titanio con una capacidad mínima de 7 800 kW.
- Un equipo de suavización del agua de una capacidad de 1 m³/día.
- Un (1) tanque de expansión de 1 m³ de capacidad.
- Dos (2) bombas centrífugas para un caudal de 0,02 l/s a una altura dinámica de 2,9 m, para el llenado del tanque de compensación.

- Válvulas motorizadas y manuales de diferentes tipos, de diámetros entre 25 y 350 mm de diámetro.
- Tuberías, codos y accesorios de diferente diámetro nominal entre 25 y 350 mm y soportes, necesarios para un completo y correcto funcionamiento del sistema.
- La instrumentación requerida, y el sistema de control y supervisión para el manejo de los sistemas de enfriamiento.

Figura 12. P&ID, Sistema de enfriamiento Con Sus Equipos.



Fuente: Planos de S. Enfriamiento. Control Documental Consalfa Adaptado y citado [30/09/2013] en Hidrosogamoso.

4.1.1 Condiciones iniciales del funcionamiento de los equipos rotativos del sistema de enfriamiento.

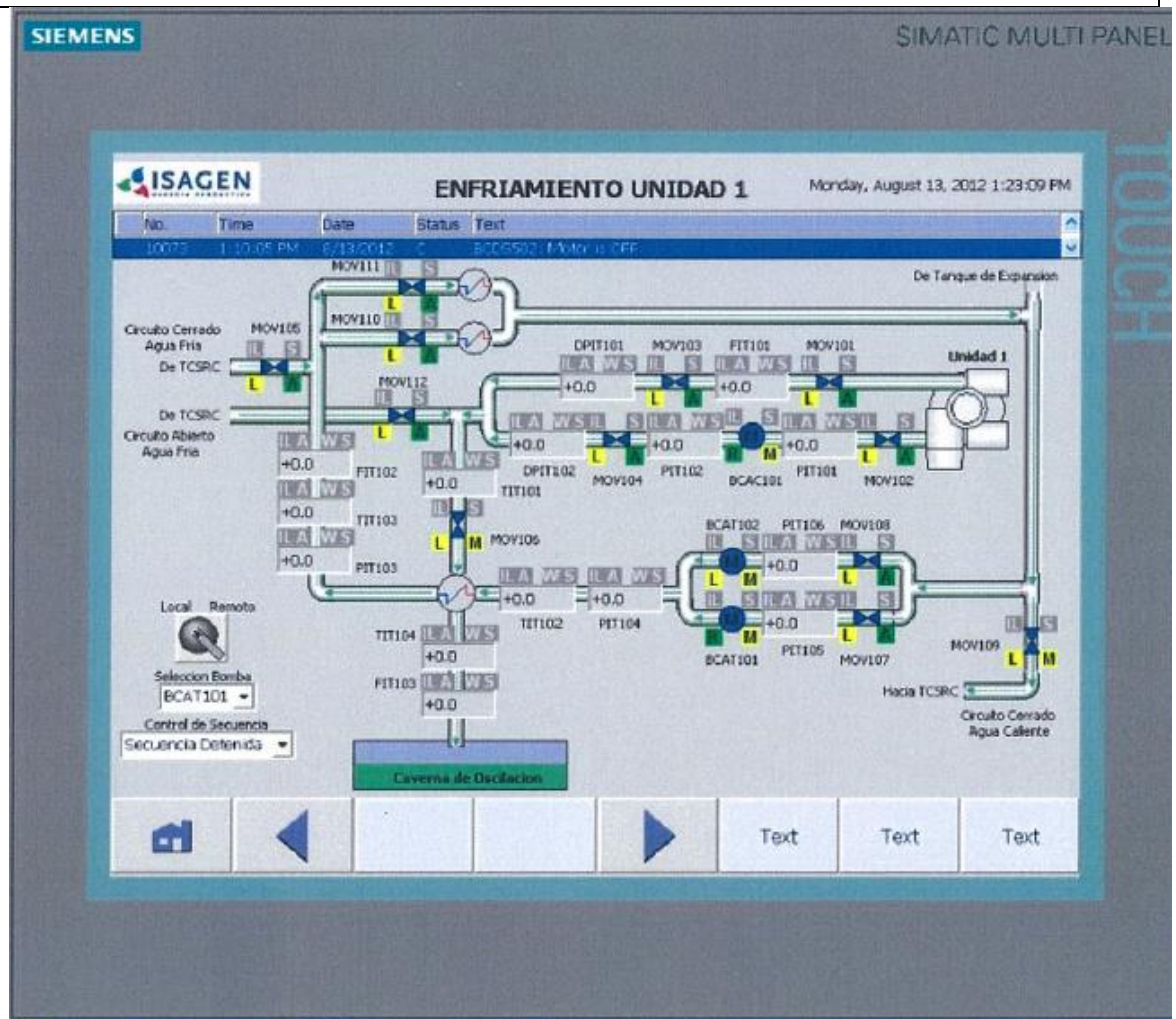
La central subterránea contará con tres unidades de generación. El sistema de enfriamiento estará conectado al sistema de refrigeración común. Este último se encargará de suplir las tareas de refrigeración de los sistemas que entren en falla o no estén disponibles por causas de mantenimiento.

Cada uno de los tres sistemas de enfriamiento estará asociado con cada uno de las unidades de generación y estará conformado por un circuito cerrado de agua tratada y un circuito abierto de agua cruda. El circuito cerrado suministrará agua tratada para enfriamiento de los subsistemas de cada unidad de generación como el transformador, el aire del generador, tablero de excitación, cojinete guía del generador, radiadores del generador, cojinete de turbina y cojinete combinado del generador. El circuito abierto suministrará agua cruda al intercambiador de calor ubicado en cada sistema de enfriamiento. El sistema de enfriamiento en el circuito de agua tratada consta de un sistema de respaldo común para las tres unidades, que en caso de falla de uno de los tres sistemas de enfriamiento, realizará el trabajo de enfriamiento mientras el sistema en falla es reparado y arrancado nuevamente.

4.1.2 Lógica de operación del sistema

Para realizar el enfriamiento se cuenta con dos sistemas, los cuales podrán ser seleccionados como sistema principal y sistema de respaldo (bombas y válvulas). La prioridad de operación la tiene el sistema seleccionado desde el HMI como principal, y el sistema de respaldo actuará en casos de falla o de mantenimiento del sistema principal. El sistema principal y el sistema de respaldo nunca deberán trabajar en forma simultánea para la misma unidad, sólo puede trabajar uno a la vez, es de tener en cuenta que el circuito de enfriamiento de agua cruda puede operar por los dos ramales

Figura 13. Distribución general del sistema de control del S. enfriamiento



Fuente: Documentos Electrohidráulica carta 096 Control Documental Consalfa adaptado y citado. [2/01/2014]

Activación de los sistemas de enfriamiento.

Antes de activar un sistema de enfriamiento principal o de respaldo se debe revisar que todas las válvulas manuales presentes en el sistema estén abiertas. Secuencia en caso que el sistema principal (toma de la descarga) de agua cruda, sea el que opere:

I. Abrir las válvulas motorizadas del sistema abierto de agua cruda y verificar confirmación de apertura

- a. Válvula de entrada de bomba MOVx02.

- b. Válvula de entrada de sistema auto limpiante MOVx04.
- c. Válvula de entrada de intercambiador de calor MOVx06

II. Abrir las válvulas motorizadas del sistema cerrado de agua tratada y verificar confirmación de apertura

- a. Válvula de entrada de bomba BCATx01 (MOVx07) o bomba BCATx02 (MOVx08) acorde a selección de bomba en HMI, por defecto BCATx101.
- b. Válvulas de distribución MOVx10 y MOVx11.

III. Verificar que la presión de entrada de las bombas sea normal

- a. Presión de entrada de bomba de agua cruda PIT-x01= 3 bar a 5 bar, (valor de presión por confirmar)
- b. Presión de entrada de bomba de agua tratada PIT-x05 o PIT-x06 = 5 bar a 6 bar, (valor de presión por confirmar)

IV. Encender las bombas y verificar confirmación de encendido

- a. Bomba de agua cruda (BCAC-x01)
- b. Bomba de agua tratada (BCAT-x01 o BCAT-x02) acorde a selección de bomba en HMI, por defecto BCATx101.

V. Verificar que la presión de salida de las bombas sea normal

- a. Presión de salida de bomba de agua cruda PIT-x02= 8 bar a 10 bar, (valor de presión por confirmar)
- b. Presión de salida de bomba de agua tratada PIT-x04= 9 bar a 11 bar, (valor de presión por confirmar).

VI. Verificar que el flujo de salida sea normal

- a. Flujo de salida de intercambiador de calor circuito de agua cruda FIT-x03 = 179 l/s, (valor de flujo por confirmar)
- b. Flujo de salida de intercambiador de calor circuito de agua tratada FIT-x02= 182 l/s, (valor de flujo por confirmar).

4.1.3 Circuito abierto

El circuito abierto de cada unidad generadora, estará compuesto por los siguientes equipos:

- Una bomba centrífuga horizontal de carcasa partida.
- Una válvula reductora de presión para el conjunto de reserva.
- Dos filtros auto limpiantes (uno de reserva).
- Tubería de acero inoxidable, válvulas y accesorios.
- Sistema de control y medición.

En cada circuito abierto de unidad, el agua será tomada de la cámara de oscilación por medio de una tubería de acero inoxidable de DN 350 que alimentará la bomba del circuito abierto y esta a su vez el filtro auto limpiante. Esta alimentación contará con las válvulas mariposas necesarias para activar el filtro de reserva en caso de falla del filtro principal. En operación normal, de esta tubería se bombeará el agua al intercambiador de placas. Todos estos equipos estarán ubicados en la cota 143,40 msnm, la bomba alimentará al intercambiador de calor de placas paralelas ubicado en la cota 153,40 msnm. Para la tubería de reserva, el agua será tomada de la cámara espiral de la turbina por medio de una tubería en acero inoxidable de DN 350 dotada de una brida de conexión, una válvula de bola, una válvula de bola motorizada de regulación, una placa orificio que rompe presión de la tubería de carga y una válvula reductora de presión, cuya función es proteger a los equipos de la alta presión. Después de la válvula reductora de presión, estará ubicado el filtro auto limpiante. Esta tubería servirá de respaldo a la tubería de la bomba en caso de fallar y se conectará a través de la válvula mariposa manual.

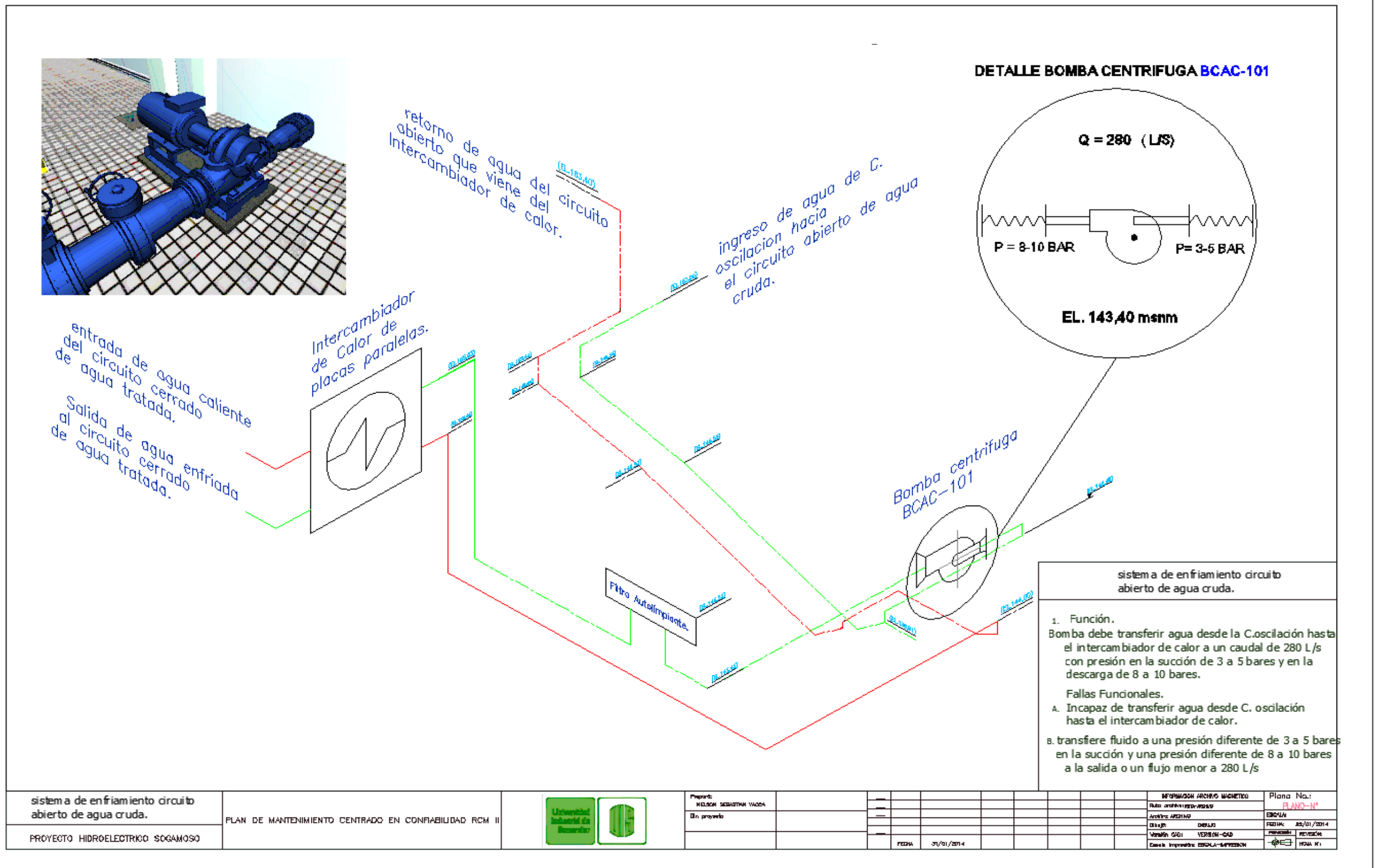
Todos los circuitos de unidad de agua cruda serán interconectados para permitir que el conjunto de reserva de cada unidad sirva de respaldo y atienda cualquiera de las unidades en caso de falla. Para este caso la unidad en cuestión tendrá en falla la tubería de la bomba y la tubería de reserva de la reductora de presión y será necesario emplear el colector del circuito abierto de agua fría, siendo necesario abrir y cerrar aquellas válvulas que permitan llevar

el agua desde la unidad de respaldo (tubería de la válvula reductora) hasta el intercambiador de la unidad en falla.

La toma de agua para el sello de eje de turbina de cada unidad, cuando estas lo requieran, será del circuito abierto de agua fría de cada unidad, una vez haya pasado por los filtros auto limpiantes por medio de una tubería independiente.

Se ha previsto que la toma de agua para el sistema de ventilación y aire acondicionado y llenado de los tanques del sistema contra incendio, sea independiente de los colectores de agua y se prevé que la toma sea de las tuberías de reserva de cada circuito abierto de agua fría. Para ello se dejará una provisión consistente en una derivación de la tubería con reducción y una válvula bridada de globo de 8 pulgadas, con su respectiva contra brida. La válvula de globo y la tubería de derivación serán suministradas por el Suministrador de los Equipos.

Figura 14. Sistema de enfriamiento Circuito de Agua Cruda. Equipos Rotativos Con Sus Elevaciones y Condiciones operacionales.



Fuente: Elaboración Propia, Apoyo de Software CAD.

Cálculos de diseño de los factores principales para la selección de las bombas del circuito abierto.

Para realizar los cálculos que se deben tener en cuenta para el circuito abierto se verifico en la tabla de caudales los que requieren y el resultado fue de diseño: $Q=275,2$ L/S.

Los Símbolos y variables utilizadas en los cálculos se encuentran en el anexo y podrán ser revisados. Fácilmente.

Figura 15. Caudales del sistema de enfriamiento.

CAUDALES REQUERIDOS POR LOS EQUIPOS DE TURBINA, GENERADOR Y TRANSFORMADOR

Descripción	Diametro tubería		Caudal l/s	Pérdidas de presión (kPa)	Documento de referencia
	DN (mm)	NPS (in)			
Generador	300	12	233,5	80**	SOG-CM-GE-P-049 RA ENFRIADOR DE AIRE PARA EL GENERADOR
Cojinete combinado del generador	100	4	20	50**	SOG-CM-GE-P-032 RA CALCULOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE ACEITE
Cojinete guía del generador	25	1	0,85	50**	SOG-CM-GE-P-032 RA CALCULOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE ACEITE
Tablero de excitación	50	2	1,7	40	SOG-CM-EX-D-032 R0 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AIRE-AGUA DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN
Transformador principal	100	4	9,8	52,5	NK4141/A R7 INTERCAMBIADOR DE AGUA/ACEITE DE DOBLE TUBO
Cojinete guía de turbina	50	2	1,7	25,5	SOG-CM-TU-077 R0 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE LOS INSTRUMENTOS DEL ESQUEMA DE CONTROL DE LA TURBINA
Regulador de velocidad y válvula cilíndrica	25	1	1	50**	SOG-CM-RE-003 RD ESQUEMA OLEOHIDRAULICO REGULADOR DE VELOCIDAD
Sistema de inyección de aire a la turbina	40	1,5	1,7	50**	SOG-CM-TU-082 RE ESQUEMA DE INYECCION DE AIRE
Caudal de agua tratada en el circuito cerrado en el intercambiador	350	14	270,5		
Caudal de agua tratada en el circuito cerrado en las bombas	350	14	270,5		
Sello de eje de turbina	50	2	3 4,7	20**	SOG-CM-TU-077 R0 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE LOS INSTRUMENTOS DEL ESQUEMA DE CONTROL DE LA TURBINA
Caudal de agua cruda en el circuito abierto en el intercambiador	350	14	270,5		
Caudal de agua cruda en el circuito abierto en la bomba	350	14	275,2		

Nota: ** Corresponde a un valor asumido para equipos de iguales características
Revisión 1 2012-04-10

Fuente: Documentos Electrohidráulica Control Documental Consalfa adaptado y citado. [2/01/2014]

Cálculo del (NPSH)_d:

$$(NPSH)_d = (P_{atm}) + (alt. estatica) - (P_{vapor}) - (Perdidas_{friccion}) \quad Ec. 0.1$$

Para este cálculo, tenemos que la presión atmosférica a 153 m.s.n.m (bocatoma de agua) es:

$$(P_{atm}) = P_0 - dgh$$

$$(P_0) = 101325 \text{ Pa}$$

d= densidad del aire (1.3 kg/m³)

g=gravedad (9.8 m/s²)

h=altura (153 m)

$$P_{atm} = (101325\text{Pa}) - \left(\left(1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (153 \text{ m}) \right) = 10,13 \text{ Mca} \quad \text{Ec. 0.2}$$

$$\text{Altura Estatica} = (153,00 \text{ m} - 143,91 \text{ m}) = \mathbf{9,09\text{m.c.a.}} \quad \text{Ec. 0.3}$$

(El nivel 143,91 corresponde al nivel del eje de la bomba del circuito abierto).

Presión de vapor del agua: “presión de vapor del H₂O”, observamos que a 25°C el agua tiene una presión de vapor de 23,756 mmHg = 3159,548 Pa que es igual a **0,322 m.c.a.**

Pérdidas por fricción: corresponden a las pérdidas en las tuberías y los accesorios desde la toma de agua, hasta la succión en la bomba.

$$H_f = (6.824 * L * V^{(1.851)}) / (C^{(1.851)} * D^{(1.167)}) \quad \text{Ec. 0.4}$$

L= long. De la tubería

$$\text{Donde } V = \frac{4*Q}{\pi*D^2}$$

V= velocidad del fluido

Q= Caudal de diseño (275,2 l/s) = 0,2752 m³/s

C=130

D= diámetro interno de la tubería = 0,346 m

$$V = 4(0,2752) / \pi (0,346)^2$$

V= 2.93 m/s

Por tanto, las pérdidas totales debido a la fricción en tubería y accesorios desde la toma de agua hasta la brida de succión en la bomba son:

$$H_{friccion} = 1.41 + 0.85 + 0.27 + 0.2 + 0.2 + 0.029 = \mathbf{2.96 \text{ m.c.a}}$$
 Ec. 0.5

$$(NPSH_d) = 10.13 + 9.09 - 0.322 - 2.96 = \mathbf{15.94 \text{ m.c.a}}$$
 Ec. 0.6

$(H_{altura\ estática.})$ = Diferencia de niveles entre la bocatoma y el punto de descarga final (Z2-Z1).

$(H_{fricción.})$ = Pérdidas por fricción en tuberías, accesorios, válvulas y demás aditamentos.

El resultado de Hfricción para es: **32,17 m.c.a**

$(H_{altura\ estática.})$ = Presión debida a la velocidad del fluido ($V^2/2g$)

$$H_t = H_{altura\ estatica} + H_{friccion} - (H_{velocidad})$$
 Ec. 0.7

Q= Caudal de diseño (275,3 l/s) = 0,2753 m³/s

D= diámetro de la tubería a la descarga de la bomba = 0,350 m

$$V = 4(0,2753) / \pi (0,350)^2$$

$$V = 4.99 \text{ m/s}$$

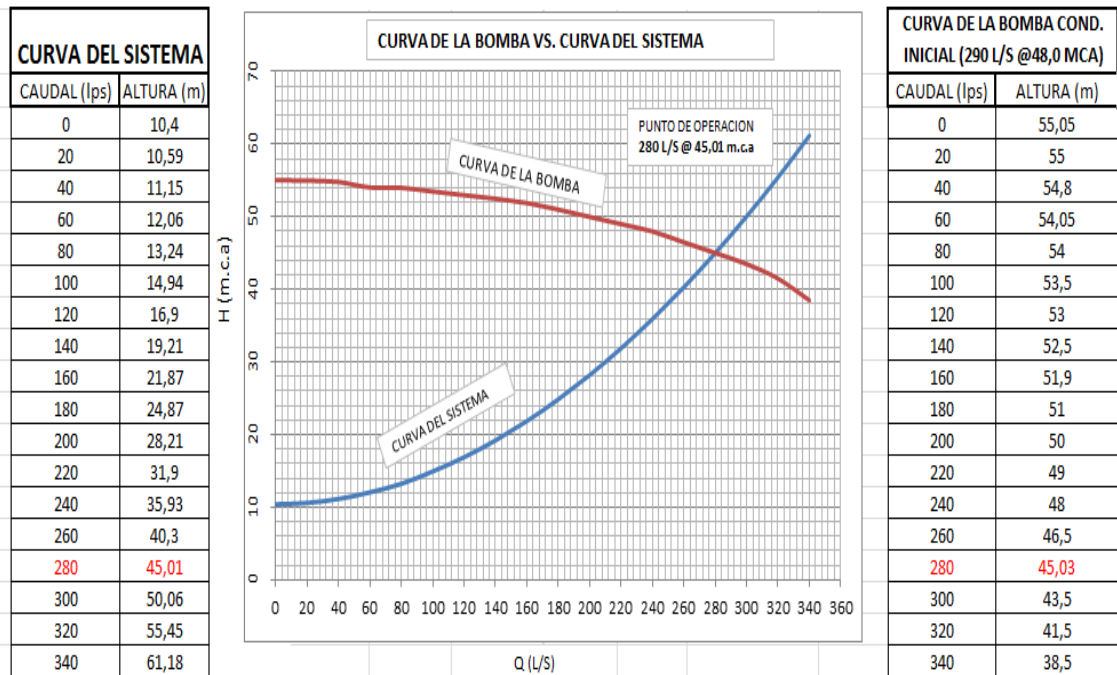
$$H_{velocidad}: V^2/2g = (4.99^2)/19,6 = \mathbf{1.27 \text{ m.c.a}}$$

La pérdida total para este circuito será la siguiente;

$$H_t = 10,4 + 32,17 + 1.27 = \mathbf{43.84 \text{ m.c.a}}$$

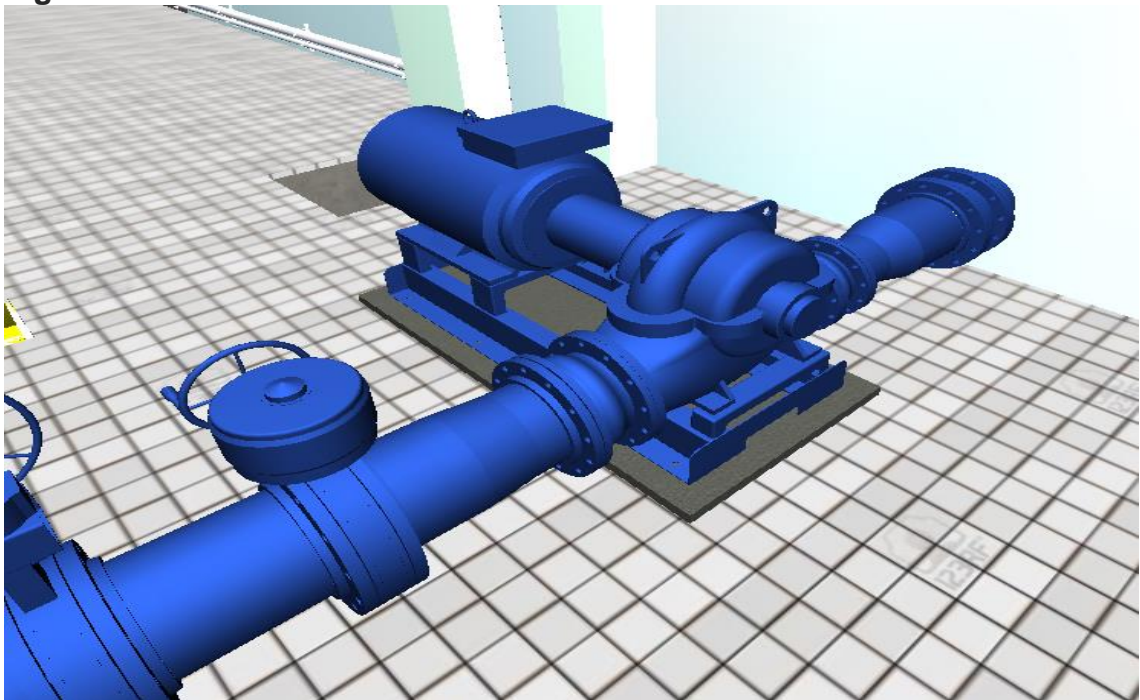
Aprox: 48 m.c.a a un caudal de 280 (L/S)

Figura 16. Curvas del sistema y de las bombas circuito abierto.



Fuente: Documentos Electrohidráulica Control Documental Consalfa adaptado y citado. [2/01/2014]

Figura 17. Bomba Circuito Abierto BCAC-101.



Fuente: Adaptado de Navis Modelado Diseño Ingetec. Consalfa [30/sep/2013]

4.1.4 Circuito cerrado

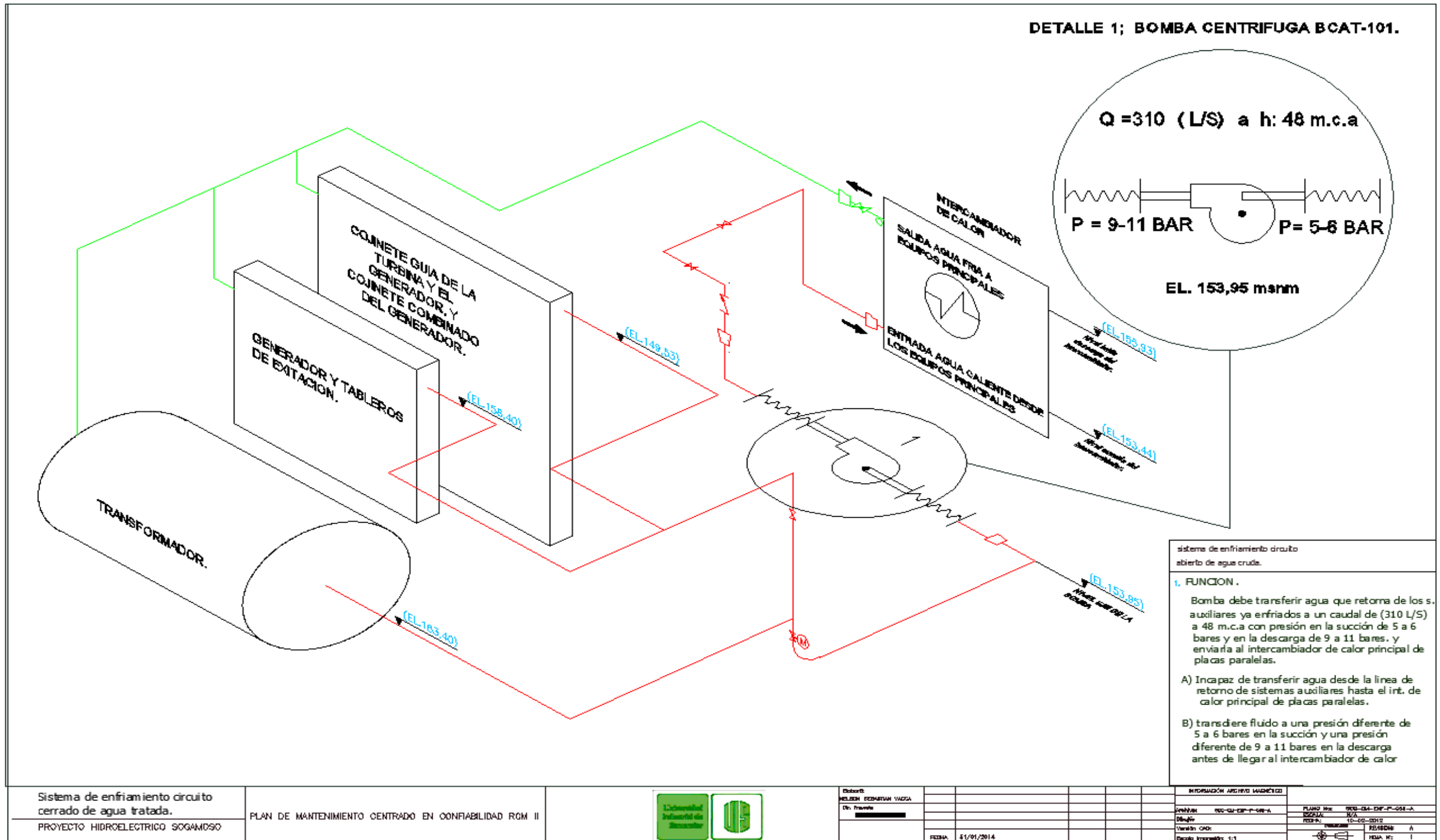
Los equipos principales que comprenderán el circuito cerrado para cada unidad de generación serán:

- Dos (2) bombas centrifugas horizontales de carcasa partida (una de reserva).
- Una (1) planta suavizadora, que incluirá: una red de tubería con sus accesorios desde el tanque de agua potable, un tanque de compensación (para todo el sistema), dos bombas centrifugas para el llenado del tanque y la red de tubería de conexión al circuito cerrado.

En cada circuito cerrado de unidad de generación, el agua de enfriamiento que proviene del intercambiador de calor del circuito cerrado alimentará los intercambiadores de calor del aire de generador, los transformadores principales, los cojinetes de la unidad y el regulador de la turbina. El agua de enfriamiento retornará al intercambiador. Inicialmente cada unidad contará con dos bombas (principal y de reserva) para que en caso de falla de la bomba principal entre en funcionamiento la bomba de reserva. El sistema contará con un sistema de respaldo para el circuito cerrado que incluye un intercambiador de calor y dos bombas (una principal y una de reserva) para en caso de falla de un conjunto bombas – intercambiador de placas de una unidad, entre en operación el sistema de respaldo, contando con dos colectores: un colector de agua fría y un colector de agua caliente necesarios para que se pueda suplir de agua de enfriamiento la unidad afectada usando el conjunto de respaldo en el circuito cerrado, cerrando y abriendo las válvulas mariposa necesarias en cada operación.

El sistema cerrado de enfriamiento operará con agua tratada tomada de la planta de suavizamiento y almacenada en el tanque de compensación que tiene una capacidad de 1 m³; el tanque de compensación y la planta de suavizamiento estarán ubicados en la galería de construcción No. 2, que es el punto próximo más alto y alimentará la línea de retorno del circuito cerrado.

Figura 18. Sistema de enfriamiento de Circuito Cerrado de agua tratada.



Fuente: Elaboración Propia, Apoyo de Software CAD.

Cálculos de diseño de los factores principales para la selección de las bombas del circuito cerrado.

- Objetivo: Identificar las pérdidas en el sistema cerrado con fin de graficar la curva del sistema.

Cálculo del (NPSH) d:

$$(NPSH)_d = (P_{atm}) + (a. \textit{estatica}) - (P_{vapor}) - (Perdidas_{friccion}) \quad \text{Ec. 0.8}$$

Para este cálculo, tenemos la presión atmosférica se toma a 178,94 m.s.n.m nivel de altura de la columna de agua del tanque de expansión.

$$P_{atm.} = P_o - dgh$$

$$P_o = 101325 \text{ Pa}$$

d= densidad (del aire 1.3 kg/m³)

g=gravedad (9.8 m/s²)

h=altura (178,94 m)

$$P_{atm} = (101325 \text{ Pa}) - \left(\left(1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (178,94 \text{ m}) \right) = 10,10 \text{ Mca} \quad \text{Ec. 0.9}$$

$$\textit{Altura Estatica} = (178,94 \text{ m} - 153,95 \text{ m}) = \mathbf{24,99 \text{ m.c.a.}} \quad \text{Ec. 0.10}$$

(El nivel 153,95 corresponde al nivel del eje de la bomba del circuito cerrado).

Por tanto, la pérdida total debido a la fricción en la línea de succión de la bomba (línea de retorno desde el transformador principal hasta el puerto de succión de la bomba) es:

Hfricción=3,07 m.c.a

$$(NPSH_d) = 10.10 + 24.99 - 3.07 = 32.02 \text{ m. c. a}$$

Ec.0.11

Se puede deducir que el NPSH_d en el lugar donde serán instaladas las bombas del circuito cerrado es mayor que el NPSH_r, por lo tanto se asume que su operación será adecuada sí que se lleguen a presentar problemas de cavitación.

El NPSH_r para las bombas del circuito cerrado tiene un valor de 3,6 m.c.a

Curva del sistema C.Cerrado.

Para la generación de la curva del sistema en el C. cerrado, debemos calcular las pérdidas con referencia del caudal de diseño. La pérdida total del sistema será la suma de la pérdida por altura estática, la pérdida por fricción en los elementos y la pérdida debida al movimiento del fluido.

Para el cálculo de las pérdidas de fricción debemos considerar el isométrico de la Figura 14 del sistema de tuberías perteneciente al circuito cerrado.

$$H_t = H_{\text{altura estatica}} + H_{\text{friccion}} - (H_{\text{velocidad}})$$

Ec.
0.12

Para hallar la altura total se tiene; Pérdidas en: generador, cojinete combinado del generador, cojinete guía del generador, tablero de excitación, transformador principal, cojinete guía de turbina, regulador de velocidad y sistema de inyección de aire a la turbina.

Debido a que los equipos se ubican formando circuitos hidráulicos en paralelo, la pérdida de presión a tener en cuenta corresponde al generador (8 m.c.a según

el documento: “caudales sistema de enfriamiento”), pues es el equipo en el cual se presentan las mayores pérdidas de presión. 8 m.c.a.

El Hf total, es hallado sumando todos los resultados de pérdidas que generan los accesorios desde el inicio de la bocatoma hasta el final en la descarga, el

Hf total es: = **35,26m.c.a**

Hvelocidad: Pérdida debida a la presión de velocidad del fluido ($V^2/2g$):

V= velocidad del fluido en la descarga de la bomba.

$$\text{Donde } V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

Q= caudal de diseño: 270,5 l/s = 0,2705 m³/h

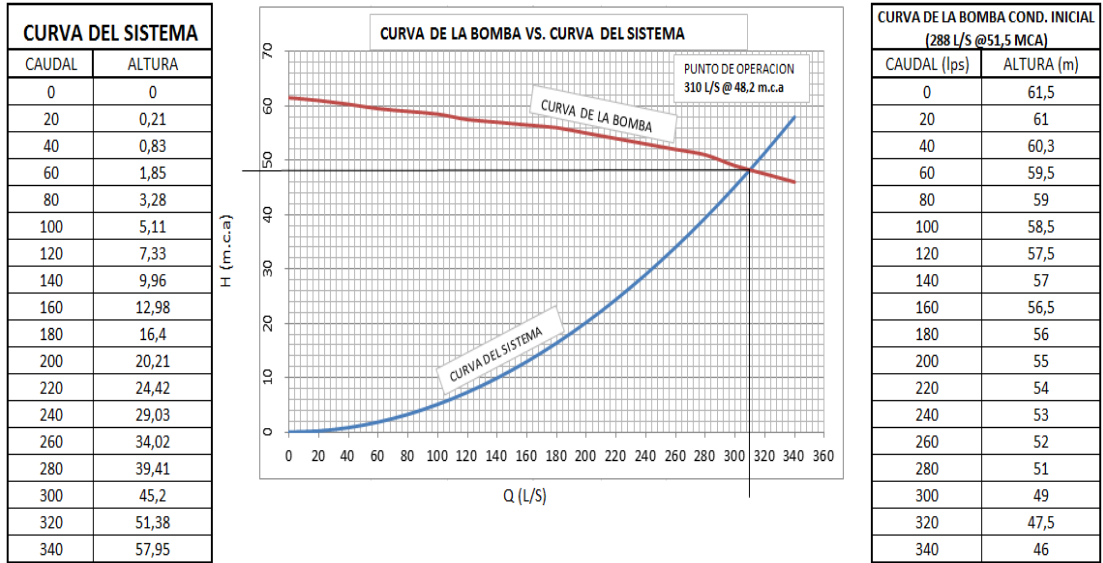
D= diámetro tubería a la descarga de la bomba = 350 m.m = **0,35 m**

$$V = V = \frac{4 \cdot (0,275)}{\pi \cdot (0,35)^2} = 5,51 \text{ m/s}$$

$$H_f = V^2/2g = (5,51^2)/19,6 = **1,55 m.c.a**$$

$$H_t = 0 + 35,26 + 1,55 = **36,81 m.c.a**$$

Figura 19. Curvas del sistema y las bombas del circuito cerrado.



Fuente: Documentos *Electrohidráulica Control Documental Consalfa* adaptado y citado. [2/01/2014]

Figura 20. Bombas de circuito cerrado.



Fuente: *El Autor.*

4.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE DRENAJE Y DESAGÜE

Los sistemas de drenaje y desagüe de las turbinas servirán para desocupar los codos de aspiración, la caverna de oscilación y el túnel de descarga y de evacuar las aguas de infiltraciones de los diferentes túneles, las aguas industriales y de drenaje de las cavernas de máquinas y de transformadores, después de haber pasado por el tanque separador de aceite.

El resumen de las características de los equipos cuyo montaje pruebas y puesta en operación que serán el objeto de los trabajos descritos en el presente Capítulo, son las siguientes:

- Tres (3) bombas centrífugas sumergibles cada una con un caudal de 90 l/s a una altura dinámica de 32,5 m, para el sistema de drenaje.
- Un (1) hidroeyector de respaldo de las bombas sumergibles de drenaje, para caudal de 90 l/s.
- Dos (2) bombas centrífugas sumergibles portátiles cada una con 90 l/s a una altura dinámica de 32 m, las cuales se instalarán en el túnel de descarga.
- Dos (2) bombas centrífugas de eje vertical y caudal de 180 l/s a una altura dinámica de 37,5 m, para el sistema de desagüe.
- Una (1) bomba centrífuga con caudal de 20 l/s a una altura dinámica de 10,5 m, desagua el pozo de bombas de desagüe.
- Válvulas motorizadas y manuales de diferentes tipos, de diámetros entre 100 y 500 mm de diámetro.
- Tuberías, codos y accesorios de diferente diámetro nominal entre 100 y 500 mm y soportes, necesarios para un completo y correcto funcionamiento del sistema.
- La instrumentación requerida, y el sistema de control y supervisión para el manejo de los sistemas de drenaje y desagüe.

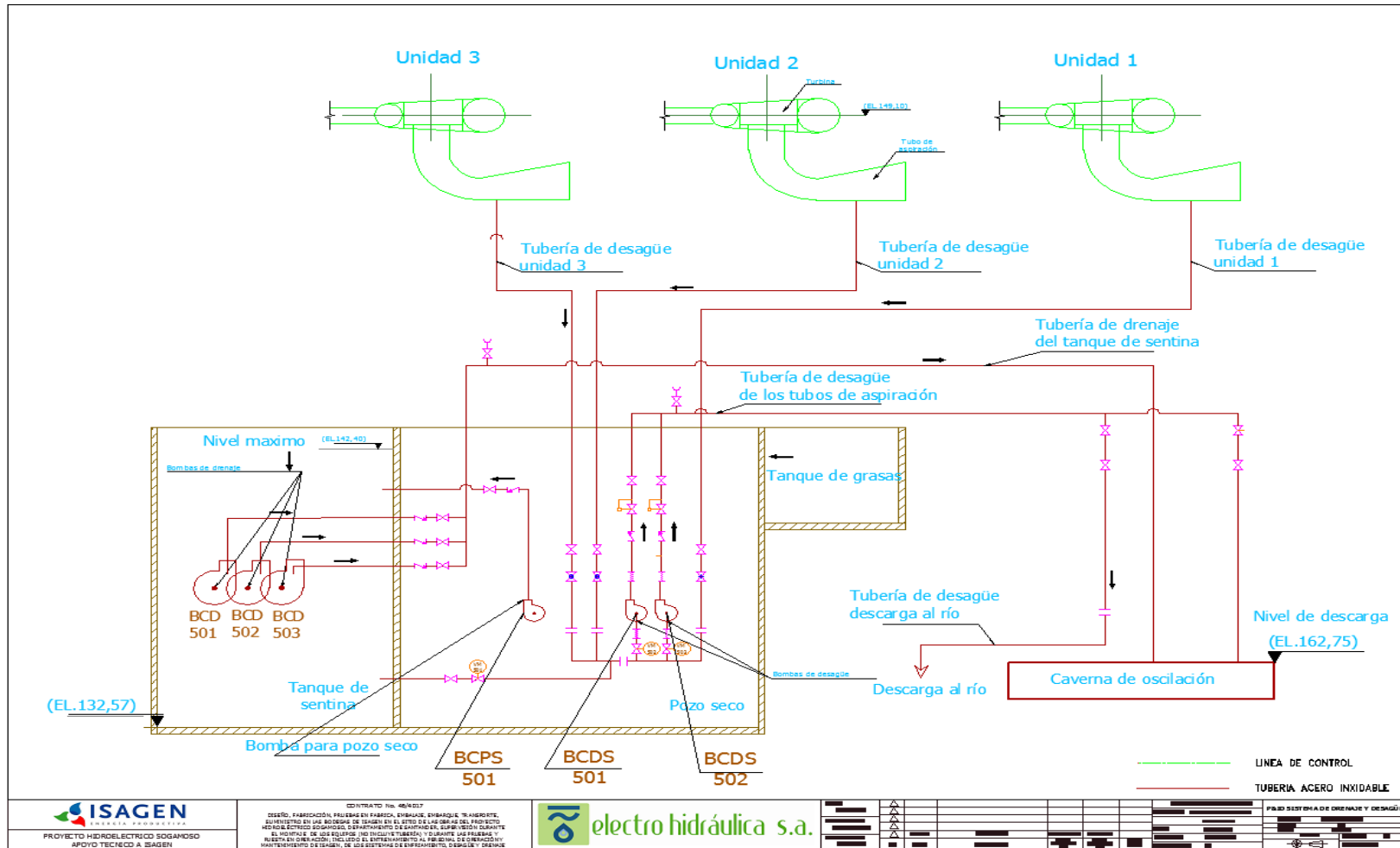
El sistema de desagüe comenzará con tres tuberías de succión de acero inoxidable que conectan la parte inferior del codo de aspiración de cada unidad con un pozo seco común.

En el pozo cada tubería tendrá una válvula de bola y una de mariposa. Las tres tuberías anteriores y otra, que viene de un tanque de drenaje adyacente, se unirán en la succión de dos bombas centrífugas de vaciado. La descarga se hará a la cámara de oscilación o directamente al río, por una tubería alterna.

Se dispondrán tuberías para la entrada de aire desde la parte alta de la caverna de oscilación hasta la parte superior de la descarga del tubo de aspiración de cada unidad.

El túnel de descarga será vaciado usando las bombas centrífugas antes mencionadas y dos bombas sumergibles portátiles instaladas sobre el canal de descarga.

Figura 21. P&ID, Sistema de Drenaje Y Desagüe Con Sus Equipos Rotativos...



Fuente: Planos de S. Enfriamiento. Control Documental Consalfa Adaptado y citado [30/09/2013] en Hidrosogamoso.

➤ **Bomba sumergible en el tanque seco**

En el pozo seco se instalará una bomba sumergible para protección de los otros equipos ante posibles infiltraciones. La descarga de la bomba sumergible, se hará en el tanque de drenaje, aledaño al pozo seco.

➤ **Sistema de bombeo de aguas de drenaje**

Al tanque de drenaje llegarán las aguas de infiltraciones de los diferentes túneles, las aguas industriales y drenaje de las cavernas de máquinas y de transformadores, después de haber pasado por el tanque separador de aceite. En este tanque se deberán instalar tres bombas sumergibles que bombearán el agua a la caverna de oscilación. Se necesitará una conexión por tubería entre el tanque de drenaje y la succión de las bombas del sistema de desagüe para permitir la operación de las bombas de desagüe como respaldo de las de drenaje. También se deberá instalar un sistema hidroeyector, que tomará agua de una tubería que viene desde el by pass de la turbina y descarga a la tubería de descarga de las bombas de drenaje.

4.2.1 Condiciones iniciales del funcionamiento de los equipos rotativos del sistema de drenaje y desagüe

El sistema de control de desagüe de las turbinas cumplirá las funciones de desocupar los tubos de aspiración en caso de que se requiera tener acceso a los mismos para labores de mantenimiento. Igualmente con este sistema se podrá vaciar el túnel de descarga de la central en caso de requerirse. El sistema de desagüe inicia con tres tuberías de succión de acero inoxidable. Cada tubería conecta la parte inferior del codo de aspiración de cada unidad con el pozo seco de bombas. En el pozo cada tubería tiene una válvula de bola y una de mariposa manual. Las tres tuberías anteriores y otra que viene del tanque de sentina se unen en la succión de las bombas centrífugas de vaciado. Las bombas, una principal y otra de respaldo, descargarán normalmente aguas abajo de la

compuerta del túnel de aspiración de la unidad 3 en la caverna de oscilación, o si se requiere, enviar la descarga directamente al río, por una tubería alterna.

Para vaciar el tubo de aspiración de una unidad, sin desocupar la tubería de conducción de la misma, se debe verificar que la unidad de generación esté frenada, la válvula cilíndrica cerrada y la compuerta del canal de descarga de las turbinas en la posición de cierre; las válvulas de bola y mariposa de la tubería de succión deben colocarse en posición abierta, lo mismo que la válvula de descarga de la bomba seleccionada; se puede descargar aguas debajo de la compuerta de la unidad 3 abriendo la válvula de esta tubería y cerrando la válvula de descarga hacia el portal del túnel de descarga o viceversa. Igualmente, se ha dispuesto una tubería para la entrada de aire desde el canal de descarga de las turbinas con el fin de facilitar el sello de la compuerta del tubo de aspiración y prevenir una sobrecarga de las bombas de desagüe mientras se hace el vaciado.

Una vez preparada la conducción, se deberá poner en operación la bomba para iniciar el vaciado de la unidad. La bomba deberá apagarse automáticamente cuando se detecte que el tubo de aspiración de esa unidad ya se encuentra vacío, ó manualmente si el operador considera que ha alcanzado el nivel necesario para labores de inspección. Las válvulas de la succión deben cerrarse cuando la bomba se detenga.

Para desocupar la tubería de conducción se abrirá la tubería de drenaje de la conducción, la válvula cilíndrica cerrada y la compuerta del canal de descarga de las turbinas en la posición de apertura. Se deberá seguir la misma secuencia que para desocupar un tubo de aspiración. Se ha dispuesto una válvula de rotura de carga inmediata a la tubería de descarga de cada bomba para elevar la curva de funcionamiento de la bomba evitando que esta se desboque cuando este desocupando la tubería de conducción o desocupando la caverna de oscilación.

Cuando se desee vaciar el túnel de descarga, se deberá colocar los tablonos de cierre de descarga al río, asegurarse que tanto la válvula de bola como la de guarda de las unidades se encuentren abiertas, las dos compuertas del canal de descarga de las turbinas abiertas, la válvula de descarga hacia el portal del túnel de descarga abierta y la válvula de descarga hacia la zona de compuertas cerrada. Para este caso se deben poner en operación las dos bombas hasta que se vacíe el túnel. Una de las bombas se deberá apagar automáticamente cuando el nivel del agua de la caverna de oscilación se encuentre en el nivel 142,20 msnm.

Una vez se detenga la bomba se colocaran las dos bombas sumergibles portátiles en el nivel 132,00 msnm en la solera del túnel de descarga, se activaran y estas desocuparan el remanente de agua del túnel de descarga en el portal de descarga al río. La otra bomba deberá apagarse automáticamente cuando el tubo de aspiración de todas las unidades esté vacío. Las válvulas de la succión deben cerrarse cuando se detengan las bombas.

El túnel de descarga será vaciado por medio de dos bombas centrífugas de eje vertical y dos bombas sumergibles portátiles que descargaran su caudal a la estructura del portal de salida al río del túnel de descarga.

La bomba sumergible ubicada en el pozo seco es una medida de protección ante posibles infiltraciones y así evitar un mal funcionamiento de las bombas de desagüe. La bomba sumergible se activará automáticamente cuando los sensores indiquen un nivel de agua en el tanque seco de 0.25 m, equivalente a la cota 132.83 msnm, y se apagarán cuando el nivel del agua se encuentre mínimo en la cota 132.33 msnm. La descarga de la bomba sumergible, se realiza en el tanque de sentina, aldaño al pozo seco.

Al tanque de sentina llegan las aguas de infiltraciones de los diferentes túneles, las aguas industriales y drenaje de las cavernas de máquinas y de transformadores,

después de haber pasado por el tanque separador de aceite. En este tanque se ubicaran tres bombas sumergibles (una de reserva) que bombearán, aguas abajo de la compuerta del canal de descarga de las turbinas de la unidad 3.

Una de las bombas se prenderá cuando el nivel del tanque alcance el nivel 136,5 msnm, correspondiente al 40% del volumen del tanque, y se apagará cuando el nivel baje a la cota

133,6 msnm; en caso que el nivel de agua siga subiendo, en el nivel 138,5 msnm, correspondiente al 60% del volumen, se activara la segunda bomba; si el nivel baja, las bombas se apagarán cuando se alcance el nivel 133,6 msnm, correspondiente al 10% del volumen. Si alguna de las bombas falla, deberá entrar automáticamente en operación la bomba de reserva. Como medida de seguridad adicional, se contará con una conexión desde el tanque de sentina a la succión de las bombas del sistema de desagüe permitiendo drenar el agua por estas bombas cuando el nivel del tanque alcance la cota 141,4 msnm, equivalente al 90% del volumen del mismo. También se contará con un sistema de respaldo de tipo hidroeyector, que producirá el vacío con agua tomada desde la tubería de by pass de la turbina, que se empleara cuando la energía eléctrica de la central no esté en funcionamiento, el hidroeyector será capaz de evacuar un caudal igual al de una de las bombas de drenaje a través de la descarga de éstas.

LÓGICA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

Para realizar el desagüe se cuenta con dos bombas (BCDS-501 y BCDS-502), las cuales podrán ser seleccionadas como principal y de respaldo.

La prioridad de operación la tiene la bomba seleccionada como principal, desde el panel de operador (IHM) y la bomba de respaldo actuará en casos de falla o de mantenimiento.

III. Selección del sitio de descarga del sistema de desagüe mediante la apertura de la válvula motorizada correspondiente VM-504 o VM-505.

IV. Apertura – Cierre de la válvula motorizada (VM-501) de la tubería de by-pass que conecta las bombas de desagüe con el tanque de sentina.

V. Verificación de la válvula de rotura de carga inmediata a la salida de cada bomba.

En este modo de control la operación de las bombas y válvulas del sistema de desagüe y drenaje, quedará deshabilitada para operación local.

La operación de las dos bombas de desagüe y las tres bombas de drenaje es de forma automática. Cuando suceda una falla en la bomba seleccionada como principal, el control deberá realizar conmutación automática a la bomba de reserva y dar una indicación de falla.

DESAGÜE DE LOS CODOS DE ASPIRACIÓN CON DESCARGA A CAVERNA DE OSCILACIÓN

Antes de iniciar la operación del sistema de desagüe se debe verificar que todas las válvulas manuales de la descarga y las válvulas de guarda de la succión, correspondientes al grupo que se va a drenar, estén en la posición abierta y que las válvulas de guarda en la succión de los otros grupos estén en posición cerrada.

Operación Local – automático

En este modo de operación se deberán realizar los siguientes pasos y el sistema de control operar el sistema de desagüe de acuerdo con la siguiente secuencia:

I. Seleccionar manualmente, desagüe de la unidad (1, 2 ó 3).

II. Arrancar el sistema localmente, el control deberá realizar las verificaciones y las ordenes indicadas para la operación local – manual en forma automática.

DESAGÜE DE LOS CODOS DE ASPIRACIÓN CON DESCARGA AL PORTAL DE SALIDA

Antes de iniciar la operación del sistema de desagüe se debe verificar que todas las válvulas manuales de la descarga y las válvulas de guarda de la succión, correspondientes al grupo que se va a drenar, estén en la posición abierta y que las válvulas de guarda en la succión de los otros grupos estén en posición cerrada.

Operación Local – automático

En este modo de operación se deberán realizar los siguientes pasos y el sistema de control operará el sistema de desagüe de acuerdo con la siguiente secuencia:

- I. Seleccionar manualmente, desagüe de la unidad (1, 2 ó 3).

- II. Arrancar el sistema localmente, el control deberá realizar las verificaciones y las ordenes indicadas para la operación local – manual en forma automática.

Para las unidades 2 y 3 el proceso realizado será similar al descrito para la unidad 1, utilizando los elementos de la unidad a desaguar.

DESAGÜE PARA VACIAR EL TÚNEL DE DESCARGA

El sistema de desagüe de los codos de aspiración, también se utilizará para vaciar el túnel de descarga. En esta eventualidad, se utilizarán simultáneamente las dos bombas del sistema de desagüe.

Cuando se utilice el sistema de desagüe para vaciar el túnel de descarga, las bombas serán controladas por la indicación de un sensor de nivel (LIT-401) que al

llegar el agua en el túnel de descarga a la cota 142.20 msnm, deberá dar orden de parar automáticamente una de las bombas.

OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL TANQUE DE SENTINA

Las bombas del tanque de sentina estarán controladas por las indicaciones de nivel suministradas por un transmisor de nivel (LIT-501) instalado en el tanque de sentina. El nivel alto localizado en la cota 136,50m, permitirá encender la bomba de drenaje seleccionada por la lógica del controlador como principal (teniendo en cuenta el tiempo de operación) y cuando el nivel del agua descienda hasta la cota 133,60m se apaga la bomba que se encuentre en operación. Si el nivel del agua aumenta hasta el 60% del volumen del tanque entrará en funcionamiento la segunda bomba y funcionarán las dos bombas, estas apagarán en la cota 133,60m.

El bombeo del sistema del tanque de sentina evacua el agua hacia caverna de oscilación. Siempre deberán permanecer abiertas las válvulas de descarga del sistema de drenaje para que las bombas de drenaje puedan operar automáticamente de acuerdo con el nivel de agua del pozo.

Operación Local – automático

En este modo de operación se deberán realizar los siguientes pasos y el sistema de control operar el sistema de drenaje de acuerdo con la siguiente secuencia:

- I. Arrancar el sistema localmente, el control deberá realizar las verificaciones y las ordenes indicadas para la operación local – manual en forma automática.

OPERACIÓN BOMBAS SUMERGIBLES POZO SECO

Prender y apagar la bomba sumergible del tanque seco para el vaciado del pozo seco para las bombas de desagüe una vez el transmisor de nivel del tanque detecte los niveles de arranque (0.25 m) y parada (0.12 m)

4.2.2 Cálculo de diseño para la selección de los equipos rotativos pertenecientes al sistema de drenaje y desagüe

CÁLCULO DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS EN LOS TUBOS DE ASPIRACIÓN PARA DESAGÜE.

En la Figura 23. Se ilustra el isométrico esquemático que contiene las posición de las bombas frente a los tubos de aspiración que principalmente inician su recorrido allí y luego finalizan en caverna de oscilación, estos tubos tienen una bocatomía en su parte inferior, dispuesto con una rejilla, donde son guiados mediante una tubería hasta encontrar las bombas de pozo seco, su operación se muestra más adelante en las guías de operación.

Caudal de diseño: Q=180 l/s

Cálculo del (NPSH)_d:

$$(NPSH)_d = (P_{atm}) + (altura\ estatica) - (P_{vapor}) - (Perdidas_{friccion}) \quad \text{Ec. 0.13}$$

Para este cálculo, tenemos que la presión atmosférica en la toma de agua (nivel: 133,92 m.s.n.m)

$$P_{atm.} = P_o - dgh$$

$$P_o = 101325 \text{ Pa}$$

d= densidad (del aire 1.3 kg/m³)

g=gravedad (9.8 m/s²)

h=altura (133,92 m)

$$P_{atm} = (101325 \text{ Pa}) - \left(\left(1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (133,92 \text{ m}) \right) = 9.96 \text{ Mca} \quad \text{Ec. 0.14}$$

Altura estática = Tenemos la siguiente diferencia de niveles entre la toma de agua y la brida de succión de la bomba: 133,92-133,34 = **0,58 m.c.a**

Presión de vapor del agua: según la tabla No. 1, "presión de vapor del H₂O", observamos que a 25°C el agua tiene una presión de vapor de 23,756 mmHg que es igual a **0.316 m.c.a**

Pérdidas por fricción: =**2,18 m.c.a**

$$(NPSH)_d = (P_{atm}) + (altura\ estatica) - (P_{vapor}) - (Perdidas_{friccion}) \quad \text{Ec. 0.15}$$

$$(NPSH_d) = 9.96 + 0,58 - 0.316 - 2,18 = \mathbf{8.04 \text{ m.c.a}}$$

Ec.
0.16

$$H_t = H_{\text{altura estatica}} + H_{\text{friccion}} - (H_{\text{velocidad}})$$

Ec.
0.17

Halturaestática: Diferencia de niveles entre la bocatoma (succión) y el punto de descarga final (Z2-Z1).

Hfricción: Pérdidas por fricción en tuberías, accesorios, válvulas y demás aditamentos.

Hvelocidad: Presión debida a la velocidad del fluido ($V^2/2g$)

$$\mathbf{Altura Estatica} = (178,94 \text{ m} - 153,95 \text{ m}) = \mathbf{28,83 \text{ m.c.a}}$$

Ec.
0.18

Hfricción: 1 = $\mathbf{5,81 \text{ m.c.a}}$

$$V = 4Q/\pi D^2$$

V= velocidad del fluido

Q= Caudal de diseño (180 l/s) = 0,18 m³/s

D= diámetro de la descarga de la bomba = 0,2 m

$$V = 4(0,18)/\pi(0,2)^2$$

V= 5,73 m/s

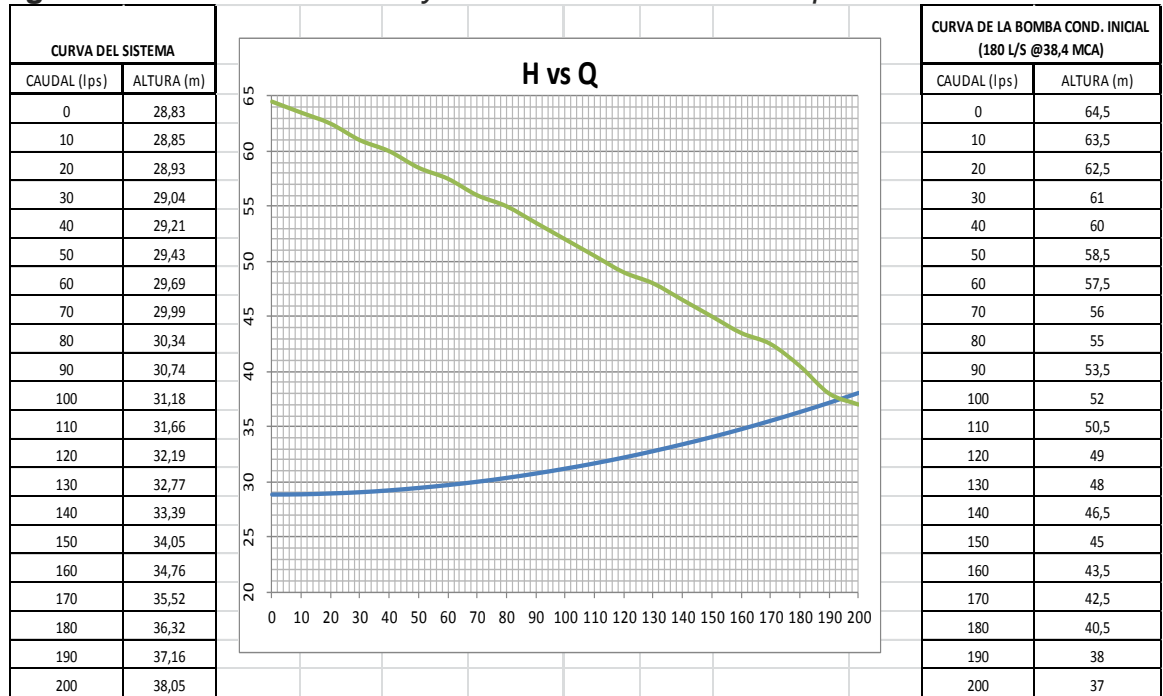
Hvelocidad: $V^2/2g = (5,73^2)/19,6 = \mathbf{1,68 \text{ m.c.a}}$

Ht= Halturaestática+Hfricción+Hvelocidad

$$Ht = 28,83 + 5,81 + 1,68 = \mathbf{36,24 \text{ m.c.a}}$$

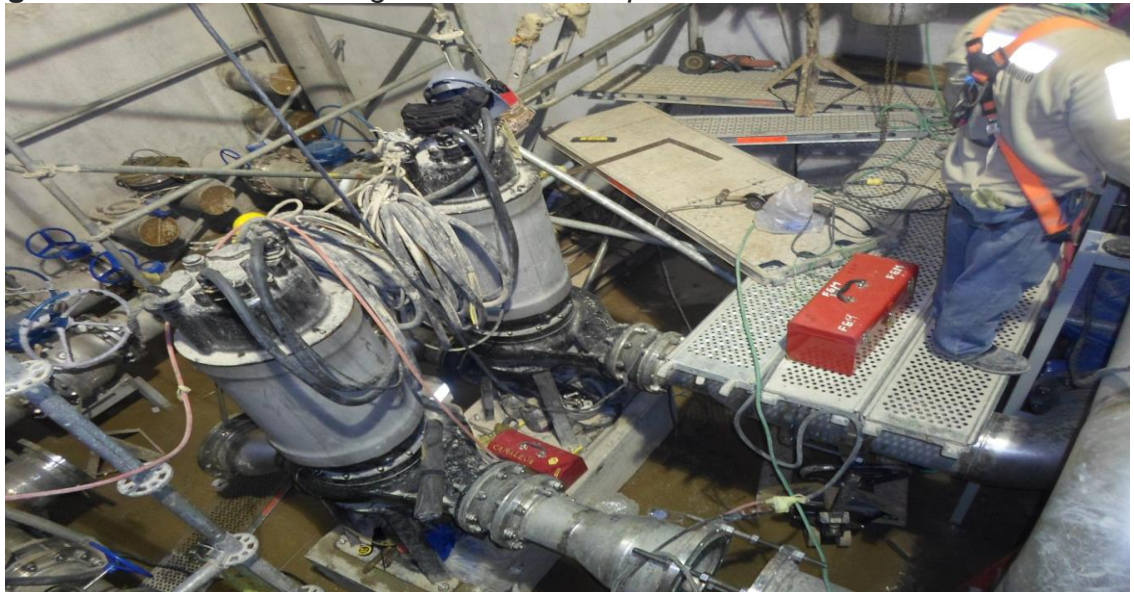
El Resultante de la altura en metros de columna de agua será 36,24 que al ser comparado con la curva se determina en $\mathbf{38,4 \text{ m.c.a}}$ a 180 (L/S).

Figura 24. Curva del sistema y de las bombas Verticales pozo seco.



Fuente: Documentos Electrohidráulica Control Documental Consalfa adaptado y citado. [2/01/2014]

Figura 25. Bombas centrifugas verticales en pozo seco.

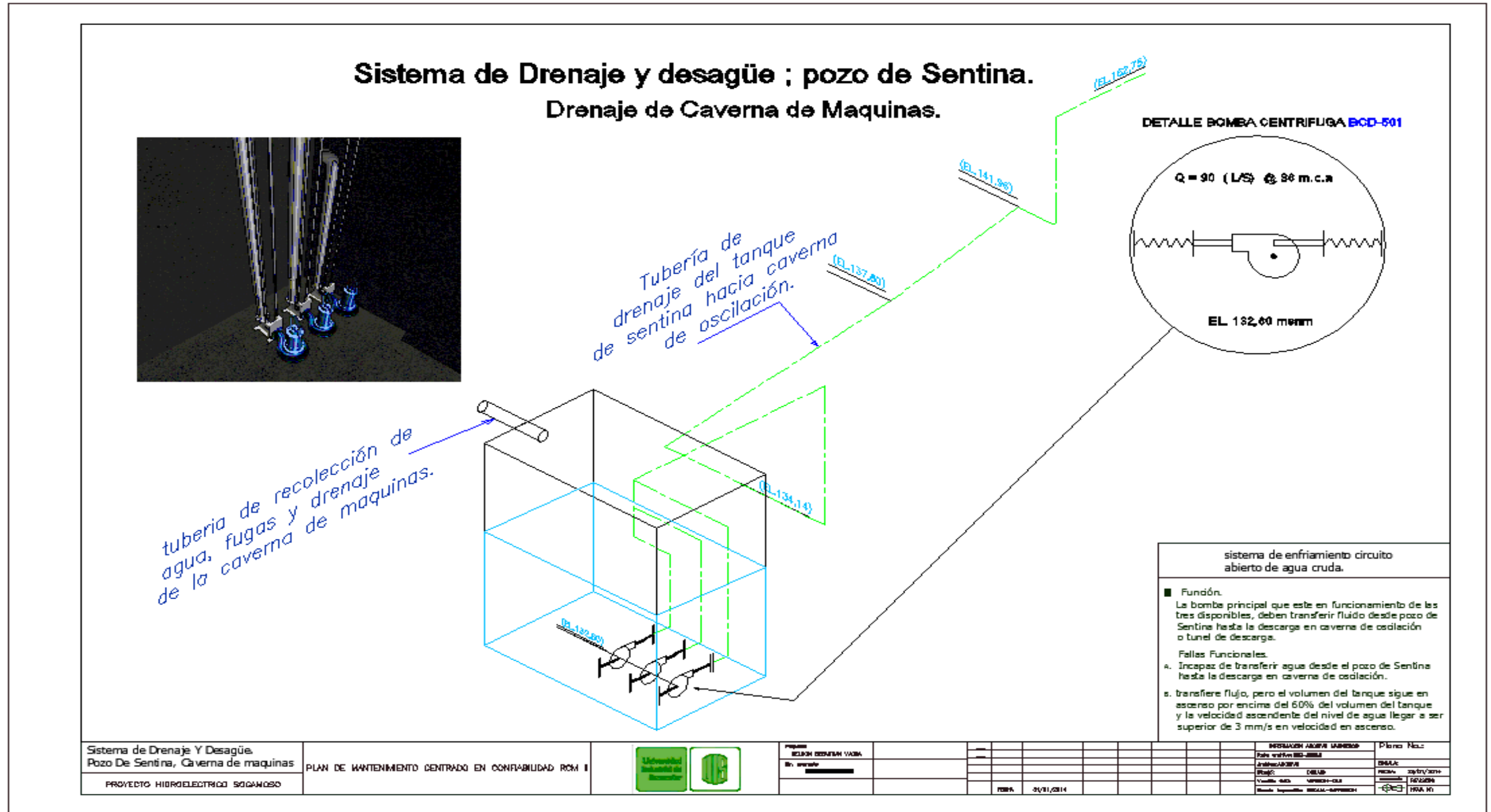


Fuente: El autor.

CALCULO DE DISEÑO DE BOMBAS DE DRENAJE EN POZO DE SENTINA.

En los cálculos de pozo de sentina y aguas de drenaje, de la Figura 26 se tiene en cuenta el volumen posible del pozo, por esto se disponen de tres bombas rotativas para tal fin, donde su objetivo inicia a pocos centímetros del piso, y su meta es evacuar lo mas rápido posible el tanque de sentina. Y llegar a descargar en Caverna de oscilación o descargar al rio dependiendo la función. El sistema también se protege por un hidroeyector que funcionará en caso de que el sistema no este teniendo un abastecimiento total, o en caso de que exista un corte de energía.

Figura 26. Sistema de drenaje y desagüe; Bomba centrífuga para Drenaje de pozo de Sentina y canales de aguas vertientes.



Fuente: El Autor *Elaboración Propia, Apoyo de Software CAD.*

Caudal de diseño: Q=90 l/s

Objetivo: Identificar las pérdidas con el fin de graficar la curva del sistema.

Cálculo del (NPSH) d:

$$(NPSH)_d = (P_{atm}) + (altura\ estatica) - (P_{vapor}) - (Perdidas_{friccion}) \quad \text{Ec. 0.19}$$

Para este cálculo, tenemos que la presión atmosférica en la succión de la bomba se realiza a una altura de 132,57 m.s.n.m.

$$P_{atm.} = P_o - dgh$$

$$P_o = 101325 \text{ Pa}$$

d= densidad (del aire 1.3 kg/m³)

g=gravedad (9.8 m/s²)

h=altura (132,57 m)

$$P_{atm} = (101325 \text{ Pa}) - \left(\left(1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (132,57 \text{ m}) \right) = 9.96 \text{ Mca} \quad \text{Ec. 0.20}$$

Altura estática= = **0 m.c.a**

Presión de vapor del agua: según la tabla No. 1, "presión de vapor del H₂O", observamos que a 25°C el agua tiene una presión de vapor de 23,756 mmHg que es igual a **0.316 m.c.a**

Pérdidas por fricción = **0 m.c.a**

$$(NPSH)_d = 9.96 + 0.316 - 3.06 = 9.64 \text{ m. c. a} \quad \text{Ec. 0.21}$$

$$H_t = H_{altura\ estatica} + H_{friccion} - (H_{velocidad}) \quad \text{Ec. 0.22}$$

Halturaestática: Diferencia de niveles entre la bocatoma (succión) y el punto de descarga final (Z2-Z1).

Hfricción: Pérdidas por fricción en tuberías, accesorios, válvulas y demás aditamentos.

Hvelocidad: Presión debida a la velocidad del fluido ($V^2/2g$)

$$\mathbf{Altura\ Estatica} = (162,75\text{ m} - 132,57\text{ m}) = \mathbf{30,18\text{ m.c.a}} \quad \begin{array}{l} \text{Ec.} \\ 0.23 \end{array}$$

Hfricción: = $\mathbf{3,014\text{ m.c.a}}$

Presión por velocidad: para el cálculo de esta pérdida, debemos considerar que en la descarga el fluido tendrá una velocidad de:

$$V = 4Q/\pi D^2$$

V= velocidad del fluido

Q= Caudal de diseño (90 l/s) = 0,09 m³/s

D= diámetro de la descarga de la bomba = 0,161 m

$$V = 4(0,09)/\pi (0,161)^2$$

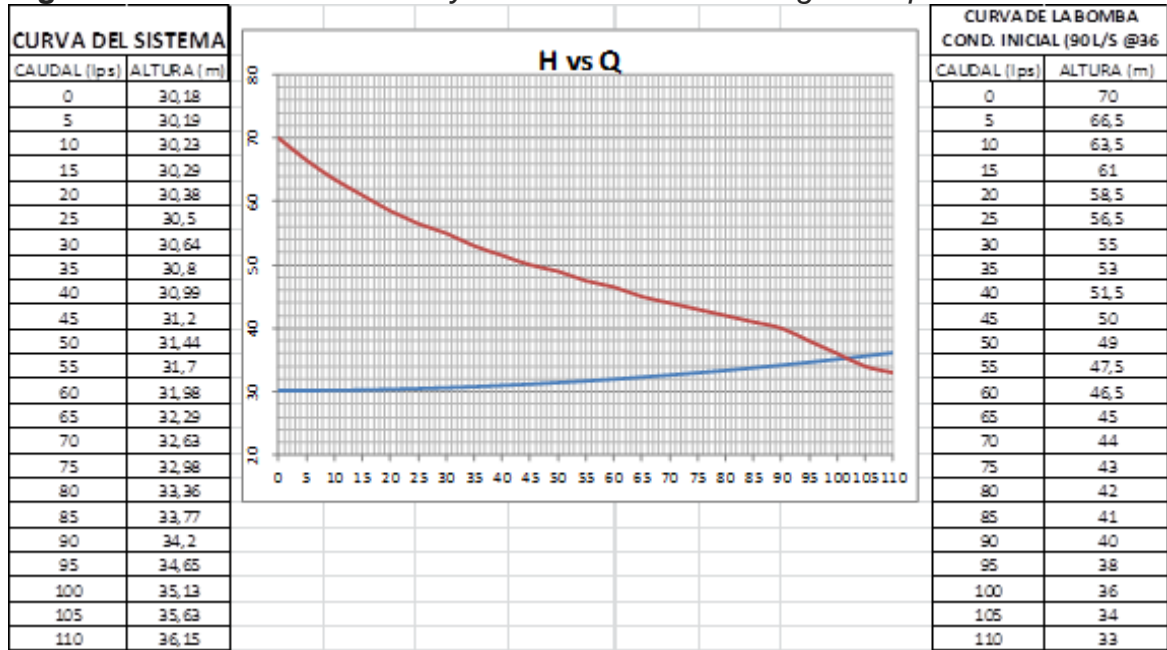
$$\mathbf{V = 4,42\text{ m/s}}$$

Hvelocidad: $V^2/2g = (4,42^2)/19,6 = 0,99\text{ m.c.a}$

$$\mathbf{Ht = 30,18 + 3,01 + 0,99 = 34,18\text{ m.c.a}}$$

Se redefine el valor de la altura a $\mathbf{36\text{ m.c.a}}$ y 90 (L/S).

Figura 27. Curvas del sistema y de las bombas centrífugas del pozo de sentina.



Fuente: Documentos Electrohidráulica Control Documental Consalfa adaptado y citado. [2/01/2014]

Figura 28. Bombas Drenaje En pozo Sentina.



Fuente: El Autor.

5. IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD A LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO, DRENAJE Y DESAGUE.

5.1 IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II)

El MCC ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años y si es aplicado correctamente, resultará mayor seguridad, mejores rendimientos operativos, mayor control de costos del mantenimiento, mejor vida útil en los equipos una amplia base de datos de mantenimiento, la hidroeléctrica y sus sistemas de enfriamiento drenaje y desagüe no son la excepción para aplicar este método, siendo el más importante de los que los nombrados anteriormente debido a que es un enfoque del mantenimiento que combina prácticas y estrategias de mantenimiento, tomando en cuenta los posibles efectos que originaran los modos de falla de sus elementos, a la seguridad, el ambiente y las operaciones.

Integrando un conjunto de personas de diferentes funciones en la organización que trabajaran juntas por un periodo de tiempo determinado y con una alta motivación para analizar los diferentes problemas comunes de los diferentes departamentos, los equipos naturales de trabajo son los más valiosos de una empresa.

Muchas veces es necesario que se integren las personas por que las respuestas a las fallas no las sabe solo el personal de mantenimiento si no también el operario y el personal de producción y concierne al funcionamiento deseado.

5.2 CONFORMIDAD PARA EL PROCESO EFECTUADO CON LA NORMA SAE J1012

La norma SAE j1012 establece estas siete preguntas para realizar un RCM la cual se toma como pauta para implementar una estrategia a las bombas centrifugas de los sistemas de enfriamiento drenaje y desagüe de la central, y así mejorar su confiabilidad uno de los pasos a que hace referencia la normas es:

- Funciones
- Fallas funcionales
- Modos de falla
- Efectos de falla
- Categorías de consecuencias de fallas
- Selección de políticas de manejos de falla
- Manejo de las consecuencias de falla.
- Políticas de manejo de falla.
- Selección de políticas de manejos de falla
- Formulación matemática y estadística.

Se contemplaron estas estrategias con el fin de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, hagamos énfasis en que estos activos aún no han entrado en operación por tal motivos es indispensable conocer estas estrategias de mantenimiento, porque de ser así las tres unidades funcionaran simultáneamente y el equipo de respaldo solo servirá en caso de que un sistema de estos falle, es decir, solo se podrá cubrir la falla de una unidad, y si se presentara una falla múltiple en los sistemas de enfriamiento drenaje y desagüe no se tendrá una solución rápida, y podría presentarse una consecuencia operacional a cada uno de los sistemas.

5.3 LISTA Y CODIFICACION DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DRENAJE Y DESAGUE

Para generar un perfecto plan de mantenimiento se debe contar con un inventario de los equipos pertenecientes a los sistemas principales y auxiliares de la central, disponer de un listado codificado de los equipos que aporte al área de mantenimiento una ubicación fácil del equipo y que además contenga las especificaciones técnicas de cada uno.

5.3.1 Explicación de la Codificación Utilizada.

Para la implementación de la codificación en la hidroeléctrica del proyecto Sogamoso, se tienen que seguir varios pasos.

1. Inventario Técnico:

Realizar un inventario de los bienes a mantener, pues debemos conocer la ubicación de cada bien. Utilizando un código estructurado inteligente y jerárquico, que permitirá identificar los diferentes activos a mantener utilizando una secuencia lógica de niveles de información ligados con un banco estándar de familias de bienes y equipos.

- **Niveles jerárquicos:** Localización, Instalaciones, Sistemas, Equipos.
- **Tipos de localizaciones (nivel 1):** Se definen los códigos de los tipos de localizaciones; Por ejemplo para ubicar la central hidroeléctrica Sogamoso. Y se continúan con sus siglas correspondientes a la primera palabra.
-

HIDRO SOGAMOSO	CAVERNA DE MAQUINAS	ENFRIAMIENTO.
SOG	CM	ENF

- **Instalaciones (nivel 2)** ; Por instalación o área de proceso se entiende una línea de producción o un conjunto de sistemas que cumplen una función

UNIDAD DE GENERACIÓN 1 -----U1

UNIDAD DE GENERACIÓN 2-----U2

UNIDAD DE GENERACIÓN 3-----U3

- **Familias de sistemas (nivel 3):** A cada una de las instalaciones se las subdividió en sistemas, entendiendo los sistemas a un conjunto de equipos mecánicos eléctricos cumpliendo una función.

Sistema de Bombeo.	BO
Puentes Grua	PG
Partes de la turbina	TU
Regulador de Velocidad	RE
Valvula Cilíndrica.	VA
Generadores	GE
Transformadores	TR
. Sistemas de Control	TC
Sistema de Enfriamiento	ENF
Drenaje y Desagüe	DYD
Ventilación Y Aire	VAA
Acondicionado.	
Aire Comprimido	AC
Sistemas Electricos	ELE
Iluminacion Y tomacorriente	IT
Sistemas de Exitación	EX
Servicios Auxiliares	SAC
Tableros de Control e	TR
Instrumentación.	

- **Equipo.** Como ya mencionamos están conformados por equipos, y el código de cada uno de ellos se los forma de la siguiente manera:

TR TRANSFORMADOR.
BC BOMBA CENTRIFUGA

- **Numeración:** El sistema le asigna a un equipo de manera automática después de la codificación por letra seguida por un guion (-).y empieza la secuencia en el primer numero es la unidad a la que pertenece, mencionada anteriormente seguida por un cero estándar y luego por la importancia del sistema si es principal o de respaldo.

5.3.2 Codificación Para El Sistema De Enfriamiento, drenaje y desagüe.

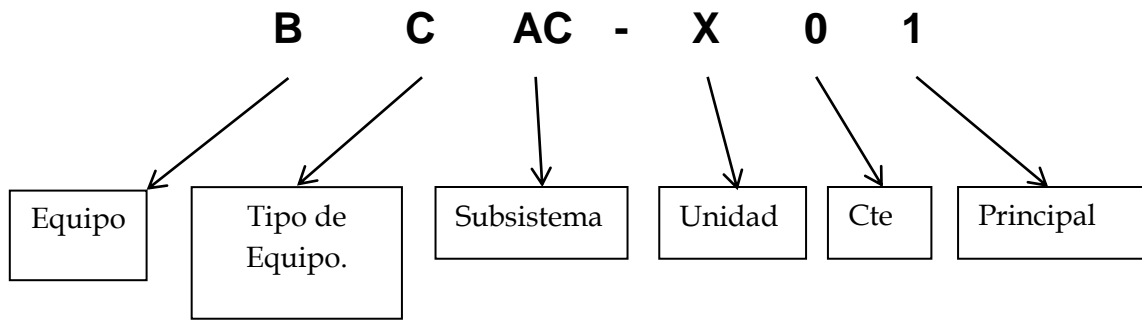
Para la codificación del sistema de enfriamiento, drenaje y desagüe se distingue por el sistema principal ya sea ENF o DYD o por el Subsistema:

- Bomba Centrifuga Circuito Abierto de Agua Cruda-----BCAC
- Bomba Centrifuga Circuitro Cerrado de Agua Tratada-- BCAT
- Bomba Centrifuga Drenaje-----BCD
- Bomba Centrifuga Sumergible de Desagüe -----BCDS
- Bomba Centrifuga Pozo Seco-----BCPS

Si nos referimos a un Intercambiador de calor para el circuito de de agua tratada, seria;

ICAT: Intercambiador de **C**alor de **A**gua **T**ratada.

Luego la numeración se coloca seguida de un guion por la unidad correspondiente ya sea U1, U2, U3, y por último si es principal o de respaldo.



La Bomba centrífuga **BCAC-101**, corresponde al subsistema de enfriamiento de agua tratada y se ubica en la **Unidad 1**, siendo la bomba principal en el circuito.

Con el sistema de Desagüe ocurre algo particular pues, las bombas están dispuestas para las 3 unidades al mismo tiempo por que están ubicadas en el pozo de sentina donde solo existe uno solo para el drenaje de las 3 unidades, por lo tanto las codificación para estas vienen enumeradas con una constante **5**, que identifica los equipos rotativos para el sistema de drenaje y desagüe.

5 = constante tipificado para las bombas de Drenaje.

Cuando se llegue a determinar una codificación como la siguiente se indica primero el plano como lo referenciamos anteriormente, seguido de la ubicación del equipo y por ultimo si es principal o no.

CODIGO	SIGNIFICADO.
SOG-CM-ENF-BCDS-502	Hidroelectrica Sogamoso, para caverna de maquinas del sistema de enfriamiento, una Bomba Centrífuga sumergible de desagüe en posición de respaldo.

Tabla 6. Codificación: Sistema, subsistema, identificación y localización de los equipos en general.

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN					ENTREGA DE SISTEMAS	
Unidad / Área	Ítem/Tag	P & ID	Descripción	Ubicación	Sistema	Sub-Sistema
ENF	BCAC-101	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 143,40	CIRCUITO ABIERTO AGUA FRIA	FILTROS AUTOLIMPIANTES U1
ENF	BCAC-201	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 143,40	CIRCUITO ABIERTO AGUA FRIA	FILTROS AUTOLIMPIANTES U2
ENF	BCAC-301	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 143,40	CIRCUITO ABIERTO AGUA FRIA	FILTROS AUTOLIMPIANTES U3
ENF	BCAT-101	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U1
ENF	BCAT-102	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U1
ENF	BCAT-201	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U2
ENF	BCAT-202	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U2
ENF	BCAT-301	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U3
ENF	BCAT-302	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U3
ENF	BCAT-401	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO RESERVA
ENF	BCAT-402	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	BOMBA	CAVERNA DE MAQUINAS EL. 153,40	CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO RESERVA
ENF	ICAT-U1	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	INTERCAMBIADOR DE CALOR		CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U1
ENF	ICAT-U1	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	INTERCAMBIADOR DE CALOR		CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U2
ENF	ICAT-U1	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	INTERCAMBIADOR DE CALOR		CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO U3
ENF	ICAT-U1	E2-LT4.4-MEC-ENF-001 R2	INTERCAMBIADOR DE CALOR		CIRCUITO CERRADO AGUA FRIA	SISTEMA ENFRIAMIENTO RESERVA
DyD	BCD 501	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBA DE DRENAJE	TK SENTINA - EL. 132,57	DRENAJE Y DESAGUE	DRENAJE TK SENTINA
DyD	BCD 502	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBA DE DRENAJE	TK SENTINA - EL. 132,57	DRENAJE Y DESAGUE	DRENAJE TK SENTINA
DyD	BCD 503	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBA DE DRENAJE	TK SENTINA - EL. 132,57	DRENAJE Y DESAGUE	DRENAJE TK SENTINA
DyD	BCPS 501	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBA PARA POZO SECO	POZO SECO - EL 132,57	DRENAJE Y DESAGUE	DRENAJE POZO SECO
DyD	BCDS 501	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBAS DE DESAGUE	POZO SECO - EL 132,57	DRENAJE Y DESAGUE	DESAGUE TUBOS DE ASPIRACION
DyD	BCDS 502	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBAS DE DESAGUE	POZO SECO - EL 132,57	DRENAJE Y DESAGUE	DESAGUE TUBOS DE ASPIRACION
DyD	BCSP 501	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBA SUMERGIBLE PORTATIL	TUNEL DE DESCARGA - EL. 132,00	DRENAJE Y DESAGUE	DRENAJE TUNEL DE DESCARGA
DyD	BCSP 502	SOG-CM-DYD-013-A	BOMBA SUMERGIBLE PORTATIL	TUNEL DE DESCARGA - EL. 132,00	DRENAJE Y DESAGUE	DRENAJE TUNEL DE DESCARGA
DyD		SOG-CM-DYD-013-A	HIDROEYECTOR OARA CARCAMO	TK SENTINA - EL. 132,57	DRENAJE Y DESAGUE	DRENAJE TK SENTINA

Fuente: Autor.

Tabla 7. Codificación: Dimensiones y características específicas de los equipos En general.

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN		ENTREGA DE SISTEMAS		GENERAL		DIMENSIÓN (C/U)			PESO TOTAL (C/U) (Kg.)	MATERIALES DE FABRICACIÓN	FLUIDO DE TRABAJO	BOQUILLAS TAMAÑO / CLASIFICACIÓN (RATING)		CAUDAL NOMINAL (GPM)	ALTURA DIFERENCIAL (m)	SELLO MECÁNICO TIPO / CÓDIGO
Unidad / Área	Ítem/Tag	Sub-Sistema	Cantidad	Tipo de Bomba	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	SUCCIÓN (pulg.)				DESCARGA (pulg.)				
ENF	BCAC-101	FILTROS AUTOLIMPIANTES U1	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980	CAST IRON / SS	AGUA	12"	10"	4597	48,6	FLEXIBLE	
ENF	BCAC-201	FILTROS AUTOLIMPIANTES U2	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4597	48,6	FLEXIBLE	
ENF	BCAC-301	FILTROS AUTOLIMPIANTES U3	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4597	48,6	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-101	SISTEMA ENFRIAMIENTO U1	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-102	SISTEMA ENF U1	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-201	SISTEMA ENF U2	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-202	SISTEMA ENF U2	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-301	SISTEMA ENF U3	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-302	SISTEMA ENF U3	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-401	SISTEMA ENF RESERVA	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	BCAT-402	SISTEMA ENF RESERVA	1	BOMBA HORIZONTAL	2202	950		1980		AGUA	12"	10"	4565	51,5	FLEXIBLE	
ENF	ICAT-U1		1		5170	920	3095	6550		AGUA	10"	10"	4565			
ENF	ICAT-U1		1		5170	920	3095	6550		AGUA	10"	10"	4565			
ENF	ICAT-U1		1		5170	920	3095	6550		AGUA	10"	10"	4565			
ENF	ICAT-U1	SISTEMA ENF RESERVA	1	COMPACTO DE PLACAS	5170	920	3095	6550		AGUA	10"	10"	4565			
DyD	BCD 501	DRENAJE TK SENTINA	1	SUMERGIBLE PORTATIL	1240	546	1518	720	CAST IRON / SS	AGUA		6"	1188	36	SiC / SiC	
DyD	BCD 502	DRENAJE TK SENTINA	1	SUMERGIBLE PORTATIL	1240	546	1518	720	CAST IRON / SS	AGUA		6"	1188	36	SiC / SiC	
DyD	BCD 503	DRENAJE TK SENTINA	1	SUMERGIBLE PORTATIL	1240	546	1518	720	CAST IRON / SS	AGUA		6"	1188	36	SiC / SiC	
DyD	BCPS 501	DRENAJE POZO SECO	1	SUMERGIBLE PORTATIL	724	305	787	115	CAST IRON / SS	AGUA		3"	264	10,5	SiC / SiC	
DyD	BCDS 501	DESAGUE TUBOS DE ASPIRACION	1	VERTICAL	878	650	2365	900	CAST IRON / SS	AGUA	8"	8"	2376	38,4	SiC / SiC	
DyD	BCDS 502	DESAGUE TUBOS DE ASPIRACION	1	VERTICAL	878	650	2365	900	CAST IRON / SS	AGUA	8"	8"	2376	38,4	SiC / SiC	
DyD	BCSP 501	DRENAJE TUNEL DE DESCARGA	1	SUMERGIBLE PORTATIL	1240	546	1463	580	CAST IRON / SS	AGUA		6"	1188	28,5	SiC / SiC	
DyD	BCSP 502	DRENAJE DESCARGA	1	SUMERGIBLE PORTATIL	1240	546	1463	580	CAST IRON / SS	AGUA		6"	1188	28,5	SiC / SiC	

Fuente: Autor.

Tabla 8. Codificación; Características eléctricas, fabricante, ficha técnica. Etc.

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN		ENTREGA DE SISTEMAS	GENERAL	EFICIENCIA (%)	CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS		FABRICANTE / MODELO / TAMAÑO	PLANO / DATA SHEET	OBSERVACIONES
Unidad / Área	Ítem/Tag	Sub-Sistema	Tipo de Bomba		V / PH / FR (V / F / Hz)	Encerramiento (TEFC, XPROOF, etc.)			
ENF	BCAC-101	FILTROS AUTOLIMPIANTES U1	BOMBA HORIZONTAL	86,90%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56324	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAC-201	FILTROS AUTOLIMPIANTES U2	BOMBA HORIZONTAL	86,90%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56325	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAC-301	FILTROS AUTOLIMPIANTES U3	BOMBA HORIZONTAL	86,90%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56326	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-101	SISTEMA ENF U1	BOMBA HORIZONTAL	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56327	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-102	SISTEMA ENF U1	BOMBA HORIZONTAL	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56328	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-201	SISTEMA ENF U2	BOMBA HORIZONTAL	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56329	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-202	SISTEMA ENF U2	BOMBA HORIZONTAL	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56330	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-301	SISTEMA ENF U3	BOMBA	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56331	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-302	SISTEMA ENF U3	BOMBA	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56332	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-401	SISTEMA ENF RESERV	BOMBA	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56333	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	BCAT-402	SISTEMA ENF RESERV	BOMBA	86,40%	480VAC, 60Hz, 193KW	IP55	NIJHUIS - VENUS1 250, 315C SERIE 56334	SOG-CM-ENF-D-039	BRIDAS ANSI CLASS 150# FF
ENF	ICAT-U1	SISTEMA ENF reserva.					WILSON JONES / MX25	SOG-CM-ENF	BRIDAS ASME 150#
ENF	ICAT-U1	SISTEMA ENF reserva.					WILSON JONES / MX25	SOG-CM-ENF	BRIDAS ASME 150#
ENF	ICAT-U1	SISTEMA ENF reserva.					WILSON JONES / MX25	SOG-CM-ENF	BRIDAS ASME 150#
ENF	ICAT-U1	SISTEMA ENF reserva.					WILSON JONES / MX25	SOG-CM-ENF	BRIDAS ASME 150#
DyD	BCD 501	DRENAJE TK SENTINA	SUMERGIBLE PORTATIL	71,80%	460V/60Hz/52,2kW	IP68	REF. AMX 644-360/70G/C	SOG-CM-DYD-011-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD	BCD 502	DRENAJE TK SENTINA	SUMERGIBLE PORTATIL	71,80%	460V/60Hz/52,2kW	IP68	REF. AMX 644-360/70G/C	SOG-CM-DYD-011-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD	BCD 503	DRENAJE TK SENTINA	SUMERGIBLE PORTATIL	71,80%	460V/60Hz/52,2kW	IP68	REF. AMX 644-360/70G/C	SOG-CM-DYD-011-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD	BCPS 501	DRENAJE POZO SECO	SUMERGIBLE PORTATIL	63,20%	460V/60Hz/4,1kW	IP68	REF. AMX 334-193/5,5T/C	SOG-CM-DYD-009-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD	BCDS 501	DESAGUE TUBOS DE ASPIRACION	VERTICAL	74,10%	460V/60Hz/120kW	IP68	HOMA - AKX 844-340/161H U	SOG-CM-DYD-008-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD	BCDS 502	DESAGUE TUBOS DE ASPIRACION	VERTICAL	74,10%	460V/60Hz/120kW	IP68	HOMA - AKX 844-340/161H U	SOG-CM-DYD-008-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD	BCSP 501	DRENAJE TUNEL DE DESCARGA	SUMERGIBLE PORTATIL	65,50%	460V/60Hz/39,5kW	IP68	REF. AMX 644-340/53F/C	SOG-CM-DYD-010-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD	BCSP 502	DRENAJE TUNEL DE DESCARGA	SUMERGIBLE PORTATIL	65,50%	460V/60Hz/39,5kW	IP68	REF. AMX 644-340/53F/C	SOG-CM-DYD-010-A	BRIDAS ANSI 125# RF
DyD		DRENAJE TK SENTINA					TERMOTRAN 12"x12"x12"	SOG-04-DYD-P-012-C	BRIDAS ANSI 150# RF

Fuente: Autor

La lista y codificación de equipos es creada mediante una búsqueda de datos en el control documental el cual es suministrado por ISAGEN en las actas entregadas a consalfa con sus respectivas actualizaciones de acuerdo con cada equipo se verifica el pack list, que es entregado y se verifica la placa que viene instalada en cada equipo con su referencia y datos técnicos, es de ahí que parte las organización de cada equipo mediante el tipo de ubicación que tiene y garantizar una ubicación del equipo rápida y efectiva, con todas sus características técnicas.

Se puede ver, que están divididas principalmente por área y TAG, que es la placa única para cada equipo además participa el sistema principal al que pertenece y el subsistema del que depende, además una completa información como su número de serie y fabricante. También las dimensiones y sus diámetros de bridas.

5.4 IMPLEMENTACION DE ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

El Análisis de Modos y Efecto de Fallas, el cual consistió en determinar las funciones, las fallas de las funciones y las causas Para el desenvolvimiento de esta etapa se utilizaron técnicas de revisión bibliográfica y entrevistas con el personal.

Los manuales de fabricantes, manuales de Operaciones, del PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO, y libros técnicos fueron las referencias revisadas, para indagar sobre las interrogantes que propicia el FMEA.

Las entrevistas con el personal formaron parte fundamental de esta etapa y el desarrollo del trabajo, se hicieron de manera directa, en el área de procesos, el taller de mantenimiento y área de oficinas. Las entrevistas se realizaron al personal de mantenimiento, operaciones, el Equipo Natural de Trabajo y personal de mayor experiencia.

Para asentar los resultados del FMEA se creó una hoja de información adaptada al plan de mantenimiento que podrá utilizarse en hidrosogamoso, basada en la propuesta de Hoja De Información RCM II de John Mubray, con la finalidad de mejorar la identificación de los componentes objeto de estudio , cumpliendo normalmente con los requisitos que amerita la aplicación del FMEA.

5.4.1 Planilla informativa RCM II dispuestas para cada una de las bombas utilizadas en los sistemas auxiliares de enfriamiento drenaje y desagüe

Figura 29. Planilla de información RCM II

		PLANILLA DE INFORMACIÓN RCM II ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (FMEA) PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)		HOJA N° 1		
SISTEMA: sistema de enfriamiento		TAG: BCAT-X01 Y BCAT-X02		REALIZADO POR: Sebastián Vacca		
SUBSISTEMA: circuito cerrado de agua tratada		UBICACION: EL 153,95 msnm		REVISADO POR: ING. Carlos Borrás Pinilla.		
				COMPONENTE: VENUS1 250, 315C		
				FABRICANTE: NIJHUIS - PENTAIR		
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA			
1 bomba debe transferir agua que retorna de los sistemas auxiliares ya enfriados a un caudal de (310 L/s a 48 m.c.a) con presión en la succión de 5 a 6 bares y en la descarga de 9 a 11 bares. Y enviar al intercambiador de calor principal de placas paralelas.	A Incapaz de transferir agua desde la línea de retorno de sistemas auxiliares hasta el intercambiador de calor principal de placas paralelas.	Falla el motor			Se enciende la alarma de presión, flujo y temperatura de la línea, y no se evidencia fluido a la salida del int. de calor principal, generando alarmas por una posible alteración en la temperatura de los sistemas auxiliares de turbina que requieren de enfriamiento. direccionando el flujo por la bomba set de respaldo motor se calienta y el relé térmico se activa, puede producir altas temperaturas, se generan ruidos y vibraciones mayores, las presiones en las tuberías se alteran y suena las alarmas de presión. Se pone en operación la bomba de reserva. existe un mal funcionamiento por errores humanos de operación en el HMI, generando alarmas, o existe humedad y suciedad en los componente Se detiene el sistema por un irregular manejo a los activos, montaje incorrecto.	
		1	no hay señal de control de operación en el encendido del motor o no tiene suministro de energía eléctrica "motor no enciende"			
		2	falla mecánica en uno de sus componentes, bobinados del motor quemados, rodamientos fallan, eje doblado, Etc.			
		3	Motor y bomba no funciona por condiciones ambientales y de montaje.			
		4	sufre cortos circuitos, daños en su estructura por golpes externos.			
		Falla en la bomba				
		5	la bomba y la tubería de la línea no registran flujo, existe aire en el sistema y se tiene un (NPSH _d) insuficiente.			
		6	puede existir obstrucción o falla en accesorios produciendo luego fugas mayores en las conexiones de la bomba			
		7	Falla mecanica de la bomba y el impulsor esta dañado.			
	8	la carcasa esta rota, falla el sellado de la bomba				
	9	no hay buen acople entre ejes, el eje esta doblado o cojinetes en mal estado				
	Falla el motor			los PIT-105 y PIT-106, detectan las presiones y encienden las alarmas HH, o LL dependiendo si la presion es muy alta > 6 bares o muy baja < 3 en la succion y descarga. Se generan elevadas temperaturas debido al calentamiento del motor por suciedad del mismo. el requerimiento de energia es alto. los PIT-105 y PIT-106, detectan las presiones bajas y encienden las alarmas HH, o LL si la presión es muy alta > 6 bares o muy baja < 3 en la succión y descarga. Se generan charcos en el piso, ruidos altos y vibraciones mayores. Puede evidenciarse desajuste en los pernos de anclajes y sujeción. los indicadores de presión, detectan las presiones bajas y encienden las alarmas HH, o LL dependiendo si la presion es muy alta > 6 bares o muy baja < 3 bares en la succion y descarga. Se generan charcos por fugas en el sellado . Puede evidenciarse desajuste en los pernos de anclajes y sujeción a causa de la vibración.		
	Falla en la bomba					
	1	El servicio electrico no es eficiente y la rotación es baja,				
	2	el requerimiento de carga es mayor y el motor no funciona normalmente, la suciedad es alta y la lubricacion muy baja.				
	3	Existe Aire en la carcasa de la bomba, por penetración de aire en el prensaestopa. Existe una perdida de fluido en el sellado y aumenta el aire en los componentes.				
	4	Placas y anillos del impulsor desgastados. Bajas RPM,				
	5	línea de aspiración con fugas por la corrosión, y desgaste de componentes debido al uso.				

Fuente: Elaboración propia.

5.5 DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM II.

Para determinar el tipo de mantenimiento más adecuado para cada modo de falla, se recurrió al diagrama de decisión RCM II. Para desarrollar esta etapa se utilizó El flujo grama de preguntas del Diagrama de decisión del RCM II, el cual se muestra anteriormente.

Para resolver las interrogantes que propone el diagrama, se aplicaron entrevistas con el personal de mantenimiento y reuniones con el Equipo natural de trabajo, y así llegar a la acción más satisfactoria. El estudio consistió en realizarle las preguntas a cada modo de falla, siguiendo el flujo grama hasta tener una respuesta determinante, es decir tener una acción a implementar, para luego asentar los resultados de cada modo de falla.

Para asentar los datos reflejados por el flujo grama de preguntas, se utilizó una hoja de decisión de Elaboración propia, basada en la plantilla de decisión del RCM II por John Moubray Las características de la hoja de decisión se muestra anteriormente.

La primera parte, muestra el encabezado de la hoja, así como los datos de información del equipo y del personal que realizó la compilación. La segunda parte, expresa la información del FMEA como identificación de cada modo de falla, posteriormente las repuestas de cada modo de falla, sobre si son evidentes, trae consecuencias sobre las personas, el medio ambiente o si trae consecuencias sobre la operación (expresados con H, S, E y O respectivamente), luego se presentan las respuestas, a las tareas recomendadas, que son denotadas como se bosqueja en la figura 11 anteriormente mostrada. Seguidamente aparece una breve descripción de la tarea a implementar, así como su frecuencia inicial y el departamento recomendado, cumpliendo entonces con las especificaciones de una hoja de decisión.

Para establecer la frecuencia inicial de ejecución de las actividades y el departamento asignado, se recurrió al Equipo Natural de Trabajo, así como al personal de mantenimiento de mayor experiencia, además de consultar los manuales de fabricantes.

Cabe destacar que las respuestas a las preguntas del Diagrama se reflejan en la Hoja de Decisiones de la siguiente manera: para respuestas negativas (NO) se reflejan con la letra N y para respuestas positivas (SI) con la letra S.

En la siguiente tabla observamos un ejemplo de la aplicación de la segunda planilla RCM II

5.2.1 Planilla informativa RCM II del diagrama de decisión para cada una de las bombas utilizadas en los sistemas auxiliares de enfriamiento drenaje y desagüe

Tabla 9. Planilla Informativa RCM II Diagrama de decisión.



REFERENCIA DE INFORMACION			CONSECUENCIA DE LA EVALUACION				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	ACCION DE DEFAULT			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser Realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.	Anual	Frente Eléctrico.
1	A	2	Y	N	N	Y	Y						Tarea " A condición" inspeccionar ruidos y vibraciones en el motor, por medio de los instrumentos adecuados, de ser así, cambiar los elementos en falla y engrasar nuevamente.	semestral	Frente Eléctrico.
1	A	3	Y	N	N	Y	Y						Tarea " A condición" revisar el activo, y verificar si hay daños en su estructura, o unas condiciones anormales; humedad, exceso de polvo, y hacer una limpieza y lubricación adecuada.	quincenal	Frente operario Mecánico.
1	A	4	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y		"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.	-	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	5	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N		Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.	Semestral	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	B	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" verificar las conexiones hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuad cada 5000 horas de servicio.	anual	Frente operario Mecánico.
1	B	2	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de sellos y limpieza de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y fugas del fluido, que hagan perder la capacidad.	semestral	Frente operario Mecánico.
1	B	3	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.	bianual	Frente operario Mecánico.

Fuente: Elaboración Propia; adaptada de Jhon Moubray.

5.3 ESTABLECIMIENTO DE LAS FRECUENCIAS Y RESPONSABILIDADES DE LAS TAREAS PROPUESTAS PARA EL RCM II.

Una vez aplicado el FMEA y el Diagrama de decisión, se asentó de manera ordenada las actividades o tareas de mantenimiento a realizar, sumado a esto, en esta etapa se agregará actividad en el plan de mantenimiento, estas se determinarían según indicaciones de los expertos en el área de mantenimiento y reparación de este sistema, tomando en cuenta todos los factores que influirán en el tiempo de reparación del sistema.

Desde el punto de vista actual debe ser puntual el hecho que en este momento no se ha iniciado el recorrido de los equipos por lo tanto ningún dato se ha registrado pero se propone un plan de mantenimiento que sea confiable y se adapte a cualquier cambio en la operación, se dispone de un plan maestro que tiene como principio hacer que la confiabilidad de los equipo en sus pruebas de inicio cuenten con la información necesaria.

Tomando en consideración las planillas de decisión obtenidas para cada bomba de los sistemas de enfriamiento drenaje y desagüe, se procedió a elaborar un plan de mantenimiento. Dicho plan, muestra la tarea a realizar, el personal necesario para ejecutar y la semana en la que se programa la intervención del equipo. Se dividió semanas y meses y se emplearon frecuencias de ejecución de las tareas, Quincenal, Mensual, Semestral y Anual; debido a que los equipos estudiados operan todos los días del año.

5.3.1 Plan de mantenimiento rcm II

Figura 30. Plan de mantenimiento RCM II

Tarea de mantenimiento.	Dpto. Así.	H/H	Quincenal	Mensual	Meses			Bianual.
					3	6	12	
Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.	Frente Eléctrico							
Tarea " A condición" inspeccionar ruidos y vibraciones en el motor, por medio de los instrumentos adecuados, de ser así, cambiar los elementos en falla y engrasar nuevamente.	Frente Eléctrico							
Tarea " A condición" revisar el activo, y verificar si hay daños en su estructura, o unas condiciones anormales; humedad, exceso de polvo, y hacer una limpieza y lubricación adecuada.	Frente Operario Mecánico.							
"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
Tarea " A condición" verificar las conexiones hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuad cada 5000 horas de servicio.	Frente operario Mecánico.							
Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de sellos y limpieza de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y fugas del fluido, que hagan perder la capacidad.	Frente operario Mecánico.							

Fuente: Elaboración Propia.

5.4 ESTUDIO DE HAZOP (RIESGOS Y OPERABILIDAD).

El estudio tipo hazop fue creado con el propósito de identificar riesgos potenciales y problemas operacionales producidos por las desviaciones en el comportamiento de los sistemas respecto a sus intenciones de diseño. Fue creado por el ICI, en el reino unido, pero fue utilizado más tarde por la industria en procesos químicos después del desastre de flixborougth en el que una explosión acabo con la vida de varias personas, debido a los constantes accidentes se ha venido aplicando la técnica a las industrias petroleras que tienen inminente riesgo de desastre o a las plantas de tratamiento de agua, o similares pues tienen riesgo de contaminación o liberación de sustancias químicas perjudiciales. En Chile se ha venido utilizando esta técnica directamente a las industrias mineras, las cuales empresas como Codelco han venido utilizando dentro de su normativa para el desarrollo de proyectos el requerimiento de aplicar diferentes técnicas de análisis de riesgos operacionales, entre ellas el estudio Hazop, de acuerdo con el grado de cada proyecto.

Dentro del estudio hazop debe tener una descripción total de todos los procesos para poder establecer las posibles desviaciones respecto a la intención de diseño, luego se hace una evaluación en cuanto a que si sus consecuencias pueden afectar negativamente sobre el funcionamiento óptimo de la planta.

Ejemplo de Palabras claves Primarias como;

Flujo.	Temperatura
Presión.	Nivel
Separar. (Asentar)	Composición.
Reaccionar.	Mezclar.
Reducir (moler, triturar)	Absorber.
Ocluir	Frenar.
Corroer	Erosionar.

Palabras claves primarias que pueden ser combinadas con las palabras claves secundarias y llegar a potenciales desviaciones o problemas muy exactos dependiente los términos que se utilizan en cada industria.

Ejemplo de palabras claves secundarias como;

Tabla 10. *Metódo de hazop, palabras claves.*

PALABRA CLAVE.	SIGNIFICADO.
No	La intención de diseño no se logra. (Flujo/No)
Menos	Se produce una disminución cuantitativa en la intención de diseño (Presión Menos)
Más	Se produce un aumento cuantitativo respecto de la Intención de diseño (Ej. Temperatura/ Más)
Inverso	Se produce Lo opuesto de la Intención de Diseño (Ej. Flujo/ Inverso)
ETC.	ETC.

Fuente: *Adaptado y citado [9/02/2014] online <www.oilproduction.net/files/HAZOP-Soluciones%20avanzadas.pdf>*

5.4.1 Metodología del estudio hazop.

El estudio de hazop implica la aplicación sistemática de todas las combinaciones relevantes de palabras clave a la planta o proceso en estudio, en un esfuerzo por descubrir problemas potenciales.

La siguiente configuración puede ser un ejemplo básico para la aplicación de este método bajo los siguientes encabezamientos.

PALABRA CLAVE	DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIA	SALVAGUARDIAS	RECOMENDACIÓN DE ACCIÓN.

Desviación; Combinación de palabra clave aplicada (Ej. Flujo/No).

Causa; Causas potenciales que producirían dicha desviación (Ej. “Bloqueo del filtro S1 debido a impurezas en el Estanque de Dosificación T1” podría ser causa de Flujo/NO).

Consecuencia: Las consecuencias que surgirían, tanto por el efecto de la desviación (“perdida de dosificación acarrea por resultado separación incompleta en V1”) y si es apropiado, de la causa misma, y debe ser explícito al anotar las consecuencias de la misma.

Es necesario ser siempre explícito al anotar las consecuencias. No se debe asumir que en alguna fecha posterior el lector estará plenamente consciente de la importancia de una afirmación, y se debe tomar en cuenta los sistemas de protección o instrumentos ya incluidos en el diseño.

Salvaguardias; Se deberá registrar en esta columna cualquier dispositivo existente de protección que impida que se materialice la causa o que permita mitigar la gravedad de las consecuencias. Esta opción no necesitan restringirse a la maquinaria, donde sea apropiado se puede dar crédito a los aspectos de procedimiento tales como inspecciones regulares de planta.

Recomendación de Acción; Cuando una causa tiene resultado una consecuencia negativa o deseada, se debe decidir si se va a recomendar alguna acción. En esta etapa se toman en cuenta las consecuencias y salvaguardias asociadas. Si se estima que las medidas de protección o salvaguardias son adecuadas, no será necesario adoptar ninguna medida, y se estima necesario se podrá indicar este hecho en la columna Recomendación de Acción.

Las acciones se dividen principalmente en dos grupos:

1. Acciones que eliminan la ocurrencia de la causa.

2. Acciones que mitigan o reducen la Magnitud del Riesgo de las consecuencias.

Para ejecutar de manera óptima, el informe final constará de los siguientes documentos,

- Esquemas que pueden ser simplificados con la situación y numeración de los nudos de cada subsistema.
- Formatos de recogida de las sesiones con indicación de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo.
- Análisis de los resultados obtenidos. Se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas.
- Listado de medidas a tomar constituye una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios. Etc.

Este estudio se hace óptimo si después de tener los historiales de fallas y las causas reales que evidencia las fallas en los equipos, son controladas y documentadas para tenerlas presente en su funcionamiento.

Los modelos de hazop para los demás equipos rotativos son similares en un inicio por que los equipos son nuevos y las fallas probablemente sean de control y operación. Más que una falla estructural de los mismos.

Figura 31. Ejemplo de hazop, riesgo y operabilidad.

PALABRA CLAVE.	DESVIACIÓN.	POSIBLES CAUSAS	CONSECUENCIAS.	ACCION REQUERIDA.
(NO/TENSION)	Tension electrica en el motor y bomba.	no hay señal de control de operación en el encendido del motor y no tiene suministro de energia electrica "motor no enciende", posible corto circuito.	Se activan las alarmas y se activa el sistema de respaldo, de lo contrario. Se activará el colector de agua fira y entra en operación la planta de emergencia de los servicios de respaldo.	Debe verificarse el suministro en la subestación eléctrica, o comprobar el estado del guarda motor en caso de estar quemados
MAS/TENSION)	Tension electrica en el motor y bomba.	sistemas preventivos no son los suficientes y los fusibles no funcionan optimamente. Los controles automaticos generan lecturas erroneas.	Produce calentamiento en bobinado del motor, altas temperaturas, altera el fluido y las características. Generando un efecto multiple para los demas equipos.	revisar periodicamente los sensores y relés de temperatura, y aislar de manera rapida el equipo para evitar conflagración.
(NO./CAUDAL)	Caudal	Obstrucción en la tuberia de entrada y/o salida, o la bomba no esta funcionando por daños internos en sus componentes	produce un desajuste en los componentes mas debiles, las alarmas de flujo son encendidas por tanto los s. de respaldo actuan de manera rapida.	supervisar en el montaje los posibles objetos que esten, obstruyendo el paso al fluido. O verificar la solidez del filtro y las particulas
(MAS/VIBRACION)	Vibraciones.	mal instalación y componentes moviles estan mal ajustados, o particulas del fluido golpea la estructura resultanto un daño considerable.	ruidos en exeso y causa la perdida de eficiencia en el sistema, alterando principalmente la temperatura en los demas equipos dependientes del s. enfriamiento.	un Revisiones Programadas de mantenimiento q establezca la confiabilidad de los elementos y sus posibles causas.
(NO. / PRESION)	Presión	la estructura de la bomba no es compacta y genera fugas, por los sellos mecanicos. Las bridas de succión y descarga no estan bien selladas y baja potencia electrica.	puede generar inundación si las bombas estan en un recinto cerrado, o la falta de presión altera los demas equipos encendiendo las alarmas de emergencia.	revisar la presión y las causas que genera la perdida de presión, luego seguir los procedimientos de revisión.
(MAS/PRESION)	Presión	Se opera la bomba a mas revoluciones debido a una mala operación de control, o las valvulas reductoras de presión no funcionan correctamente.	genera, daños en las tuberias y accesorios, componentes de control, y altera las lecturas de los dispositivos, puede crear cavitación en la bomba y falla de la misma.	Revisar periodicamente las lecturas de los sensores para verificar el cambio de presiones, y manualmente, estar atento a evidencias puntuales.
(MAS/TEMPERATURA)	Temperatura.	la temperatura se eleva, y los sensores prenden las alarmas, el circuito no debe exceder 35°C antes del intercambiador. Por que genera recalentamiento a los equipos.	elear la temperatura activa los 3 diferentes metodos de enfriamiento, para evitar que los demas sistemas se detengan y porvoquen daños graves.	evidenciar un cambio en la temperatura, y proceder con un buen control haciendo uso de el procedimiento diseñado por el fabricante.

Fuente: Elaboración Propia.

6. CONCLUSIONES

- Se concluyó con éxito la implementación de la Propuesta del Mantenimiento Centrado en confiabilidad RCM II a los equipos rotativos de enfriamiento, drenaje y desagüe de las turbinas de generación, logrando adecuar los formatos y procedimientos validos cumpliendo con la formalidad que recomienda la norma Sae J1012, con apoyo de expertos y operarios con experiencia en la gestión del mantenimiento en cada uno de los activos, dejando a disposición del área de mantenimiento de Consalfa S.A.S toda la información que se reunió durante el desarrollo del plan de mantenimiento, para que se ejecute de manera correcta y dejando disponible para posibles modificaciones en Pro de una mejor operación.
- Se realizó el análisis de modo y efecto de falla FMEA a los 11 equipos rotativos del sistema de enfriamiento. Y a los 6 Equipos rotativos del sistema de Drenaje Y Desagüe, Se logra completar las tareas de mantenimiento resultantes de la Planilla de decisión, que serán Fundamentales para el inicio de pruebas y puesta en marcha de los equipos en la planta, asegurando un buen método de mantenimiento para los activos, con procedimientos recomendados por la norma establecida SAE j1012 sobre la confiabilidad y la disponibilidad.
- Se realizó la lista de los equipos de enfriamiento, drenaje y desagüe con la respectiva codificación y ubicación en Excel de tal manera que sea fácil su localización para las operaciones de mantenimiento, recopilación de información acerca de sus características, especificaciones, y dimensiones particulares para cada bomba además datos del fabricante, Asistentes de servicio e información fundamental para el mantenimiento.

- Actividades de búsqueda, organización, recolección y contacto a Electrohidráulica responsable de ser el proveedor de los equipos participantes, fueron adquiridos los manuales, fichas técnicas, planos y procedimientos de montaje además de los cálculos de diseño para la selección de cada activo, con sus soportes esquemáticos que verifican un análisis sólido y bien estructurado de los estándares de diseño mecánico.
- Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto fue necesario y muy útil hacer una práctica de 6 meses donde se planteó la necesidad de la empresa de un plan de mantenimiento para el inicio de las pruebas y puesta en marcha de los equipos, se realizó un análisis detallado de cada sistema, y un acompañamiento fundamental de las personas que participaron en el montaje. Generando una idea más sólida en la instalación y operación de estos sistemas.
- Mediante la metodología aplicada en el mantenimiento proactivo FMEA se enfocó a buscar los requerimientos de la empresa y del cliente, reduciendo no solo las fallas operacionales imprevistas, sino también llevando procedimientos fáciles y económicos que exceptúan de cualquier daño prematuro a los activos de dichos sistemas auxiliares que responsabilice a la empresa una vez instalados los nuevos equipos.
- En un estudio previo concluyó que los equipos de enfriamiento, Drenaje y Desagüe son críticos ya que pertenecen a sistemas con altas responsabilidades de operabilidad y debido a la ubicación del proyecto, una inminente falla requiere un sistema de respaldo óptimo y disponible. Por tal motivo si un activo falla, o pierde su capacidad inicial, inmediatamente es reemplazado por otro dispuesto a operar. Esto convierte los equipos principales en críticos y no es necesario complementar el RCM II con un análisis de criticidad.

- RCM II integra un compromiso entre los especialistas de mantenimiento y los operarios de los equipos creando una cultura consiente con el personal siendo preventivos, logrando una buena comunicación cuando se tienen fallas o anomalías y puedan ser atendidas a tiempo implementando las tareas del plan respectivas.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda una vez iniciadas las pruebas de funcionamiento recopilar los datos de operación para compararlos con las condiciones iniciales y saber que desviaciones se encuentran entre las reales y la ideales, verificando las tareas de mantenimiento para evitar procedimientos erróneos y objetos de diferentes naturalezas alteren el funcionamiento.

Inspeccionar el plan anualmente, para realizar cualquier ajuste en caso de ser necesario, principalmente revisar que los periodos de ejecución sean convenientes para la gestión.

Estar atentos a las condiciones ambientales en las que funcionaran los activos, ya que la caverna de máquinas se expone a altas temperaturas y una humedad considerable, se recomienda utilizar el método de PHVA (planear, hacer, verificar y actuar).

Para tener en consideración los accesos a la planta son limitados y la ubicación de la hidroeléctrica no es la más central, por lo que se recomienda tener un control de inventarios muy eficiente, y disponer de los repuestos necesarios rápidamente, ya que el ingreso a la localización de cada activo, una vez este instalada la central hidroeléctrica reduce cualquier espacio que en un principio se dispuso libremente.

BIBLIOGRAFIA

AMENDOLA, Luis PH.D. “Modelos Mixtos de Confiabilidad”, Universidad Politécnica. Valencia España Dpto. : Proyectos de Ingeniería. 2003.

GONZALES BOHORQUEZ, Carlos Ramon. “Mantenimiento y montajes”. En; Mantenimiento y Montajes,. Lectura de Acetatos y Diapositivas; : Escuela de Ingeniería Mecánica (2013)., Universidad Industrial de Santander. 2010.

HERNANDEZ, Seimar. PABON, Victor. Diseño de un mantenimiento preventivo para la planta de mecanizado de industrias tanuzy S.A; basado en criticidad y análisis de modo y efecto de falla. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : 152p., 2012.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM II. USA: ILLINGTON, NORHT CALIFORNIA : s.n., Segunda Edición. 330P. 2004.

Norma, Sae J1012. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. Warrendale, PA. EEUU : The Engineering Society For Advancing, Enero. 68p. 2002

SALAZAR C, Manuel. “Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad” – para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos del gas natural. 155p. : s.n., Universidad de Oriente; Escuela de Mecánica. 2009

STRATEGIG TECHNOLOGIES. “Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance” . CIED Valencia : s.n., 1999.

ANEXO A. ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA PARA TODOS LOS EQUIPOS ROTATIVOS DE LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DRENAJE Y Desagüe DE LA CENTRAL.

TABLA A1


		PLANILLA DE INFORMACIÓN RCM II ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (FMEA) PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)			HOJA N° 1	
					FECHA: 12/02/2014	
SISTEMA: sistema de enfriamiento		TAG: BCAC - 101		REALIZADO POR: Sebastian Vacca	REVISADO POR: ING. Carlos Borrás Pinilla.	
SUBSISTEMA: circuito abierto de agua fria		UBICACION: EL 143,40 msnm		COMPONENTE: VENUS1 250, 315C	FABRICANTE: NIJHUIS - PENTAIR	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA			
1 bomba debe transferir agua desde la C.osciolacion hasta el intercambiador de calor a un caudal de 280 L/s con presión en la succión de 3 a 5 bares y en la descarga de 8 a 10 bares	A Incapaz de transferir agua desde C. oscilacion hasta el intercambiador de calor.	Falla el motor				
		1	no hay señal de control de operación en el encendido del motor o no tiene suministro de energia electrica "motor no enciende"	Se enciende la alarma de presión y flujo hace evidente un cambio de operación a los sistemas de reserva puede registrar un aumento de temperatura en la salida del intercambiador de calor, generando un posible recalentamiento o alteración en los sistemas auxiliares de la turbina que necesitan de enfriamiento.		
		2	falla mecanica en uno de sus componentes, bobinados del motor quemados, rodamientos fallan, eje doblado, Etc.	motor se calienta y el relé termico se activa, puede producir altas temperaturas, se generan ruidos y vibraciones mayores, las presiones en las tuberias se alteran y suena las alarmas de presion. Se pone en operación la tuberia de reserva.		
		3	Motor y bomba no funciona por condiciones ambientales y operacionales, sufre fallas electricas, daños en su estructura.	existe un mal funcionamiento en los s. de enfriamiento, por una errada operación en el HMI, generando alarmas, y existe humedad y suciedad en los componentes, o se detiene el sistema por un irregular manejo a los activos, montaje incorrecto.		
		Falla en la bomba				
	4	la bomba y tuberia de la linea no tienen fluido, existe aire en la linea del sistema, NPSH_d insuficiente, obstrucción o falla en accesorios, fugas mayores en la bomba	PIT-101 en la bomba no registran datos, FIT-101 de la linea que viene de C. oscilacion no registra nivel, PIT-101 enciende las alarmas por baja presión permitiendo cambio a la tuberia de respaldo. se altera la presion por obstruccion o cambio en propiedades del fluido, haciendo que la presion aumente activando las alarmas respectivas. la bomba tiene fugas en sus componentes, por mal montaje.			
	5	Falla mecanica de la bomba, el impulsor esta dañado, la carcaza esta rota, falla el sellado de la bomba, no hay buen acople entre ejes, el eje esta doblado o cojinetes en mal estado	el impulsor se daña, y la vibración es alta debido a el desbalanceo, el ruido es alto por el contacto entre elementos y la velocidad disminuye, la temperatura de las carcazas aumentan, elementos llegan a los filtros provocando un daño inminente. se detectan alarmas por cambios en condiciones, y rodamientos se atascan haciendo que la maquina se detenga.			
	Falla el motor					
	1	El servicio electrico no es eficiente y la velocidad es baja, el requerimiento de carga es mayor y el motor no funciona normalmente, la suciedad es alta y la lubricacion muy baja.	los indicadores de presion, detectan las presiones bajas y encienden las alarmas HH, o LL dependiendo si la presion es muy alta o muy baja en la succion y descarga. Se generan elevadas temperaturas debido al calentamiento del motor por suciedad del mismo. se requiere un lubricacion inmediata.			
	Falla en la bomba					
2	Existe Aire en la carcasa de la bomba, por penetración de aire en el prensaestopa. Existe una perdida de fluido en el sellado y aumenta el aire en los componentes.	los indicadores de presion, detectan las presiones bajas y encienden las alarmas HH, o LL dependiendo si la presion es muy alta o muy baja en la succion y descarga. Se generan charcos en el piso, ruidos altos y vibraciones mayores. Puede evidenciarse desajuste en los pernos de anclajes y sujeción.				
3	Placas y anillos del impulsor dañados. Bajas RPM, linea de aspiración con fugas debido a corrosion en las tuberias y componentes, o daños en la bomba por errores operativos.	los indicadores de presion, detectan las presiones bajas y encienden las alarmas HH, o LL dependiendo si la presion es muy alta o muy baja en la succion y descarga. Se generan charcos en el piso por fugas en el sellado. Puede evidenciarse desajuste en los pernos de anclajes y sujeción a causa de la vibración.				


TABLA A2.

		PLANILLA DE INFORMACIÓN RCM II ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (FMEA) PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)			HOJA N°	
					FECHA:	
SISTEMA: sistema de Drenaje y Desague		TAG: BCDS - 501 y BCDS-502		REALIZADO POR:	REVISADO POR:	
SUBSISTEMA: Bombas Verticales del Pozo Seco.		UBICACION: EL 133,92 msnm		COMPONENTE: HOMA - AKX 844-340/161H U	FABRICANTE: HOMA	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA			
1 bomba debe transferir agua desde los codos del tubo de aspiración hasta la descarga en caverna de oscilación o descarga al rio. A un flujo de 180 L/s con presión en la succión de 0,51 a ,91 bares y en la descarga de 3,3 a 4,5 bares, presiones validas para la funcion; a) desague de tubos de aspiración b) desague de la tubería de conducción. c) desagüe del tunel de descarga y caverna de oscilación	A Incapaz de transferir agua desde los codos de los tubos de aspiracion hasta la caverna de oscilacion y/o descarga al rio y las respectivas funciones de desague.	Falla el motor				
		1	No hay señal de control de operación en el HMI del encendido del motor o no tiene suministro de energia electrica en los interruptores.			No hay señal del motor encendido y no percibe rotacion del eje del motor, las alarmas de señal de flujo y caudal se activan, probablemente se genere un calentamiento o alteración en el motor, y los sensores de nivel del codo de aspiracion permanezcan constantes. se activará la operacion principal para la bomba de reserva.
		2	falla mecanica en los componentes, bobinados del motor quemados, corrosion del bobinado, rodamientos fallan, eje doblado.			motor se calienta y el sensor de temperatura se activa, se generan ruidos, vibraciones, y las presiones en las tuberias se alteran y suena las alarmas de presión. Las diferencias de tensión se hacen evidentes, y el consumo de electricidad alto.
		3	Motor no funciona por alto nivel de agua e inundación en el pozo, daños en su estructura. circuito electrico de la maquina falla.			accesorios en la linea de tuberia fallan y se generan fugas que finalizan en el pozo. Elevando el nivel de agua, bomba de achique no funciona, las presiones desbocan la bomba. Y se debe operar la bomba de reserva que tambien puede fallar tambien.
		Falla en la bomba				
	4	tuberia de la linea en desague no tienen fluido y la bomba entra en cavitación, existe aire en el sistema, NPSH_d insuficiente, la bomba no esta cebada. obstrucción en la succión del codo de aspiración de la unidad en desague.	"si" el PIT-505, PIT-506, PIT 507 en la linea de la bomba no registran datos, se encienden las alarmas por baja presión, el control cierra automaticamente las valvulas en la succión y se cambia la operación a la bomba de reserva. O se elevará el requerimiento de carga exigiendo mas potencia en las bombas. si el desague esta en operación y el nivel de los codos no desciende, el apagado es inminente.			
	5	Falla mecanica de la bomba, el impulsor esta dañado, la carcaza esta rota, falla el sellado de la bomba, no hay buen acople entre ejes, el eje esta doblado o cojinetes en mal estado.	el impulsor se daña, y la vibración es alta debido a el desbalanceo, el ruido es alto por el contacto entre elementos y la velocidad disminuye, la temperatura de la carcaza aumenta, se desajusta el acople por la desalineacion en los ejes, los rodamientos se atascan haciendo que la maquina se detenga. se encienden las alarmas y entra a operar la bomba de reserva.			
	Falla el motor					
	B Transfiere flujo desde de los codos del tubo de aspiración a la descarga de la caverna de oscilación a una presión diferente de 0,51 a 0,91 bares en la succión y una presion diferente de 3,3 a 4,5 bares a la salida y un flujo menor a 180 L/S	1	El servicio electrico no es eficiente y la diferencia de tensión es esxcesiva luego la la velocidad es baja, la suciedad es alta y la lubricacion muy baja.	los indicadores de presión, detectan las presiones bajas y encienden las alarmas HH, o LL dependiendo si la presión es muy alta o muy baja en la succión y descarga. los interruptores de sobrecarga del motor se activan y apagan el motor. el motor no esta limpio y se requiere un lubricación inmediata.		
		Falla en la bomba				
2		Existe Aire en la carcasa de la bomba, fuga de agua en el prensaestopa. Se evidencia un esfuerzo mecanico en la bomba, existe corrosión externa en la carcaza de la bomba.	los PIT-506 y PIT-507, detectan las presiones bajas y altas act las alarmas HH, o LL dependiendo si la presión es mayor o menor en la succión y descarga. Se generan charcos en el piso; mal sellado, ruidos altos y vibraciones mayores. Puede evidenciarse desajuste en los pernos de anclajes y sujeción.			
3	Sellos y anillos del rodete dañados. Bajas RPM, linea de aspiración con fugas debido a corrosión en las tuberias y componentes, o daños en la bomba por errores operativos.	los PIT, activan las alarmas por diferencias en la presión. La cabeza de presión es mayor que la especificada. Se generan fugas en el sellado. Puede evidenciarse desajuste en los pernos de anclajes y sujeción a causa de la vibración. la eficiencia de la bomba no es la misma. hay un cambio de operación.				

TABLA A3.

		PLANILLA DE INFORMACIÓN RCM II ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (FMEA) PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)			HOJA N° 1	
SISTEMA: Sistema de Drenaje y Desagüe		TAG: BCD-(501, 502, 503)	REALIZADO POR: Sebastian Vacca	REVISADO POR: Carlos Borrás Pinilla.	ING.	
SUBSISTEMA: Bombas Sumergibles pozo Sentina		UBICACION: EL 133,92 msnm	COMPONENTE: REF. AMX 644-360/70G/C		FABRICANTE: HOMA	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA		
1	A	Falla el motor		No hay señal del motor encendido en el HMI y no se percibe rotación del eje del motor, las alarmas de señal de flujo y caudal se activan, el motor esta penetrado de agua.		
		1	No hay señal de control en el HMI del encendido del motor, no tiene suministro de energia electrica en los	los sensores de nivel detectan un porcentaje de volumen mayor del 60% , en el cual automaticamente entra en operación el sistema de bombas de respaldo.		
		2	Hay corto circuito dentro del motor.			
		3	falla mecanica en los componentes, bobinados del motor quemados, corrosión del set motor, rodamientos y sellos fallan, o eje doblado.	El motor se calienta y el relé de temperatura se activa, se generan ruidos, vibraciones, y las presiones en las Bridas disminuyen. Se activan las alarmas de presión y de humedad. Las diferencias de tensión se hacen evidentes, y el consumo de electricidad es Alto.		
		4	Motor no funciona por la penetración de agua dentro del conjunto, la corrosión y genera falla inmediata en el rotor y estator.	Se genera corto circuito en el tanque. Se eleva el nivel de agua mas de un 60% haciendo que el sistema de respaldo entre en operación, estos fallos, generan un complejo programa de mantenimiento por la ubicación del set bomba.		
	Falla en la bomba					
	5	las lineas de tuberia estan obstruidas, la bomba pierde fuerza, o el fluido se mezcla con aire, que provocan cavitación en la bomba o no esta Cebada. obstrucción en la succión por mal apertura de operación de valvulas.	"si" el sensor de nivel LIT-501 registra datos elevados o bajos en el control de volumen del tanque, se encienden las alarmas por alto o bajo nivel, siendo la exigencia de carga del motor alta. el control indica operar cierre automatico en las valvulas de la succión y se cambia la operación a las bombas disponibles de respaldo. para que satisfagan el aumento de nivel de agua en el tanque			
	6	Falla mecanica de la bomba, el impulsor esta dañado, la carcaza esta rota, falla el sellado de la bomba, no hay buen acople entre ejes, el eje esta doblado o cojinetes en mal estado.	el impulsor se daña, y la vibración es alta debido a el desbalanceo, el ruido es alto por el contacto entre elementos y la velocidad disminuye, la temperatura de la carcaza aumenta, se desajusta el acople por la desalineacion en los ejes, los rodamientos se atascan haciendo que la maquina se detenga. se encienden las alarma de los sensores de nivel.			
	Falla el motor					
	B		1	El servicio eléctrico no es eficiente y la diferencia de tensión es excesiva luego la velocidad es baja, la suciedad es alta y su lubricación muy baja.	El sistema de control verifica con el LIT-501 una altura de 9m de nivel y activas las alarmas. los interruptores de sobrecarga del motor se activan y apagan el motor. el motor no esta limpio y se requiere un lubricación inmediata, el HMI cambia la operacion a bombas secundarias.	
		2	el motor gira a unas rpm bajas, el bobinado se recalienta, y el ruido aumenta, los consumos de corriente son altos y los interruptores de corriente se activan.	la viscosidad del fluido es alta, el flujo viene con particulas de sedimento que hacen que la bomba se esfuerze para bombearlos, la descarga se atasca y produce una elevación en el tanque que hace que los sensores de nivel se activen. generando un cambio en la operación a la bomba de reserva.		
		Falla en la bomba				
		3	Aire en la carcasa de la bomba, agua penetra el prensaestopa. Y Se evidencia un esfuerzo mecanico en el rodete, corrosión que debilita los elementos de la bomba.	el sensor de nivel detecta maxima altura en el tanque, el sistema de velocidad de nivel activa las alarmas HH, o LL dependiendo si el nivel esta por encima del 60% o un nivel de agua muy bajo. se visualizan burbujas en el pozo. y los ruidos y vibraciones en el tanque son altos. hay desajuste en los pernos y anclajes de sujeción.		
		4	Sellos y anillos del impulsor dañados. Bajas RPM. El rodete exede esfuerzos. Filtro del pozo obstruido, Corrosión en los accesorios y componentes, sedimentos obstruye la bomba	El LIT-501, activan las alarmas por alto nivel de agua en los tanques. La cabeza de presión es mayor que la especificada. Se generan infiltraciones por daños en el sellado. se desajustan los pernos de anclajes a causa de la vibración. la eficiencia de la bomba no es la misma. hay un cambio de operación.		

TABLA A4

		PLANILLA DE INFORMACIÓN RCM II ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (FMEA) PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)			HOJA N° 1		
SISTEMA: Sistema de Drenaje y Desagüe		TAG: BCPS-501		REALIZADO POR: Sebastian Vacca		REVISADO POR: ING. Carlos Borrás Pinilla.	
SUBSISTEMA: Bombas Sumergibles pozo Sentina		UBICACION: EL 133,92 msnm		COMPONENTE: REF. AMX 334-193/5,5T/C		FABRICANTE: HOMA	
FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA		EFECTO DE LA FALLA			
1	A Incapaz de transferir agua desde el pozo Seco hasta El pozo de sentina	Falla el motor 1 No hay señal de control de operación en el HMI del encendido del motor, no tiene suministro de energia electrica en los interruptores. Hay corto circuito dentro del motor.		No hay señal del motor encendido en el HMI y no se percibe rotación del eje del motor, las alarmas de señal de flujo y caudal se activan, el motor esta penetrado de agua, y los sensores de nivel alto de en el tanque de sentina, en el cual automaticamente entra en operacón el sistema de bombas de resplado.			
		Falla en la bomba					
		2 Falla mecanica de la bomba, el impulsor esta dañado, la carcaza esta rota, falla el sellado de la bomba, no hay buen acople entre ejes, el eje esta doblado o cojinetes en mal estado.		El motor se calienta y el relé de temperatura se activa, se generan ruidos, vibraciones, y las presiones en las Bridas disminuyen. Se activan las alarmas de presión y de humedad. Las diferencias de tensión se hacen evidentes, y el consumo de electricidad es Alto.			
				Se genera corto circuito en la bomba. Se eleva el nivel de agua a una altura mayor de 0,25m . Y se enciende la alarma del sensor de nivel de pozo seco LIT-502			
		Falla el motor					
1	B Transfiere flujo, pero a una presion diferente de descarga de 0,5 bares a 0,91 bares y a una altura menor de 10,5 m.c.a.	4 el motor gira a unas rpm bajas, el bobinado se recalienta, y el ruido aumenta, los consumos de corriente son altos y los interruptores de corriente se activan.		la viscosidad del fluido es alta, el flujo viene con particulas de sedimento que hacen que la bomba se esfuerze para bombearlos, la descarga se atasca y produce una elevación en el pozo seco que hace que los sensores de nivel se activen. generando una alerta en el control HMI			
		Falla en la bomba					
		5 Sellos y anillos del impulsor dañados. Bajas RPM. El rodete exede esfuerzos. Filtro del pozo obstruido, Corrosión en los accesorios y componentes, sedimentos obstruye la bomba		El LIT-502, activan las alarmas por alto "133.07" nivel de agua en el pozo seco. La cabeza de presión es mayor que la especificada. Se generan infiltraciones por daños en el sellado. se desajustan los pernos de anclajes a causa de la vibración.la eficiencia de la bomba no es la misma.			

ANEXO B. DIAGRAMAS DE DECISION PARA TODOS LOS EQUIPOS ROTATIVOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DRENAJE Y DESAGÜE DE LA CENTRAL.

TABLA B1.

REFERENCIA DE INFORMACION			CONSECUENCIA DE LA EVALUACION				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION DE DEFAULT			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser Realizado por
										H4	H5	S4			
F	FF	FM	H	S	E	O									
1	A	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.	Semestral	Frente Eléctrico.
1	A	2	Y	N	N	Y	Y						Tarea " A condición" inspeccionar ruidos y vibraciones en el motor, por medio de los instrumentos adecuados, de ser así, cambiar los elementos en falla y engrasar nuevamente.	semestral	Frente Eléctrico.
1	A	3	Y	N	N	Y	Y						Tarea " A condición" revisar el activo, y verificar si hay daños en su estructura, o unas condiciones anormales; humedad, exceso de polvo, y hacer una limpieza y lubricación adecuada.	quincenal	Frente operario Mecánico.
1	A	4	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y		"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.	_____	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	5	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N		Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.	Semestral	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	B	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" verificar las conexiones hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuad cada 5000 horas de servicio.	semestral	Frente operario Mecánico.
1	B	2	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de sellos y limpieza de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y fugas del fluido, que hagan perder la capacidad.	semestral	Frente operario Mecánico.
1	B	3	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.	bianual	Frente operario Mecánico.



SISTEMA: Sistema de enfriamiento	Tag: BCAC-X01 Y BCAC-X02	Facilitador:	Fecha:	N° De Hoja
SUB - SISTEMA: C.C de agua tratada.	Ubicación: EL 143,40 msnm	Auditor:	Fecha:	De:

TABLA B2.

REFERENCIA DE INFORMACION			CONSECUENCIA DE LA EVALUACION				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION DE DEFAULT			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser Realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
1	A	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.	Semestral	Frente Eléctrico.
1	A	2	Y	N	N	Y	Y						Tarea " A condición" inspeccionar ruidos y vibraciones en el motor, por medio de los instrumentos adecuados, de ser así, cambiar los elementos en falla y engrasar nuevamente.	semestral	Frente Eléctrico.
1	A	3	Y	N	N	Y	N	N	N				Mantenimiento no programado: Se requiere de un vaciado del pozo de inmediato, para ubicar las bombas y reestablecerlas, además una verificación de todo los elementos dañados como juntas y sellos de las máquinas.	_____	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	4	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y		"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.	_____	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	5	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N		Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, Acople de ejes y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.	Semestral	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	B	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" verificar las conexiones del panel operador hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuada cada 5000 horas de servicio.	semestral	Frente operario Mecánico.
1	B	2	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio y limpieza de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y fugas del fluido, que hagan perder la capacidad.	mensual	Frente operario Mecánico.
1	B	3	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.	bianual	Frente operario Mecánico.

TABLA B3.

REFERENCIA DE INFORMACION			CONSECUENCIA DE LA EVALUACION				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION DE DEFAULT			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser Realizado por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
1	A	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.	Semestral	Frente Eléctrico.
1	A	2	Y	N	N	Y	Y						Tarea " A condición" Su Condición es bajo el agua se deben inspeccionar las vibraciones y humedad en el motor, cambiar elementos en falla y eliminar corrosión y engrasar nuevamente.	semestral	Frente Eléctrico.
1	A	3	Y	N	N	Y	N	N	N				Mantenimiento no programado: Se requiere de un vaciado del pozo de inmediato, para ubicar las bombas y reestablecerlas, reparar todo el conjunto eléctrico y que sufre fallas debido cortos circuitos generados.	_____	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	4	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y		"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.	_____	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	5	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N		Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, Acople de ejes y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.	Semestral	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	B	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" verificar las conexiones del panel operador hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuada cada 5000 horas de servicio.	anual	Frente operario Mecánico.
1	B	2	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" Revisar la viscosidad del fluido, y observar que no existan sedimentos en la brida de succión, verificar la existencia de objetos extraños en las tuberías de descarga.	semestral	Frente operario Mecánico.
1	B	2	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y las partes de la bomba estén en nivel de corrosión.	mensual	Frente operario Mecánico.
1	B	3	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.	bianual	Frente operario Mecánico.

TABLA B4.

REFERENCIA DE INFORMACION			CONSECUENCIA DE LA EVALUACION				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION DE DEFAULT			TAREA PROPUESTA	Intervalo Inicial	Puede ser Realizado por
1	A	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.	Semestral	Frente Eléctrico.
1	A	2	Y	N	N	Y	Y						Tarea " A condición" Su Condición es bajo el agua se deben inspeccionar las vibraciones y humedad en el motor, cambiar elementos en falla y eliminar corrosión y engrasar nuevamente.	semestral	Frente Eléctrico.
1	A	3	Y	N	N	Y	N	N	N				Mantenimiento no programado: Se requiere de un vaciado del pozo de inmediato, para ubicar las bombas y reestablecerlas, reparar todo el conjunto eléctrico y que sufre fallas debido cortos circuitos generados.	_____	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	4	Y	N	N	Y	N	N	N	N	Y		"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.	_____	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	A	5	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N		Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, Acople de ejes y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.	Semestral	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.
1	B	1	Y	N	N	Y							Tarea " A condición" verificar las conexiones del panel operador hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuada cada 5000 horas de servicio.	Semestral	Frente operario Mecánico.
1	B	2	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y las partes de la bomba estén en nivel de corrosión.	mensual	Frente operario Mecánico.
1	B	3	Y	N	N	Y	N	Y					Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.	bianual	Frente operario Mecánico.

ANEXO C. PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II

TABLA C1.


Tarea de mantenimiento.	Dpto. Así.	H/H	quincenal	mensual	Meses			Bianual.
					3	6	12	
					<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>Sistema: S. enfriamiento. Subsistema: C. agua tratada Tag: BCAC - 101</p> </div> </div>			
<p>Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.</p>	Frente Eléctrico							
<p>Tarea " A condición" inspeccionar ruidos y vibraciones en el motor, por medio de los instrumentos adecuados, de ser así, cambiar los elementos en falla y engrasar nuevamente.</p>	Frente Eléctrico							
<p>Tarea " A condición" revisar el activo, y verificar si hay daños en su estructura, o unas condiciones anormales; humedad, exceso de polvo, y hacer una limpieza y lubricación adecuada.</p>	Frente Operario Mecánico.							
<p>"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.</p>	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
<p>Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.</p>	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
<p>Tarea " A condición" verificar las conexiones hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuad cada 5000 horas de servicio.</p>	Frente operario Mecánico.							
<p>Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de sellos y limpieza de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y fugas del fluido, que hagan perder la capacidad.</p>	Frente operario Mecánico.							

TABLA C2.



Tarea de mantenimiento.	Dpto. Así.	H/H	quincenal	mensual	Meses			Bianual.
					3	6	12	
					<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II</p> <p>PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)</p> </div> <div style="text-align: right; font-size: small;"> <p>Sistema: S. enfriamiento.</p> <p>Subsistema: C. agua tratada</p> <p>Tag: BCDS - 501 y BCDS-502</p> </div> </div>			
<p>Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.</p>	Frente Eléctrico							
<p>Tarea " A condición" inspeccionar ruidos y vibraciones en el motor, por medio de los instrumentos adecuados, de ser así, cambiar los elementos en falla y engrasar nuevamente.</p>	Frente Eléctrico							
<p>Mantenimiento no programado: Se requiere de un vaciado del pozo de inmediato, para ubicar las bombas y reestablecerlas, además una verificación de todo los elementos dañados como juntas y sellos de las máquinas.</p>	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
<p>"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.</p>	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
<p>Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, Acople de ejes y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.</p>	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
<p>Tarea " A condición" verificar las conexiones del panel operador hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuada cada 5000 horas de servicio.</p>	Frente operario Mecánico.							
<p>Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio y limpieza de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y fugas del fluido, que hagan perder la capacidad.</p>	Frente operario Mecánico.							
<p>Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.</p>	Frente operario Mecánico.							

TABLA C3.

Tarea de mantenimiento.	Dpto. Así.	H/H	quincenal	mensual	Meses			Bianual.
					3	6	12	
Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.	Frente Eléctrico							
Tarea " A condición" Su Condición es bajo el agua se deben inspeccionar las vibraciones y humedad en el motor, cambiar elementos en falla y eliminar corrosión y engrasar nuevamente.	Frente Eléctrico							
Mantenimiento no programado: Se requiere de un vaciado del pozo de inmediato, para ubicar las bombas y reestablecerlas, reparar todo el conjunto eléctrico y que sufre fallas debido cortos circuitos generados.	_____							
"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.	_____							
Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, Acople de ejes y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
Tarea " A condición" verificar las conexiones del panel operador hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuada cada 5000 horas de servicio.	Frente operario Mecánico.							
Tarea " A condición" Revisar la viscosidad del fluido, y observar que no existan sedimentos en la brida de succión, verificar la existencia de objetos extraños en las tuberías de descarga.	Frente operario Mecánico.							
Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y las partes de la bomba estén en nivel de corrosión.	Frente operario Mecánico.							
Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.	Frente operario Mecánico.							

TABLA C4.

Tarea de mantenimiento.	Dpto. Así.	H/H	quincenal	mensual	Meses			Bianual.
					3	6	12	
					<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO (AREA DE MANTENIMIENTO)</p> </div> <div style="text-align: right; font-size: small;"> <p>Sistema: S. Drenaje y Desagüe Subsistema: Drenaje De pozo seco. Tag: BCPS-501</p> </div> </div>			
<p>Tarea " A condición" Verificar las conexiones de alimentación al sistema de control y que van a el motor, limpiar o cambiar los conectores, y revisar el sistema de comunicación profibus.</p>	Frente Eléctrico							
<p>Tarea " A condición" inspeccionar ruidos y vibraciones en el motor, por medio de los instrumentos adecuados, de ser así, cambiar los elementos en falla y engrasar nuevamente.</p>	Frente Eléctrico							
<p>Mantenimiento no programado: Se requiere de un vaciado del pozo de inmediato, para ubicar las bombas y reestablecerlas, reparar todo el conjunto eléctrico y que sufre fallas debido cortos circuitos generados.</p>	_____							
<p>"El rediseño es obligatorio" se debe adecuar la fricción del fluido con la tubería y la viscosidad del mismo. Reajustar el hermetismo de las uniones, y la funcionalidad de las válvulas y accesorios.</p>	_____							
<p>Mantenimiento no programado: Se requiere de un cambio inmediato a los elementos en falla, Acople de ejes y pruebas de funcionamiento que se ven afectados además de un chequeo minucioso de corrosión o desgaste.</p>	Mantenimiento especializado para equipos rotativos.							
<p>Tarea " A condición" verificar las conexiones del panel operador hacia el motor, hacer una limpieza en los elementos y una lubricación adecuada cada 5000 horas de servicio.</p>	Frente operario Mecánico.							
<p>Restauración programada: se ejecuta un programa de cambio de empaquetaduras cuando se evidencian fallas y las partes de la bomba estén en nivel de corrosión.</p>	Frente operario Mecánico.							
<p>Restauración programada: se planea un cambio de elementos desgastados y se verifica la existencia de corrosión que se pueda evitar, aplicándose una limpieza superficial a las áreas.</p>	Frente operario Mecánico.							

ANEXO D. FICHAS TECNICAS. AMX644-360 “Bomba Centrifuga pozo Sentina”



Technical Data AMX644-360/70G/C

Operating data				
Flow	90	l/s	Head	36 m
Shaft power P2	48,5	kW	Static head	0 m
Pump efficiency	71,8	%	Required pump NPSH	3,7 m
Pumpe type	Single pump		No. of pumps	1
Fluid	Water, clean		Temperature	293 K
Density	998,3	kg/m ³	Kin. viscosity	1,005 mm ² /s

Pump				
Pump Code	AMX644-360/70G/C		Speed	1750 1/min
Suction port			Head	Max. 70,2 m
Discharge port	6" ANSI			Min. 17,0 m
Impeller type	Single channel impeller		Flow	Max. 152,8 l/s
Solid size	100	mm	Pump efficiency max.	72,3 %
Impeller Ø	367	mm	Required rated power max. P2	49,9 kW

Motor				
Motor design	Submersible motor		Insulation class	H
Motor name	AM303.75G/4/3		Degree of protection	IP 68
Frequency	60	Hz	Temperature class	T3C
Rated power P1	56,1	kW	Ex	
Rated power P2	52,2	kW	Explosion protection	
Rated speed	1750	1/min	Efficiency at % rated power	100% 93 %
Rated voltage	230	/ 460 V 3~		75% 91 %
Rated current	162,0	/ 81 A		50% 91 %
Starting current, direct starting	1038,8	/ 519 A	cos phi at % rated power	100% 0,87
Starting current, star-delta	345,6	A		75% 0,75
Starting mode	Directly			50% 0,64
Power cable	2 x 4G16		Control cable	7G1,5
Type of power cable	H07RN-F PLUS		Type of control cable	H07RN-F
Cable length	10 m		Service factor	1,15
Shaft seal	Mechanical seal on motor side		SiC / SiC	
	Mechanical seal on medium side		SiC / SiC	
Bearing	Lower Bearing		Two angular ball bearings	
	Upper Bearing		Deep Groove Ball Bearing	
Remarks				

Materials / Weight			
Motor housing	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B	Bolts	AISI 304 Stainless Steel
Pump housing	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B	Elastomeres	Nitrile Rubber
Impeller	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B		
Wear ring	Bronze ASTM B144		
Motor shaft	Stainless steel AISI 420		
Weight aggregat	On demand kg		

Project Hidrosogamoso	Project no.: 44241	Created by: Motz, Ralf	Page: 4	Date: 03.06.2011
--------------------------	-----------------------	---------------------------	------------	---------------------

2.0 - 29.01.2009 (Baud 165)

ANEXO E. FICHAS TECNICAS. AMX 334 “Bomba Centrifuga De Achique “



Technical Data AMX334-193/5,5T/C

Operating data				
Flow	20	l/s	Head	10,5 m
Shaft power P2	3,6	kW	Static head	0 m
Pump efficiency	63,2	%	Required pump NPSH	1,9 m
Pumpe type	Single pump		No. of pumps	1
Fluid	Water, clean		Temperature	293 K
Density	998,3	kg/m³	Kin. viscosity	1,005 mm²/s

Pump				
Pump Code	AMX334-193/5,5T/C		Speed	1750 1/min
Suction port			Head	Max. 19,5 m
Discharge port	3" ANSI			Min. 3,0 m
Impeller type	Single channel impeller		Flow	Max. 45,1 l/s
Solid size	80	mm	Pump efficiency max.	68 %
Impeller Ø	193	mm	Required rated power max. P2	4,1 kW

Motor				
Motor design	Submersible motor		Insulation class	H
Motor name	AM173.6,5T/4/3		Degree of protection	IP 68
Frequency	60	Hz	Temperature class	T3C
Rated power P1	4,8	kW	Ex	
Rated power P2	4,1	kW	Explosion protection	
Rated speed	1750	1/min	Efficiency at % rated power	100% 85 %
Rated voltage	460	V 3~		75% 87 %
Rated current	7,4	A		50% 86 %
Starting current, direct starting	30,5	A	cos phi at % rated power	100% 87,00
Starting current, star-delta	10,2	A		75% 0,84
Starting mode	Directly			50% 0,77
Power cable	10G1,5		Control cable	
Type of power cable	H07RN-F PLUS		Type of control cable	
Cable length	10 m		Service factor	1,15
Shaft seal	Mechanical seal on motor side		SiC / SiC	
	Mechanical seal on medium side		SiC / SiC	
Bearing	Lower Bearing		Double row angular ball bearing	
	Upper Bearing		Deep Groove Ball Bearing	
Remarks				

Materials / Weight			
Motor housing	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B	Bolts	AISI 304 Stainless Steel
Pump housing	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B	Elastomeres	Nitrile Rubber
Impeller	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B		
Wear ring	Bronze ASTM B144		
Motor shaft	AISI 430 F Stainless Steel		
Weight aggregat	95 kg		

Project Hidrosogamoso	Project no.: 44241	Created by: Motz, Ralf	Page: 12	Date: 03.06.2011
--------------------------	-----------------------	---------------------------	-------------	---------------------

2.0 - 29.01.2009 (Bald 168)

ANEXO F. FICHAS TECNICAS. HOMA - AKX 844-340 Bomba Pozo Seco“



Technical Data AKX844-340/161HU

Operating data				
Flow	180	l/s	Head	38,4 m
Shaft power P2	97,1	kW	Static head	0 m
Pump efficiency	74,1	%	Required pump NPSH	7,7 m
Pumpe type	Single pump		No. of pumps	1
Fluid	Water, clean		Temperature	20 °C
Density	0,9983	kg/dm³	Kin. viscosity	1,005 mm²/s

Pump				
Pump Code	AKX844-340/161HU		Speed	1770 1/min
Suction port			Head	Max. 64,5 m
Discharge port	8" ANSI			Min. 19,9 m
Impeller type	Multi channel impeller		Flow	Max. 270,3 l/s
Solid size	100	mm	Pump efficiency max.	74,4 %
Impeller Ø	340	mm	Required rated power max. P2	110,0 kW

Motor				
Motor design	Submersible motor		Insulation class	H
Motor name	AM376.175H/4/3		Degree of protection	IP 68
Frequency	60	Hz	Temperature class	T3C
Rated power P1	130,4	kW	Ex	
Rated power P2	120,0	kW	Explosion protection	
Rated speed	1770	1/min	Efficiency at % rated power	100% 92 %
Rated voltage	460	V 3~		75% %
Rated current	185,0	A		50% %
Starting current, direct starting	1258,0	A	cos phi at % rated power	100% 0,88
Starting current, star-delta	419,3	A		75% %
Starting mode	Directly			50% %
Power cable	2x4G25		Control cable	5G1,5
Type of power cable	H07RN-F PLUS		Type of control cable	H07RN-F
Cable length	10 m		Service factor	1,15
Shaft seal	Mechanical seal on motor side		SiC / SiC	
	Mechanical seal on medium side		SiC / SiC	
Bearing	Lower Bearing		Two angular ball bearings	
	Upper Bearing		Deep Groove Ball Bearing	
Remarks				

Materials / Weight			
Motor housing	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B	Bolts	AISI 304 Stainless Steel
Pump housing	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B	Elastomeres	Nitrile Rubber
Impeller	Cast Iron ASTM A48;Cl.40B	Motor jacket	Stainless steel
Wear ring	Bronze ASTM B144		
Motor shaft	Stainless steel AISI 420		
Weight aggregat	On demand kg		

Project	Project no.:	Created by:	Page: 4	Date: 03.06.2011
---------	--------------	-------------	---------	------------------

2.0.1 - 04.05.2011 (Build 7)

ANEXO G. FICHAS TECNICAS. VENUS1- 250.315

BOMBAS CIRCUITO ABIERTO Y CERRADO PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

1.2 Technical Data

Venus1 - 250.315		
MATERIAL	Pump casing	S.S. 1.4408
	Impeller	S.S. 1.4408
	Shaft	S.S. 1.4122
PUMP CHARACTERISTIC	Capacity	1044 m ³ /hr
	Medium	Fresh water
	Density medium	1000 kg/m ³
	Total head	48,6 mlc
	Speed	1780 rpm
	Power at duty point	157 kW
	Suction diameter	300 mm
	Discharge diameter	250 mm
	Rotation (facing driven end)	CW
	Weight	± 1700 kg

ANEXO H. FICHAS TECNICAS. VENUS1- 250.315

MOTOR. DE BOMBA CENTRIFUGA PARA S. DE EMFRIAMIENTO.



Squirrel Cage Induction Electric Motor

DATA SHEET

Standard	IEC 60034
Area	Safe Area
Type	DM1 315L-4
Poles	4 pole
Environment conditions	-20 °C to +40 °C, up to 1000 m above sea level
Frame size	315L
Material	Cast iron frame
Output at 60Hz	195, kW
Voltage	3 x 460VD 60Hz
Speed at 60Hz	1780 rpm
Current at 460V 60Hz	285 A
Power factor (cos fi)	0,91
Insulation class	F (155 °C)
Efficiency Class	IE1
Efficiency at 100% load	95,1 % (at 50Hz ≈ 60Hz)
Efficiency at 75% load	95, % (at 50Hz ≈ 60Hz)
Torque	947 Nm
Starting current [ratio]	5,4
Starting torque [ratio]	1,85
Breakdown torque [ratio]	2,7
Protection	IP55
Weight	1070, kg
Mounting	B3
Thermal protection	3x PTCs
Moment of inertia	3.678 kg.m ²

*This DataSheet has been issued for standard motor execution.
Technical data and the execution are subject to change without prior notice.*