



**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE DETERMINE EL VALOR ÓPTIMO DE  
TURNOS DE DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HUMANO TÉCNICO PARA LA  
EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN AES CHIVOR.**

**JULIAN ALBERTO PALACIO PUENTES**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA**

**2008**

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE DETERMINE EL VALOR ÓPTIMO DE  
TURNOS DE DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HUMANO TÉCNICO PARA LA  
EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN AES CHIVOR.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**JULIAN ALBERTO PALACIO PUENTES**

**DIRECTOR**

**INGENIERO EDWIN ALBERTO GARAVITO**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA**

**2008**

*A Dios, mi familia.  
A todas aquellas personas que  
Creyeron  
en mí y me apoyaron.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander por haberme abierto las puertas y acogerme en este proceso educativo. A Dios, a mi familia, a mi tío Jaime, a AES CHIVOR por la oportunidad que me dieron, al Profesor Edwing Garavito por su asesoría, y al pueblo Colombiano que con sus contribuciones hicieron realidad mi educación. Gracias a todos.

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE DETERMINE EL VALOR ÓPTIMO DE TURNOS DE DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HUMANO TÉCNICO PARA LA EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO EN AES CHIVOR\*.

**AUTOR:** JULIAN ALBERTO PALACIO PUENTES\*\*

**PALABRAS CLAVES:** CALCULO DE CAPACIDAD DE EJECUCION DE MANTENIMIENTO, PROGRAMACION LINEAL APLICADA AL MANTENIMIENTO.

### DESCRIPCIÓN:

Tradicionalmente el mantenimiento ha sido una función secundaria en las industrias, generalmente cuyos productos finales son difíciles de medir. Por esta razón, en algunas organizaciones se tiene la percepción que es más un gasto, y no una inversión en disponibilidad y confiabilidad de equipos.

Sólo hasta ahora al mantenimiento en Latinoamérica se le ha empezado a dar la importancia que tiene sobre la rentabilidad en las unidades de los negocios. Algunas compañías han reducido el tamaño del área de mantenimiento, han preferido dejar el manejo de toda esta área en manos de terceros. Subcontratar parte de sus actividades de soporte y concentrarse en los procesos de producción principal, han sido decisiones comunes en las organizaciones, sin embargo en el caso del mantenimiento, nacen interrogantes como ¿Cuál es el número óptimo de turnos de las diferentes especialidades a contratar para cumplir con la demanda de trabajos de mantenimiento a un costo mínimo?, ¿Qué método cuantitativo utilizar para presupuestar, y conocer previo a la asignación del contrato, el costo total por concepto de ejecución del mantenimiento?.

El presente trabajo de grado, pretende dar solución a este tipo de cuestionamientos utilizando una herramienta cuantitativa, basada en la programación lineal, que permita a la dirección de la empresa lograr una eficiente gestión de la capacidad de ejecución del mantenimiento y, realizar un mejor seguimiento del mismo. Además se busca mostrar la utilidad de este tipo de herramientas, y su aplicación a otros procesos dentro de la misma área, en concordancia con las nuevas estrategias de la compañía en cuanto a la eficacia y eficiencia en la ejecución de las tareas de mantenimiento.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, UIS, Ingeniería Industrial, Dirigido por Edwin Alberto Garavito

## SUMMARY

**TITLE:** DESIGN OF A MATHEMATICAL MODEL WHO DETERMINES THE IDEAL VALUE OF SHIFTS OF AVAILABILITY OF THE HUMAN TECHNICAL RESOURCE FOR THE EXECUTION OF THE MAINTENANCE IN AES CHIVOR\*.

**AUTHOR:** JULIAN ALBERTO PALACIO PUENTES\*\*

**KEY WORDS:** CALCULATE OF CAPACITY OF EXECUTION OF MAINTENANCE, LINEAR PROGRAMMING APPLIED TO THE MAINTENANCE.

### DESCRIPTION:

Traditionally the maintenance has been a secondary function in the industries, generally whose final products are difficult to measure. For this reason, in some organizations there is had the perception that is more an expense, and not an investment in availability and reliability of equipments.

Only till now to the maintenance in Latin America it has been started giving the importance that has on the profitability in the units of the business. Some companies have reduced the size of the area of maintenance; have preferred leaving the managing of all this area in hands of third. To subcontract part of his activities of support and to center in the processes of principal production, they have been common decisions in the organizations, nevertheless in case of the maintenance, are born questioning as, Which is the ideal number of shifts of the different specialities is there necessary to contract to expire with the demand of works of maintenance to a minimal cost?, what quantitative method to use for to glide and to know before the assignment of the contract, the total cost for concept of execution of the maintenance?.

The present work of degree, it tries to give solution to this type of questions using a quantitative tool, based on the linear programming, which allows the direction of the company to achieve an efficient management of the capacity of execution of the maintenance and, to realize a better follow-up of the same one. In addition one seeks to show the usefulness of this type of tools, and his application to other processes inside the same area, in conformity with the new strategies of the company as for the efficiency and efficiency in the execution of the tasks of maintenance.

---

\* Grade Work

\*\* Industrial's and Enterprises Studio's School, UIS, Industrial Engineering, Directed for Edwin Alberto Garavito

## TABLA DE CONTENIDO

1	TITULO Y MODALIDAD .....	XIII
1.1	Titulo.....	XIII
1.2	Modalidad .....	XIII
2	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	14
3	INTRODUCCIÓN.....	16
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
4.1	Justificación .....	22
5	ALCANCE.....	26
5.1	Limitaciones.....	26
6	OBJETIVOS .....	27
6.1	Objetivo general .....	27
6.2	Objetivos específicos.....	27
7	MARCO TEÓRICO .....	29
7.1	Fundamentos teóricos .....	29
7.1.1	Modelo de decisión.....	29
7.1.2	Tipos de Modelos .....	29
7.1.3	Programación lineal.....	30
7.2	Mantenimiento .....	31
7.3	Estrategias de mantenimiento .....	31
7.3.1	Mantenimiento preventivo. ....	31
7.3.2	Mantenimiento predictivo.....	32
7.3.3	Mantenimiento correctivo. ....	32
7.3.4	Mantenimiento de emergencia. ....	32
7.3.5	Pruebas e inspecciones. ....	33
7.3.6	Proyectos. ....	33
7.3.7	Mantenimiento General. ....	33
7.3.8	Mantenimiento “Overhaul”. ....	34

7.3.9	Plan maestro de mantenimiento (PMM).....	34
7.3.10	Reporte de equipo defectuoso (RED).....	34
7.3.11	Mantenimientos adicionales.....	35
7.4	Proceso de gestión de mantenimiento.....	35
7.4.1	Identificación y priorización de trabajos.....	35
7.4.2	Planeación de la capacidad de mantenimiento.....	35
7.4.3	Programación de trabajos.....	36
7.4.4	Ejecución.....	36
7.4.5	Cierre y actualización de trabajos.....	37
7.5	Estado del arte.....	37
8	METODOLOGIA.....	43
8.1	Búsqueda y análisis de la literatura recopilada.....	43
8.2	Descripción general del modelo.....	43
8.3	Definición de los parámetros del modelo.....	44
8.4	Construcción del modelo.....	48
8.5	Recolección de la información para alimentar el modelo.....	49
8.5.1	Plan maestro de mantenimiento (PMM).....	50
8.5.1.1	Mantenimiento preventivo.....	52
8.5.1.2	Mantenimiento predictivo.....	56
8.5.2	Mantenimiento correctivo.....	60
8.5.3	Proyectos.....	61
8.5.4	Mantenimiento adicional.....	62
8.5.5	Apoyo a otras áreas.....	64
8.5.6	Trabajos del taller industrial (TIN).....	65
8.5.7	Productividad de las empresas licitantes.....	66
8.5.8	Precios unitarios de hora hombre por especialidad técnica.....	70
8.5.9	Factores de actualización.....	72
8.6	Procesamiento de los datos en el modelo.....	73

8.6.1	GAMS.....	74
9	CONCLUSIONES.....	79
10	EVALUACIÓN AL CUMPLIMIENTO DEL ALCANCE Y OBJETIVOS PROPUESTOS. ....	81
11	BIBLIOGRAFIA.....	83

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Horas - hombre utilizadas en mantenimiento desde 1998 hasta 2006 .....	19
Tabla 2. Costo de los contratos de mantenimiento .....	20
Tabla 3. Nomenclatura de las estrategias de mantenimiento. ....	45
Tabla 4. Nomenclatura de las especialidades técnicas.....	46
Tabla 5. Cronológico de la recopilación de las tareas y actividades del PMM.....	51
Tabla 6. Demanda de horas – hombre por especialidad para el mantenimiento overhaul.	53
Tabla 7. Demanda de horas – hombre por especialidad para un mantenimiento general.	54
Tabla 8. Demanda total de horas – hombre para los cuatro mantenimientos general. ....	55
Tabla 9. Demanda de horas – hombre por especialidad para los cambios de agujas. ....	56
Tabla 10. Demanda de horas – hombre para el total de inspecciones programadas. ....	57
Tabla 11. Demanda promedio de horas – hombre para demás actividades preventivas...	59
Tabla 12. Demanda promedio de horas – hombre para mantenimientos correctivos. ....	61
Tabla 13. Demanda promedio de horas – hombre para la realización de proyectos. ....	62
Tabla 14. Demanda promedio de horas – hombre para mantenimientos adicionales. ....	63
Tabla 15. Demanda promedio de horas – hombre para apoyo a otras áreas. ....	64
Tabla 16. Demanda promedio de horas – hombre para trabajos del TIN programados. ...	65
Tabla 17. Demanda promedio de horas – hombre para servicios externos del TIN. ....	65
Tabla 18. Demanda promedio de horas – hombre para trabajos adicionales del TIN. ....	66
Tabla 19. Demanda promedio de horas de supervisión.....	66
Tabla 20. Matriz para la evaluación de la productividad de los contratistas. ....	68
Tabla 21. Demanda de turnos overhaul del subsistema banco de transformadores. ....	69
Tabla 22. Propuesta empresa licitante overhaul banco de transformadores. ....	69
Tabla 23. Listado de escenarios. ....	70
Tabla 24. Listado del costo de la hora hombre de las especialidades técnicas.....	71
Tabla 25. Factores de actualización para los escenarios de pruebas al modelo.....	73
Tabla 26. Bloques obligatorios en GAMS.....	75
Tabla 27. Bloques optativos en GAMS .....	75
Tabla 28. Resultados arrojados por GAMS para los 5 escenarios.....	79

## ANEXOS

ANEXO 1 Programa de mantenimiento 2008.....	87
ANEXO 2 Programa de mantenimiento 2007.....	91
ANEXO 3 Listado de tareas mantenimiento overhaul.....	95
ANEXO 4 Listado de tareas mantenimiento general.....	121
ANEXO 5 Listado de tareas cambio de agujas e inspecciones .....	138
ANEXO 6 Listado de actividades preventivas complementarias.....	140
ANEXO 7 Listado de equipos electromecánicos.....	142
ANEXO 8 Listado de equipos electrónicos.....	146
ANEXO 9 Listado de tareas taller industrial .....	148
Anexo 10 Fichero datos de entrada en GAMS.....	150
Anexo 11 Fichero de salida en GAMS .....	165

## **1 TITULO Y MODALIDAD**

### **1.1 Titulo**

Diseño de un modelo matemático que determine el valor óptimo de turnos de disponibilidad del recurso humano técnico para la ejecución del mantenimiento en AES CHIVOR.

### **1.2 Modalidad**

Practica empresarial en empresa grande.

## 2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA<sup>2</sup>

El proyecto CHIVOR; nace en el año de 1954, cuando un topógrafo, del Instituto del Fomento Eléctrico identificó un considerable desnivel, entre los ríos Bata y Lengupá ubicados al sur del departamento de Boyacá. Apartir de ese momento inicio el proceso de gestación técnica y financiera del proyecto. Las investigaciones de tipo hidrológico, topográfico y geológico, iniciaron en 1958, y fueron realizadas por empresas consultoras nacionales e internacionales, hasta culminar en un estudio de factibilidad presentado a consideración ante el Banco Mundial.

La central hidroeléctrica de CHIVOR, fue construida por Interconexión Eléctrica S.A. (ISA). Inicia con la edificación de la presa sobre el río Bata, en el sitio llamado la Esmeralda, de la que se derivan dos túneles parcialmente subterráneos, que desembocan en la casa de máquinas donde se encuentra ubicada la planta. Esta se divide en dos etapas: CHIVOR I (que inicia trabajos en 1970, se inaugura en 1977 y su costo fue de 200 millones de dólares) y CHIVOR II (que se empezó a construir en Junio de 1976, y se inauguró en 1982, con una inversión de 195 millones de dólares).

En 1995 la central es transferida de ISA a ISAGEN, en cumplimiento de la escisión contemplada en la nueva Ley Eléctrica, por solicitud del gobierno nacional. En 1996 la asamblea general de accionistas de ISAGEN, otorga un mandato para la venta de la empresa. Se crea en Santafé de Bogotá, CHIVOR S.A. E.S.P como una Sociedad Anónima de derecho privado, organizada en forma de empresa de servicios públicos. El 29 de diciembre del mismo año, GENER S.A. empresa chilena, se adjudicó el 99.9% de la central hidroeléctrica de CHIVOR.

En abril del 2000, GENER inicia la búsqueda de un inversionista estratégico, con el objetivo de seguir creciendo en Latinoamérica dentro del nuevo contexto de la industria.

---

<sup>2</sup> Información suministrada por AES CHIVOR, se encuentra publicada en [www.chvivornet.com.co](http://www.chvivornet.com.co).

The AES Corporation; adquirió el 61.1% del capital accionario de la empresa, posteriormente, se aprobó el cambio de nombre a AES GENER. Actualmente la participación de AES, en AES GENER, asciende al 98.5%.

AES CHIVOR es la cuarta empresa generadora de energía eléctrica más grande de Colombia. Es dueña de la tercera planta hidroeléctrica con mayor capacidad instalada 1000 MV/H. Se encuentra ubicada a 160 Km. al este de Bogotá sobre el río Bata. Las fuentes principales de agua del embalse son los ríos Somondoco y Garagoa, que confluyen en el río Bata. El volumen útil del embalse con el cual se garantiza disponibilidad para la generación, es de 582.34 millones de metros cúbicos de agua, equivalente a una energía almacenada de 1.08, 31 GW/H. AES CHIVOR Vende la energía eléctrica en el Mercado Spot de Energía mayorista. En el año 2006, generó el 11.4% del total de la energía consumida en el país.

Applied Energy Services (AES Corp.), es una compañía eléctrica líder a nivel mundial. Su misión es generar y suministrar energía eléctrica, segura, limpia y confiable, con el fin de satisfacer las necesidades mundiales, de un modo responsable con la sociedad y el medio ambiente. Los negocios de AES comprenden la generación, distribución y suministro a consumidores finales en 37 países, en los cinco continentes, con participación en 154 plantas y 17 distribuidoras. Fundada en 1981, y conformada por un equipo humano de 32000 personas, buscan trabajar bajo los principios de integridad, equidad, responsabilidad social y disfrute del trabajo.

### 3 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el mantenimiento ha sido una función secundaria en las industrias, generalmente cuyos productos finales son difíciles de medir. Por esta razón, en algunas organizaciones se tiene la percepción que es más un gasto, y no una inversión en disponibilidad y confiabilidad de equipos, y en asegurarse que las desviaciones de los valores meta de las características de producto tiendan a cero.

Sólo hasta ahora al mantenimiento en Latinoamérica se le ha empezado a dar la importancia que tiene sobre la rentabilidad en las unidades de los negocios. Algunas compañías han reducido el tamaño de sus organizaciones, incluyendo al personal del área de mantenimiento, han minimizado el nivel de existencias de refacciones y materiales (debido a sus costos de almacenamiento y demás asociados) y han preferido dejar el manejo de toda esta área en manos de terceros.

El mantenimiento en las grandes empresas, ha dejado de ser un costo separado de sus diferentes procesos, para integrarse y convertirse en una función de producción y de las estrategias corporativas, mejorando su estatus e integrándolo con los sistemas de información. Se logra entonces que en tiempo real se posean las herramientas y argumentos claros, para la toma de decisiones dentro del área acordes con las estrategias y políticas de la organización.

Crear alianzas estratégicas, subcontratando parte de sus actividades de soporte y concentrarse en los procesos de producción principal, han sido decisiones comunes en las organizaciones, sin embargo, hay contratos donde su planeación, evaluación, seguimiento y control son más complejos: este es el caso del contrato de mantenimiento en una central hidroeléctrica como AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P, donde el número de equipos de generación, periféricos de generación y simplemente periféricos, es amplio, así como que los tipos de mantenimientos y el número de actividades asociadas a ellos.

Es bajo estas circunstancias, donde en los últimos años, ejecutar el mantenimiento con proveedores externos, ha sido importante para la compañía. Las preguntas que se han generado en los directivos de AES CHIVOR, son: ¿Cuál es el número óptimo de personas de las diferentes especialidades ha contratar para cumplir con la demanda de trabajos de mantenimiento durante un periodo, de tal forma que el costo total sea mínimo?, ¿Qué método cuantitativo utilizar para presupuestar, y conocer previo a la asignación del contrato, el costo total de mantenimiento en un periodo, teniendo este valor como un dato más real del presupuesto que se debe asignar para esta área? y ¿Cómo realizar el seguimiento y control de las variables claves, que tienen una mayor incidencia sobre el costo global del contrato?.

El presente trabajo de grado, pretende dar solución a este tipo de cuestionamientos utilizando una herramienta cuantitativa, basada en la programación lineal, que permita a la dirección de la empresa lograr una eficiente gestión de la capacidad de ejecución del mantenimiento y, realizar un mejor seguimiento del mismo. Además se busca mostrar la utilidad de este tipo de herramientas, y su aplicación a otros procesos dentro de la misma área, en concordancia con las nuevas estrategias de la compañía en cuanto a la eficacia y eficiencia en la ejecución de las tareas de mantenimiento.

#### 4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El área de mantenimiento en AES CHIVOR, desde sus inicios, ha mostrado tener un buen desempeño en cuanto a diseño y ejecución de las tareas, asegurando la calidad y cumplimiento del alcance de las mismas.

En un principio el total del personal que integraba esta área, tenía contrato directo con la compañía, esto significaba que en ese momento se utilizará o no, el recurso humano, representaba un gasto. Esta utilización dependía del plan maestro de mantenimiento, de las actividades correctivas y de emergencia que se presentaran, y de los proyectos que se llevaran en curso. Sin embargo existía subutilización del recurso, pues el número de personas que se contrataron fue mayor, a las que se requerían para cumplir con la demanda de trabajo proyectada periodo a periodo.

Cuando la empresa pasó a pertenecer al sector privado, la compañía que la adquirió, tenía como prioridad llegar a un acuerdo económico con el mayor número de personas posibles para prescindir de ellas. Este acontecimiento, sumado con quienes progresivamente se pensionaban, redujo considerablemente el personal directo perteneciente al área. Bajo este escenario, la organización implementó como política delegar en terceros la ejecución de las tareas de mantenimiento. Presentándose entonces diferentes empresas que compiten por la asignación del contrato. Las labores de diseño, planeación, programación, supervisión y control de calidad de las tareas, siguen siendo realizadas por los supervisores e ingenieros que laboran directamente con la compañía.

A pesar de que se cambió la fuente de donde proviene el personal que realiza las labores de mantenimiento, la raíz del problema siguió siendo la misma: ¿Cuál es el número óptimo de turnos de disponibilidad de las especialidades técnicas que se deben contratar para cumplir con la demanda proyectada de trabajos de mantenimiento, durante determinado periodo de tiempo a un costo mínimo?, ¿Cuánto debe ser el presupuesto que periodo a periodo, se debe asignar al área por concepto de ejecución? y ¿Qué tipo

de controles se debe ejercer sobre las variables que mayor efecto ejercen sobre el costo global del contrato?

Estos interrogantes no se han solucionado por que no se tiene una metodología clara y cuantitativa, que proporcione el valor de las variables que se desean conocer y que ayude a evaluar las propuestas de las empresas licitantes, facilitando un cálculo, lo más exacto posible, del presupuesto a asignar.

La extensa lista de equipos, los diferentes tipos de mantenimiento que realiza la empresa, la variedad de actividades que hacen parte de cada uno de ellos, el número de especialidades con sus respectivos niveles de destreza, son claves en el grado de dificultad y en el tiempo requerido para realizar los cálculos que aseguren a la compañía, un proceso de gestión cuantitativo, que permita un mayor seguimiento y control de las variables que inciden significativamente en los costos a mantener.

Durante los últimos años, el comportamiento del requerimiento de horas hombre, proveniente de las dos fuentes disponibles, personal interno, y turnos contratados para ejecutar los diferentes tipos de mantenimiento, se pueden apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Horas - hombre utilizadas en mantenimiento desde 1998 hasta 2006

Periodo	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Personal Interno	33249	37633	45916	34485	34987	30908	31667	28934	28604
HH Contratadas	58783	81473	77924	54134	57889	68678	94271	94642	96543
Total horas	92032	119106	123840	88619	92876	99586	125938	123572	125147

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia

Los costos finales, relacionados con este consumo de horas – hombre, desde el año 2000 hasta el 2006 se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Costo de los contratos de mantenimiento

Periodo	Total pagado
2000	1.029.215.960
2001	899.384.018
2002	950.777.497
2003	1.151.244.609
2004	1.336.328.236
2005	1.554.279.996
2006	1.787.421.995

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá – Colombia. Valores en pesos.

La magnitud del contrato de mantenimiento, como se observa en la tabla anterior, es considerable. El incremento promedio de su valor año a año, ha sido del 14,8%, excepto en el año 2001 cuando bajó con respecto al año anterior.

En la actualidad el proceso que se realiza para la elección del proveedor y asignación del presupuesto de mantenimiento, es el siguiente:

1. Se entrega a cada una de las empresas licitantes, el listado de las actividades que hacen parte de todos y cada uno de los tipos de mantenimiento: general, "Overhaul", intervenciones menores, adicionales, taller industrial, periféricos electromecánicos y periféricos electrónicos. En algunos casos a petición de los contratistas, se suministra el listado de los equipos que serán intervenidos.
2. Las empresas entregan a la compañía, el costo de las actividades enlistadas en el punto anterior, aclarando el valor de hora hombre de cada uno de los oficios y sus respectivos niveles de destreza.
3. AES CHIVOR analiza las ofertas, entra en negociación en forma individual con cada una de las empresas, buscando el mejor precio por actividad, y finalmente escogen a quien proporcione el mayor número de actividades al menor costo

La compañía reconoce que este procedimiento es incompleto y estático: primero, por que no muestra la relación de horas hombre por oficio y nivel de destreza que serán utilizadas en la ejecución de cada actividad. Debido esto, es difícil al momento de la negociación, tener claro en que especialidades con su respectivo nivel de destreza es importante lograr una disminución en el costo de su turno, o en su consumo, de manera que se logre un efecto positivo general sobre el valor del contrato y no simplemente como se hace hoy, una ganancia en actividades puntuales, donde necesariamente, estas no son las más frecuentes dentro del plan de mantenimiento de la empresa. En segundo lugar, no se tiene en cuenta las diferencias que entre las empresas licitantes, en cuanto a la productividad al momento de ejecutar los trabajos, y la incidencia de este factor en el costo global del contrato. Dependiendo de la variabilidad que se pueda presentar en esa productividad, una empresa puede consumir más turnos, o niveles de oficio más altos que otra para realizar una misma actividad. AES CHIVOR reconoce, que una de sus falencias, es no poseer un estándar establecido, de la duración de las tareas y los niveles de los oficios necesarios para su ejecución en condiciones normales. En términos generales, no existe una planeación de la capacidad del recurso humano necesario para cumplir con la demanda de las labores de mantenimiento de la empresa.

La inexistencia de políticas que direccionen los factores más importantes que inciden en la capacidad de ejecución del mantenimiento, ha dificultado el proceso de evaluación de las propuestas de las empresas licitantes y la elaboración de un presupuesto para el área, más cercano a la realidad. Es necesario el establecimiento de una metodología objetiva, apoyada en una herramienta que facilite realizar cálculos y la creación de escenarios de negociación, que minimicen el costo global de ejecución y permita realizar un seguimiento y control a las variables que afectan de manera significativa, los costos de manteamiento en AES CHIVOR.

## 4.1 Justificación

Desde principios de la década de los noventa, las grandes y medianas empresas, independientemente de su naturaleza privada o pública, han venido utilizando la figura de subcontratación de diversas actividades, que aunque importantes no son lo que se conoce en el ámbito empresarial como la esencia de sus negocios.

En el año 2005, AES Corporation, creo el manual de aplicación de buenas prácticas para sus negocios de generación en Latinoamérica, el cual tiene como objetivo entregar una guía de procesos operacionales, directamente aplicables y en mejora continua, para lograr una operación confiable y una verdadera gestión de activos. Algunos de los puntos contenidos en este manual, se consideran mandatarios por parte de la compañía. Una práctica es asignada como mandatoria, cuando ésta constituye un estándar que se busca aplicar en todos los negocios de generación y distribución, si la práctica actualmente no es realizada por parte de alguna empresa, esta deberá buscar definir un programa de implementación, claramente establecido. Uno de los puntos mandatorios más importantes consignados en este manual, es la implementación consistente de una estrategia de mantenimiento de clase mundial, que equilibre una producción a bajo costo, con una alta confiabilidad de equipos. La estrategia adoptada por AES CHIVOR, se denomina RCM (Reliability Centred Maintenance) Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

RCM, es una metodología que tiene como objetivo principal, disminuir la probabilidad de ocurrencia de las posibles fallas en los subsistemas y equipos, de manera que se mejore la disponibilidad y confiabilidad de los mismos. El procedimiento consiste en tomar las unidades de generación, los subsistemas y equipos asociados a estas unidades, desglosarlos en las partes que los componen, y analizar los posibles modos de falla. El resultado final, es un determinado número de nuevas tareas con su respectivo instructivo, frecuencia de realización y los recursos necesarios para su ejecución tanto humanos como materiales. Se tiene programado que la implementación de esta estrategia durará alrededor de cinco años generando nuevas actividades, que deberán ser incluidas para el siguiente periodo, en la estrategia de mantenimiento preventivo.

Teniendo en cuenta las limitantes económicas para cumplir con las actividades del mantenimiento programado, la implementación de la estrategia RCM toma una mayor importancia, para gestionar la planeación de la capacidad de los recursos y conocer el nivel óptimo en que debe mantenerse el consumo de las principales variables que hacen parte de la ejecución del mantenimiento, tales como el recurso humano, las refacciones y los materiales, esto con el fin de asegurar que el costo total de mantenimiento sea mínimo. Este nivel óptimo de recursos repercutirá en si se ejecutan todas o solo una parte de las actividades adicionales proporcionadas por RCM, o si a nivel de ingeniería se tiene que reestructurar el alcance de alguna tarea de manera que cubra otra al mismo tiempo, convirtiéndose esto en un ciclo de mejoramiento continuo. El presente trabajo de grado, atacará el problema de determinar la capacidad óptima de mano de obra ha contratar para cumplir con la demanda de ejecución de los trabajos de mantención en el largo plazo (un año) en AES CHIVOR.

Alcanzar un proceso adecuado de planeación de la capacidad del recurso humano para la realización del mantenimiento, traerá como resultado evitar el aumento de los costos por una subutilización del recurso, y poner en riesgo la operación eficaz de la planta, al no tener un grupo de trabajo que responda a las necesidades.

La dirección del área de mantenimiento quiere tener también un mayor control sobre la forma como son absorbidos los costos de ejecución; es decir se planea que el mayor porcentaje de mano de obra, se invierta en el plan maestro, y se disminuyan en actividades de mantenimiento correctivo de emergencia, y demás que no sean programadas. Para lograr esto, se implementarán políticas concretas en lo concerniente al incremento o disminución de los límites, en cuanto a recursos consumidos en los tipos de actividades señaladas. Por ejemplo; las variables turnos de disponibilidad de oficio mecánico en sus diferentes niveles de destreza para la ejecución del plan maestro debido a los resultados arrojados por RCM, se incrementarán pero limitadamente.

Existe la necesidad para la empresa, de conocer previamente a la asignación del contrato de mantenimiento, un presupuesto real más exacto, antes de que empiece el periodo en evaluación; este costo se debe calcular teniendo en cuenta el cumplimiento con la demanda del plan maestro, los proyectos en curso y demás actividades no programadas, no simplemente asignar una partida de dinero, que toma como base el incremento promedio que se ha venido presentando en los periodos anteriores, el cual generalmente, es diferente al costo real que se da al final del periodo en cuestión.

En resumen, lo que existe es un problema de decisión, que con la programación lineal se aspira a determinar su curso de acción óptimo a través de un modelo matemático, que será función de las variables de decisión, y que permitirá la identificación y evaluación sistemática de todas las opciones del problema, escogiendo la mejor entre las disponibles, reconociendo las restricciones de recursos limitados.

Esta herramienta permitirá conocer previo a la asignación del contrato, el número óptimo de turnos de disponibilidad de las especialidades técnicas que se deben consumir para minimizar el valor total del contrato de mantenimiento. Estos datos facilitarán realizar el seguimiento y control a estas variables, y evaluar de manera constante la forma como es absorbido el costo calculado contra lo planeado. También proporcionará un valor más exacto del presupuesto que en cada periodo se debe asignar para la ejecución del mantenimiento, teniendo en cuenta la demanda de trabajo. La ventaja de la programación lineal radica en que permite abstraer el comportamiento de los principales factores que inciden en el consumo de la mano de obra, y llevarlo a un modelo de decisión que facilite realizar los cálculos que hasta el día de hoy han sido imposibles. Además, su utilización proyectada en el tiempo sería ilimitada, gracias a la flexibilidad y adaptabilidad que caracteriza esta herramienta.

El escenario planteado justifica la realización del presente trabajo de grado, ya que se busca optimizar un proceso, siendo esta labor uno de los aportes importantes que un Ingeniero Industrial puede hacer al interior de las organizaciones. Este trabajo permitirá aplicar y profundizar los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas que integran la carrera de Ingeniería Industrial, y explorar los aportes que desde esta disciplina pueden

realizarse al área de Mantenimiento Industrial, usualmente gestionada por otras Ingenierías, en especial la Mecánica y Eléctrica.

Existen otras razones adicionales, por ejemplo; el manual de aplicación de buenas prácticas, en otro de sus puntos mandatorios recalca la importancia de tener claramente establecido y estandarizado, un plan de evaluación y selección del contratista de mantenimiento, describiendo cuales son las pautas tenidas en cuenta para tomar la decisión. Al mismo tiempo sugiere, la buena práctica de tener incentivos para desempeño óptimo, y penas para desempeño inadecuado o incumplimiento. Por otro lado AES CHIVOR pretende en el mediano plazo implementar la modalidad de contratos basados en desempeños, es decir, se quiere llevar al contratista a que tenga un mayor componente de direccionamiento y de gestión, que no solo se preocupe por la ejecución de las tareas, si no que al mismo tiempo, evalúe sus propios resultados, y dependiendo de éstos, tome mejores decisiones tanto de carácter técnico como económico, apoyadas en la madurez natural adquirida con la experiencia en la realización de los procesos de mantenimiento. Esto con el fin de que el contratista, apalanque los objetivos y metas propuestos por la empresa.

Para poder establecer un plan de incentivos, se debe tener claro exactamente, cuales son las variables que mayor incidencia tienen en el costo total del contrato, de manera que sean estas, las que el contratista deba gestionar mejor, y lograr llevarlas a los valores óptimos obtenidos con el modelo, los cuales implementaría la empresa como el objetivo a alcanzar para obtener la bonificación. Al finalizar el periodo en el que la empresa contratista realizó su gestión, tener estos parámetros facilitará su evaluación.

Los directivos del área, tienen interés en conocer el alcance de este tipo de herramientas para visualizar su posible utilización en otros procesos tanto determinísticos como probabilísticos.

## 5 ALCANCE

El alcance del presente trabajo de grado es el diseño de un modelo de decisión matemático, basado en la programación lineal, que calcule el nivel óptimo de turnos de disponibilidad a contratar de las diferentes variables de recurso humano calificado, para la ejecución técnica del mantenimiento en AES CHIVOR, cumpliendo con la demanda de trabajos proyectada sobre los equipos. Teniendo como objetivo minimizar el costo global de las actividades de mantención. Por otro lado, este modelo permitirá conocer el presupuesto que se debe asignar al área de mantenimiento por concepto de ejecución de trabajos.

### 5.1 Limitaciones

La limitación principal, es la recolección de la información necesaria para alimentar el modelo. Hace dos años la empresa adquirió un CMMS (Computer Management Maintenance System) para la gestión de activos, de él se extraerá el comportamiento del consumo de las especialidades técnicas en los mantenimientos correctivos y preventivos....

El requerimiento de oficios con sus respectivos niveles de destreza para cada actividad programada, es una información que se encuentra incompleta. Actualmente se están actualizando las guías para la ejecución de estas actividades de mantenimiento y en las mismas se incluye el recurso humano necesario, él cual se tomará como base para construir la demanda de mano de obra proyectada para el mantenimiento programado y esta información será la que a futuro alimente el modelo.

## 6 OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo general

Diseñar un modelo matemático que permita conocer el número óptimo, de turnos de disponibilidad a contratar de las diferentes especialidades técnicas, requeridos para ejecutar la carga de trabajos de mantenimiento pronosticada en los activos de la central hidroeléctrica de AES CHIVOR para cada año, logrando con esto minimizar el costo global de ejecución.

### 6.2 Objetivos específicos

6.2.1. Dar a conocer a la compañía la herramienta que permitirá calcular el número óptimo de turnos de disponibilidad de las especialidades técnicas, que se deben contratar año a año para el mantenimiento de la central.

6.2.2. Lograr que al utilizar la herramienta se estandarice el proceso de planeación de la capacidad del recurso humano para la realización de las actividades de mantenimiento en la empresa.

6.2.3. Poseer una herramienta que permita determinar el presupuesto, que para cada año se debe asignar al área de mantenimiento por concepto de ejecución de sus diferentes actividades de mantención.

6.2.4. Crear una herramienta que facilite la evaluación del efecto, en el cambio de las políticas acerca del uso del recurso humano técnico en las diferentes estrategias de mantenimiento.

6.2.5. Estandarizar la metodología para evaluar la productividad de las empresas licitantes.

6.2.6. Presentar a las directivas la utilidad de la Investigación de operaciones como herramienta para la optimización de procesos.

## 7 MARCO TEÓRICO

### 7.1 Fundamentos teóricos

El principal objetivo de la investigación de operaciones, es encontrar la decisión óptima dentro de un conjunto de posibles caminos a seguir teniendo en cuenta la restricción de recursos limitados. Se utilizan técnicas y algoritmos matemáticos para conceptualizar a través de un modelo las situaciones reales que implican analizar opciones y determinar una acción.

#### 7.1.1 Modelo de decisión<sup>3</sup>

Es una herramienta que sirve para representar oportunidades de decisión en un sistema teniendo en cuenta las principales variables que lo afectan, permitiendo identificar las opciones disponibles, y facilitando los cálculos necesarios para encontrar la decisión óptima. Los elementos básicos de un modelo son: las opciones de decisión, las restricciones de recursos limitados y el criterio objetivo de minimización o maximización, el cual es el que se aplica para comparar las opciones factibles y escoger la óptima. Este criterio, y las restricciones, se expresan en forma matemática como funciones de las variables de decisión. El criterio se convierte en una función objetivo y el modelo pasa a ser un modelo matemático.

#### 7.1.2 Tipos de Modelos

Dependiendo de la naturaleza de los datos que se dispongan para alimentar los modelos, estos se pueden dividir en dos clases: determinísticos y probabilísticos. En los primeros

---

<sup>3</sup> Hamdy A. Taha. Investigación de Operaciones. 5 Edición. 1995 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, México, D.F. Capítulos 1 y 2. Salih O. Duffuaa, A. Raouf, John Dixon Campbell. Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. 1 Edición. Limusa Wiley. Capítulos 5 y 6.

los parámetros del modelo son conocidos con certeza, y están bajo el control del tomador de decisiones, por el contrario en los probabilísticos o estocásticos, los datos presentan variaciones aleatorias, y su comportamiento debe ser pronosticado con el uso de distribuciones de probabilidad.

### **7.1.3 Programación lineal**

Es una de las principales técnicas de la investigación de operaciones. Se fundamenta en la construcción de modelos matemáticos para la solución de problemas de decisión. Los modelos generados por medio de esta herramienta son determinísticos, y la función objetivo y restricciones son lineales. Su utilidad consiste en determinar los valores óptimos de las variables de decisión, que optimizan un objetivo dado.

El factor que ha marcado el éxito de este método, es su facilidad para abstraer de la realidad diferentes situaciones industriales, económicas, de transporte etc. Y representarlas bajo un modelo matemático, teniendo en cuenta las principales variables que las afectan. Otra de las ventajas, es que permite realizar lo que se conoce como análisis de sensibilidad, es decir, se pueden hacer cambios a los parámetros de un modelo, y estudiar el comportamiento de la solución óptima. Esta cualidad le da un carácter dinámico a la programación lineal.

La creación de un modelo inicia generalmente identificando cuales son las variables del sistema que se quieren conocer con precisión, el siguiente paso, es reconocer las restricciones que tienen esas variables. Por último, teniendo en cuenta todo esto, se define cual es el objetivo que quiere alcanzarse.

El mayor enfoque que desde sus inicios se le ha dado a la programación lineal, ha sido resolver el problema de la asignación óptima de recursos y el problema de transporte. Sin embargo, a través del tiempo, su utilización se ha diversificado a un amplio número de situaciones y sectores industriales.

Un caso particular de la PL, es la programación lineal entera mixta (PLEM), que se caracteriza por que algunas de las variables toman valores enteros, como por ejemplo; valores binarios 0/1.

## **7.2 Mantenimiento<sup>4</sup>**

Son un grupo de actividades técnicas con un alcance definido, que son ejecutadas por el recurso humano calificado en los sistemas, subsistemas o equipos de producción. Tienen como objetivo mantenerlos en el mejor funcionamiento posible, o restablecerlos para que continúen en operación proporcionando el servicio con la calidad esperada. Al mismo tiempo se busca la preservación de los equipos.

## **7.3 Estrategias de mantenimiento**

### **7.3.1 Mantenimiento preventivo.**

Son las intervenciones realizadas sobre los equipos o sistemas con el fin de minimizar fallas potenciales, o la disminución en la calidad de su funcionamiento. Su principal característica, es que las tareas son planeadas y programadas con anterioridad. Este mantenimiento puede estar basado en las horas de funcionamiento, en el tiempo de vida de los equipos, en el uso al que son sometidos o por especificaciones técnicas de su fabricante. Las tareas que se planean realizar, tienen un alcance claro, su procedimiento

---

<sup>4</sup> Salih O. Duffuaa, A. Raouf, John Dixon Campbell. Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. 1 Edición. Limusa Wiley. Capitulo 1

Enrique Dounce Villanueva, Carlos López de León, Jorge Fernando Dounce Pérez Tagle. La Productividad en el Mantenimiento Industrial. Primera reimpression México, 1998: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. Capitulo 2

Manual de Aplicación de Buenas Prácticas, Negocios de Generación de AES en Latinoamérica. Actualización N° 4. Octubre de 2006.

de ejecución esta preestablecido, lo mismo que sus frecuencias y el recurso humano necesario y se pueden ejecutar con los equipos funcionando o fuera de servicio.

### **7.3.2 Mantenimiento predictivo.**

Es un tipo de mantenimiento preventivo. Esta conformado por actividades que tienen como objetivo, realizar un permanente diagnóstico, basándose en un análisis de las condiciones del equipo. Esta condición se define por inspecciones visuales o técnicas de monitoreo (análisis de vibración, de ultrasonidos, de aceites, de temperatura, etc.). Dependiendo de los resultados, se asigna la tarea a ejecutar, la cual puede estar incluida en el plan de mantenimiento preventivo, o inclusive se requiera la creación de una nueva.

### **7.3.3 Mantenimiento correctivo.**

Son los trabajos que se realizan cuando ya se ha presentado la falla funcional, los equipos han dejado de funcionar, o aunque continúen suministrando los productos para los que fueron diseñados, estos no resultan con la calidad esperada. La principal característica de este tipo de mantenimiento, es que no ha sido planeado y en ocasiones no se conoce el procedimiento de ejecución. Por esta razón, en los activos que se presentan pueden durar un tiempo considerable fuera de servicio.

### **7.3.4 Mantenimiento de emergencia.**

Son las actividades que tienen que ejecutarse de forma inmediata, la falla presentada puede sacar de servicio todo un sistema productivo, e incluso podría poner en riesgo la seguridad física del personal, o traer fuertes consecuencias ambientales. El consumo de recursos, tanto humano como de materiales es mayor en este tipo de mantenimiento, y generalmente requiere el aporte de diferentes disciplinas.

### **7.3.5 Pruebas e inspecciones.**

Son actividades que se realizan para evaluar la presencia de desviaciones en los equipos o sus funciones con respecto a las especificaciones. El objetivo es evitar la aparición de posibles fallas.

### **7.3.6 Proyectos.**

Son un conjunto de actividades que buscan el mejor desempeño de equipos o sistemas completos, se basan en el diseño de nuevas funciones o el rediseño de las existentes. Esta estrategia requiere una importante coordinación de los diferentes grupos de ingeniería y de los grupos ejecutores. La planeación del recurso humano es muy importante, la inversión requerida para la realización de los proyectos es alta y es necesario tener un control sobre los recursos.

### **7.3.7 Mantenimiento General.**

Para AES CHIVOR, es una intervención mayor que se ejecuta sobre las unidades de generación, con el fin de realizarles un examen completo y dejarlas en el mejor funcionamiento posible. Es un mantenimiento que exige una importante labor de planeación y programación, debido a la mayor coordinación de recursos necesarios para lograr su completa ejecución, y el control que requiere en cuanto a costos y tiempo de duración, el cual en promedio es de 25 días. Las tareas son definidas con anterioridad. El periodo de realización entre uno y otro de estos mantenimientos en un mismo sistema (unidad de generación) es entre 18 y 24 meses y requiere el paro de la unidad.

### **7.3.8 Mantenimiento “Overhaul”.**

La diferencia con el mantenimiento general radica en el alcance de las tareas, ya que en este es más completo el mantenimiento, por que se desarman completamente los subsistemas que conforman un sistema mayor, y se les realiza el respectivo mantenimiento. La planeación y programación es aún más compleja. Su duración promedio es de 2 meses y medio, y el tiempo entre un mantenimiento “overhaul” y otro en una misma unidad, es de 7 a 8 años.

### **7.3.9 Plan maestro de mantenimiento (PMM).**

Es el listado de las estrategias de mantenimiento que se programan realizar por parte de la empresa, con sus respectivas tareas en un horizonte de tiempo definido (generalmente un año), incluyendo las frecuencias y las unidades de generación en que debe ejecutarse. El PMM, esta enfocado a la prevención de fallas, se basa en la información histórica operacional y de mantenimiento, en las condiciones de los equipos, el análisis de RCM, las recomendaciones del fabricante y toda la información relevante que permita tomar las decisiones adecuadas.

### **7.3.10 Reporte de equipo defectuoso (RED).**

Proviene de la inspección que semanalmente realizan los operadores de la central, si encuentran una falla de tipo funcional en algún equipo, estos la reportan al área de mantenimiento. Quienes le asignan una priorización al trabajo, lo planean y programan su ejecución.

### **7.3.11 Mantenimientos adicionales.**

Son actividades que no hacen parte del plan maestro, y están dirigidas a equipos que no hacen parte del sistema de producción principal, pero que sin embargo, es importante mantenerlos en el mejor estado posible y funcionando correctamente. Un ejemplo es el mantenimiento a edificaciones, sistemas contra incendios, calefacciones etc.

## **7.4 Proceso de gestión de mantenimiento**

Las principales actividades que definen la existencia de una gestión en el proceso de mantenimiento y salidas programadas, y que deben ser desarrolladas en los negocios de generación de AES son las siguientes.

### **7.4.1 Identificación y priorización de trabajos.**

Consiste en tener clara las fuentes que identifican y demandan el trabajo a realizar. De forma general, se tienen el mantenimiento programado y no programado como las dos fuentes principales. La priorización es un proceso que asigna el orden en que son realizados los trabajos que llegan al sistema productivo, esta prioridad la debe dar la planta y su forma de funcionamiento, y esta basada en la importancia y el nivel de urgencia que requiere dicho trabajo.

### **7.4.2 Planeación de la capacidad de mantenimiento.**

Consiste en determinar y preparar los recursos necesarios, para cumplir con los pronósticos de la demanda de trabajos. El listado de insumos incluye: la mano de obra, los materiales, las herramientas, la información técnica, las asesorías, las refacciones etc. Los mayores esfuerzos se encaminan a la planeación de la cantidad de trabajadores con sus diferentes habilidades, las refacciones y el número de ellas que se deben mantener

en inventario. Esto debido a que una inadecuada planeación de estos recursos, incrementarían sus costos asociados, al mismo tiempo que por la falta de ellos, se podría comprometer la confiabilidad y disponibilidad del sistema de producción.

La planeación de la capacidad de recursos se divide en tres tiempos, la que se debe realizar en el corto plazo en un tiempo no superior a 15 días, en el mediano plazo, ósea no superior a tres meses y la del largo plazo es la que se hace mínimo por un año, siendo esta la de mayor dificultad, debido a la naturaleza aleatoria de la demanda de mantenimiento, y a el levantamiento de la información que se requiere para lograr un acertado proceso de planeación.

#### **7.4.3 Programación de trabajos.**

Es la labor de asignar una fecha exacta de inicio y una estimación de la fecha programada de término a las tareas que se tienen planeadas realizar. Lo importante de la programación, es asegurar la disponibilidad de los recursos para la completa ejecución de las actividades antes de la fecha programada de inicio.

#### **7.4.4 Ejecución.**

Es la realización de la tarea programada, este proceso va acompañado de una orden de trabajo donde esta definido el alcance de la actividad, donde se señala la mano de obra, los repuestos y materiales necesarios. Se adicionan los instructivos e información técnica que se requiere para asegurar la calidad de la ejecución. Es en este paso del proceso, donde se evidencian fácilmente las falencias en la planeación de la capacidad y la programación.

#### **7.4.5 Cierre y actualización de trabajos.**

En este proceso se consigna en el CMMS, toda la información recolectada en la orden de trabajo de la tarea realizada, esto con el fin de crear el historial de las actividades ejecutadas sobre los equipos, y mantener una retroalimentación, que brinde las bases para una mejor toma de decisiones en cuanto a planeación de trabajos futuros.

### **7.5 Estado del arte**

La literatura en el área de dirección e ingeniería de mantenimiento es escasa, aún más la relacionada con la aplicación de la programación lineal en algunos de sus procesos, básicamente por que esta área siempre ha manejado un bajo perfil en las industrias. En el pasado, no se encontraba la importancia de coordinar la estrategia corporativa y la del área de producción con el mantenimiento, sin embargo, el crecimiento en el grado de desarrollo de las industrias, incrementó también las necesidades de mantenimiento de sus sistemas productivos ya sean de bienes o servicios. Esto trajo como consecuencia, la necesidad de aplicar unas mejores prácticas en los procesos que conforman los sistemas de mantenimiento, así como la planeación de recursos, la programación de las tareas, control de calidad y en general todo lo relacionado con esta área.

El Dr. Salih O. Duffuaa, el Dr. Abdul Raouf y John Dixon Campbell, en el año de 1999 crean la obra *Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control*, en la cual, el aporte más significativo se encuentra en la utilización de la programación lineal, en procesos de planeación de capacidad de recursos y la programación de tareas para un determinado periodo, teniendo en cuenta los recursos disponibles y el programa de mantenimiento.

Esta obra es de las primeras en mostrar la utilización de métodos cuantitativos exactos, como herramienta para la toma de decisiones, teniendo como objetivo la optimización en el uso de los recursos. En general, el objetivo de los autores, es poner en evidencia como con la investigación de operaciones, se pueden atacar los diferentes procesos de un

sistema de mantenimiento, independientemente de su naturaleza determinística o estocástica.

Una importante parte del trabajo del Dr. Duffuaa y del Dr. Raouf, ha sido desarrollada en la industria petrolera, por ser en ésta donde el proceso de mantenimiento tiene mayor complejidad e importancia. Hoy día, el avance de la materia en esta industria es reconocida a nivel mundial, convirtiéndose sus prácticas en ejemplo, para los demás sectores industriales, quedando recalcada claramente la importancia del aporte de la investigación de operaciones al mantenimiento.

Hesham K Alfares<sup>5</sup>, en el año de 1999, es el encargado de realizar un estudio para el departamento de aviación de Saudi Aramco en Dhahran, Arabia Saudita. Esta compañía petrolera es la principal en este país, y la más grande a nivel mundial. El objetivo del estudio era valorar el programa de mantenimiento de aeronaves de ala, y determinar la programación óptima de trabajos que cumplan con la demanda creciente de mantenimiento a un costo mínimo.

Con la adquisición de nuevas aeronaves, el incremento de rutas aéreas y el aumento en la frecuencia de viajes, crecieron también los requerimientos de mantención en los equipos, trayendo consigo, un importante aumento del tiempo extra para poder cumplir con el incremento del programa de mantenimiento. La primera recomendación hecha por Alfares, es cambiar de cinco a siete, los días laborales de una semana de trabajo para los encargados de la mantención de las aeronaves. El autor utiliza la programación entera para construir un modelo matemático que suministre un programa óptimo de ejecución de las tareas que conforman el plan de mantenimiento, sin incrementar el tamaño del personal.

---

<sup>5</sup> Aircraft maintenance workforce scheduling: A case study Hesham K Alfares. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 1999. Vol. 5, Iss. 2; pg. 78 - 88, 11 pgs.

Esta nueva programación tenía como objetivo minimizar los costos de mano de obra. En la construcción del modelo Alfares, tuvo en cuenta los siguientes factores, como los de mayor incidencia al momento de programar los trabajos.

- Diferentes clases de aeronaves que demandan el trabajo.
- Cobertura de vuelos interrumpidos siete días a la semana, 24 horas al día.
- Requisitos de capacitación para las diferentes especialidades de mano de obra.
- Recomendaciones de trabajos de mantenimiento por parte del fabricante.
- La edad de la aeronave y su condición, según resultado de inspecciones.

La demanda de mantenimiento provenía de los trabajos programados, imprevistos y especiales. Las actividades programadas y especiales, son variables con comportamiento determinístico, su cantidad es conocida con exactitud.

En el caso de los imprevistos, se estableció que no podían ser mayores al 50% de los de trabajos programados, asumiendo de esta manera, que también tienen un comportamiento determinístico. El paso más importante de este estudio, fue la recolección de requerimientos de trabajos de cada día de la semana durante un año, se usaron proyecciones de los programas de vuelos y planes de mantenimiento semanales, también se tuvieron en cuenta los programas de trabajo para los fines de semana y programas de mantenimiento anuales.

Con base en esta información, y teniendo en cuenta que antes de empezar cualquier trabajo se disponga de los recursos necesarios para su ejecución, partiendo del hecho que los días laborales de la semana pasan de cinco a siete, se trabajará en dos turnos y que cada trabajador tendrá dos días de descanso consecutivos por semana, se construyó el modelo matemático que proporcionó la programación óptima de trabajos. Cumpliendo con los requerimientos de mantenimiento en Saudi Aramco, sin incrementar el número de trabajadores y a un costo mínimo, utilizando la programación entera como la herramienta para la construcción del modelo.

Cambiar a esta nueva programación de trabajos, eliminaría las horas extras y los turnos extras de fin de semana, generando un ahorro de \$98000 dólares anuales aproximadamente, según los resultados del modelo. Sin embargo, la implementación de esta programación solo fue realizada hasta el año 2001, cuando terminaron el traslado a las nuevas instalaciones del aeropuerto.

Alfares destaca el trabajo hecho por Dietz y Rosenshine en 1997, quienes desarrollaron un método para determinar la estructura óptima del personal de mantenimiento, que cumpliera con el nuevo plan de actividades, para una flota de aviones militares a un costo mínimo. Recalca también a Zubaidi y Christer en 1997, por la formulación de un modelo de simulación de recursos humanos para calcular los costos de los diferentes procedimientos del área de mantenimiento. Alfares señala que parte de su trabajo, se basa en la obra Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control de Duffuaa, Raouf y Campbell en 1999, por su enfoque en utilizar la programación matemática para planificar recursos y programar trabajos. Otros trabajos tenidos en cuenta por el autor, son los de Nanda y Browne en 1992, quienes dan una visión general del problema de la programación de actividades de mantención en las industrias.

Khaled S Al – Sultan y el Dr. Salih O. Duffuaa<sup>6</sup> en 1995, plantean realizar el control a los sistemas de mantenimiento, utilizando la programación matemática. Los autores parten de las tres funciones básicas del mantenimiento: la planificación (la cual inicia con la identificación y priorización de trabajos, e incluye determinar y diligenciar todos los recursos necesarios para su ejecución), seguida por la programación (la cual asigna recursos y fechas exactas de inicio ha las actividades), y por último se encuentra la función de monitoreo y control que valora el progreso, calidad y eficiencia de los trabajos.

En la literatura estas funciones habían sido direccionadas por separado para una mejor comprensión de la programación matemática y extender su aplicación a estas funciones

---

<sup>6</sup> Maintenance control via mathematical programming

Al-Sultan, Khaled S., Duffuaa, Salih O.. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 1995. Vol. 01, Iss. 3; pg. 36

básicas. La propuesta de los autores, es implementar el proceso de control a los sistemas mantenimiento como un juego de modelos de programación matemática, cuyas soluciones proveerán los planes de funcionamiento de los procesos base de planeación, programación y control.

La estructura parte de un plan maestro de mantenimiento, el cual depende de la estrategia que se desee implementar; incluso se expone un modelo para la estrategia de mantenimiento preventivo. Después, se presenta la planeación de recursos como un modelo de programación matemática, dependiendo de estos resultados se alimenta el modelo del proceso de programación, el cual a su vez, presenta las pautas para el seguimiento del progreso de los trabajos y el control de algunas medidas de rendimiento.

La demanda de labores mantenimiento, es considerada como un producto secundario de la producción, por lo tanto, el estudio parte del hecho que se deben tener en cuenta los programas de producción, como la principal fuente que genera los requerimientos de actividades de mantenimiento.

Los imprevistos y emergencias, los autores los consideran como la parte estocástica de los modelos, y proponen utilizar métodos de pronósticos cuantitativos, e inclusive, desarrollar aparte algún modelo de simulación o programación estocástica si es necesario, y planear teniendo en cuenta los resultados obtenidos. Estos modelos que guardan una porción estocástica, se les denominan de anticipación.

La planeación de recursos es planteada como una medida de rendimiento, que es optimizada cumpliendo con las demandas de estos para el sistema, sin exceder la capacidad de los mismos. Los modelos son desarrollados considerando el objetivo (medida de rendimiento) que se desea alcanzar, teniendo en cuenta las restricciones impuestas al sistema simultáneamente. Los autores proponen utilizar la programación lineal para formular el modelo matemático, que debe afrontar los efectos de los trabajos correctivos y de emergencias que no son planteados en el plan maestro. Esto lo logran, dividiendo la planificación de recursos en los que serán utilizados para las actividades programadas, y los que serán consumidos en trabajos no programados.

En el caso de la programación de trabajos, dentro del objetivo se estableció el tener en cuenta, que no se exceda el uso de la capacidad de recursos disponibles. En este modelo las variables binarias<sup>7</sup> son incluidas para reflejar, cuales actividades se llevan a cabo y cuales no, y la función objetivo es formulada para evaluar los costos de las decisiones. Por ejemplo; el costo de contraer una orden de trabajo de tipo correctivo versus hacerla, el costo de posponer esa misma orden, el valor de adelantar una actividad preventiva, etc. Las restricciones, reflejan las interacciones entre los requisitos, para los diferentes tipos de trabajo y la demanda de los mismos. En este proceso, también se utiliza la programación lineal para construir el modelo. Según los autores, el modelo para programación de trabajos proveerá las siguientes decisiones:

- ¿Qué orden de mantenimiento preventivo debe ser adelantada?
- ¿Qué orden de mantenimiento correctivo se debe posponer?
- ¿Qué orden de mantenimiento correctivo debe ser rechazada?

Para lograr esto, la dirección del área debe tener claro cuales actividades de mantenimiento pueden ser pospuestas, remplazadas e incluso rechazadas.

En el artículo, se resalta la parte estocástica de los sistemas de mantenimiento, que por su naturaleza son inevitables, por eso la importancia de dejar esa porción estocástica en cada uno de los modelos del proceso. La función de control, es planteada como el monitoreo de la ejecución de los resultados arrojados por los modelos, realizando una comparación con el verdadero comportamiento del sistema y entre las medidas de rendimiento objetivo y las reales. La información es utilizada para retroalimentar y actualizar los modelos, de manera que estos cada vez se acerquen más a la realidad y se minimice la incertidumbre. Los autores destacan el trabajo hecho por Roberts y Escudero, quienes desarrollaron un modelo para la programación de trabajos de mantenimiento, utilizando la programación entera.

---

<sup>7</sup> variables que solo pueden tomar los valores 0 ó 1

## 8 METODOLOGIA

### 8.1 Búsqueda y análisis de la literatura recopilada

En la consulta bibliográfica, se recopiló información acerca de la planeación de recursos en los sistemas de mantenimiento, particularmente el caso del recurso humano. Esto, con el fin de encontrar que metodologías son las que actualmente se están utilizando a nivel mundial en esta materia, con base en esto, identificar cual herramienta utilizar para el caso del problema en AES CHIVOR, definido previamente en este plan de trabajo.

Se utilizó la base de datos ProQuest disponible en la biblioteca de la UIS, a la cual también se puede acceder estando fuera de la universidad. Se consulto también la base de datos El Sevier, de la biblioteca Luís Ángel Arango, al igual que algunos de los libros relacionados con el tema en el mismo lugar.

La mayor parte de los trabajos encontrados, están relacionados con las investigaciones realizadas por el Dr. Salih O. Duffuaa, en su aporte a la dirección y control de los sistemas de mantenimiento utilizando la Investigación de Operaciones, como la ciencia que con sus diferentes herramientas como la programación lineal, muestran un enfoque cuantitativo exacto, que ayuda a la toma de decisiones en los diferentes procesos del mantenimiento.

Aunque lo encontrado directamente como aplicaciones en la industria, fue poco, si fue importante lo hallado como conceptos y pautas generales para el uso de la Investigación de Operaciones en la solución del problema planteado.

### 8.2 Descripción general del modelo

El objetivo del modelo a crear es conocer el número óptimo de los turnos de disponibilidad a contratar, de las diferentes especialidades técnicas requeridas para ejecutar la carga de trabajos de mantenimiento pronosticada en los activos de la planta de AES CHIVOR para

cada año, logrando con esto minimizar el costo global del contrato de ejecución. La función objetivo, suministrará el valor mínimo final del contrato, si se cumple con el consumo de número de turnos que arroje el modelo. Esta función estará conformada por dos elementos, la demanda y el costo de la hora en jornada regular y extra de todos los oficios con cada uno de sus niveles de destreza. Las restricciones, tendrán en cuenta el concepto de productividad que maneja cada empresa licitante y estarán separadas por estrategia de mantenimiento.

### 8.3 Definición de los parámetros del modelo

Para la construcción del modelo se necesita conocer las variables que serán incluidas en el mismo. AES CHIVOR, tiene estipulada una tabla de especialidades con sus niveles de destreza, que requiere para cumplir con su plan maestro de mantenimiento y demás actividades programadas y no programadas. Las especialidades técnicas que demanda la central para sus trabajos de mantención son la mecánica, eléctrica y electrónica. El escalafón principal en que se divide cada una de ellas son: ayudante, oficial y técnico. Adicionalmente, este escalafón se divide en diferentes niveles de destreza, los cuales tienen requerimientos puntuales en cuanto a preparación técnica y experiencia tanto en la ejecución de los trabajos que se les asignarán, como conocimiento de los equipos que intervendrán. La compañía también creó esta tabla con el fin de que sea el punto de partida, que cada empresa licitante tiene para cotizar cada una de las tareas de mantenimiento demandadas en el plan maestro y demás actividades.

Para el desarrollo del modelo se utilizará la siguiente notación.

I Especialidades técnicas,  $i = 1, 2, \dots, I$

J Estrategias de mantenimiento en donde será utilizado el recurso humano,  $j = 1, 2, \dots, J$

K Empresas licitantes,  $k = 1, 2, \dots, K$

Tabla 3. Nomenclatura de las estrategias de mantenimiento.

Estrategia de mantenimiento	Denominación	Nomenclatura
Mantenimiento overhaul	OVH	1
Mantenimiento general	GNR	2
Cambio de agujas	CA	3
Pruebas e inspecciones	PRU	4
Mantenimiento preventivo	PRV	5
Mantenimiento correctivos	COR	6
Proyectos	PRO	7
Apoyo a mantenimiento adicional	AMA	8
Apoyo a otras áreas	AOA	9
Taller Industrial Programado	TIN - PRG	10
Taller Industrial Servicios Externos	TIN - SE	11
Taller Industrial Adicionales	TIN - ADC	12
Supervisión	SUP	13

Fuente: Autor del proyecto.

En la denominación de los índices en el modelo se agregará la nomenclatura número 13 la cual no representa una estrategia en si, pero se incluyo para poder tener en cuenta el pronostico del comportamiento de las labores de supervisión que se realizan en todas las demás estrategias, no interesa llevar un control exacto sobre el consumo de estos recursos en cada estrategia por individual pero si su comportamiento durante un periodo completo.

Tabla 4. Nomenclatura de las especialidades técnicas.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Denominación</b>	<b>Nomenclatura</b>
Supervisor de Mantenimiento Eléctrico	SE	X1
Técnico Electricista III	TE3	X2
Técnico Electricista II	TE2	X3
Técnico Electricista I	TE1	X4
Oficial Electricista III	OE3	X5
Oficial Electricista II	OE2	X6
Oficial Electricista I	OE1	X7
Ayudante Electricista	AE	X8
Supervisor de Mantenimiento Mecánico	SM	X9
Técnico Mecánico III	TM3	X10
Técnico Mecánico II	TM2	X11
Técnico Mecánico I	TM1	X12
Oficial Mecánico II	OM2	X13
Oficial Mecánico I	OM1	X14
Ayudante Mecánico	AM	X15
Supervisor de Mantenimiento Electrónico	SK	X16
Técnico Electrónico II	TK2	X17
Técnico Electrónico I	TK1	X18
Soldador II	S2	X19
Soldador tubero	S1	X20
Instrumentista Industrial	IN	X21
Tornero	TR	X22
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	OPG	X23

Fuente: Autor del proyecto.

VARIABLES QUE CONFORMAN EL MODELO

$X_{ijk}$  = Número óptimo de horas hombre en jornada regular a consumir de la especialidad técnica  $i' = 1,2,\dots,I$ , a utilizarse en la estrategia de mantenimiento  $j' = 1,2,\dots,J$ , proveniente de la empresa licitante  $k' = 1,2,\dots,K$ .

$C_{ik}$  = Costo en pesos de la hora hombre en jornada regular de la especialidad técnica  $i' = 1,2,\dots,I$ , proveniente de la empresa licitante  $k' = 1,2,\dots,K$ .

$Y_{ijk}$  = Número óptimo de horas hombre extras a consumir de la especialidad técnica  $i' = 1,2,\dots,I$ , a utilizarse en la estrategia de mantenimiento  $j' = 1,2,\dots,J$ , proveniente de la empresa licitante  $k' = 1,2,\dots,K$ .

$d_{ik}$  = Costo en pesos de la hora extra de la especialidad técnica  $i' = 1,2,\dots,I$ , proveniente de la empresa licitante  $k' = 1,2,\dots,K$ .

$p_k$  = Productividad de la empresa licitante  $k' = 1,2,\dots,K$ .

$r_{ij}$  = Demanda de horas hombre en jornada regular de especialidad técnica  $i' = 1,2,\dots,I$ , a utilizarse en la estrategia de mantenimiento  $j' = 1,2,\dots,J$ .

$s_{ij}$  = Demanda de horas hombre extras de especialidad técnica  $i' = 1,2,\dots,I$ , a utilizarse en la estrategia de mantenimiento  $j' = 1,2,\dots,J$ .

$t_{ij}$  = Factor de actualización del consumo de horas-hombre en jornada regular de la especialidad técnica  $i' = 1,2,\dots,I$ , por estrategia de mantenimiento.

$W_{ij}$  = Factor de actualización del consumo de horas-hombre extras de la especialidad técnica  $i' = 1, 2, \dots, I$ , por estrategia de mantenimiento.

Estos dos factores de actualización se refieren a la política de uso de las especialidades técnicas, que la dirección del área define para cada una de las estrategias de mantenimiento, con el objetivo de empezar a llevar un mayor control sobre la forma como se asignan los recursos en la ejecución de los trabajos programados y no programados. Esta es precisamente una de las ventajas del modelo, permitirá ver cuales son las incidencias en el costo final del contrato teniendo en cuenta las decisiones tomadas para estas políticas. Estos factores podrán tomar valores entre 0 e  $\infty$ .

#### 8.4 Construcción del modelo

El primer elemento, que afecta el costo del contrato de mantenimiento de los activos de la planta, son los turnos de disponibilidad demandados en jornada laboral regular del recurso humano señalado en la tabla 4. El segundo elemento incidente son las horas extras consumidas de los mismos recursos; estos dos ítems son los tenidos en cuenta en la función objetivo, la cual tiene como fin minimizar el costo global del contrato de suministro de recurso humano técnico, necesario para la ejecución del plan maestro de mantenimiento y demás trabajos programados y no programados en AES CHIVOR. Independientemente de la estrategia de mantención donde se utilicen estos recursos el costo es el mismo. El contrato se realiza con una empresa contratista ajena a la compañía.

#### Función objetivo

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K C_{ik} \left[ \sum_{j=1}^J x_{ijk} \right] + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K d_{ik} \left[ \sum_{j=1}^J y_{ijk} \right]$$

El costo individual de ejecución de una tarea de mantenimiento será afectado por el tiempo en que se realice, y las especialidades técnicas que se utilicen. Estos son los dos factores que se tendrán en cuenta al momento de evaluar la productividad que cada empresa licitante maneja ejecutando una misma tarea. La diferencia en la productividad de cada uno de los posibles contratistas, incidirá en el real consumo de turnos de disponibilidad y horas extras de las especialidades técnicas, en esencia, la productividad con la que trabaja cada empresa afectará el costo global del contrato, al evaluar este factor se asume que la calidad del trabajo ejecutado es la misma entre las empresas proponentes. En la formulación de las restricciones se tiene en cuenta este concepto de productividad de cada empresa contratista.

Restricción de equilibrio 1 para la demanda de horas hombre en jornada regular

$$X_{ijk}p_k \geq r_{ij} * t_{ij}$$

Restricción de equilibrio 2 para la demanda de horas extras

$$y_{ijk}p_k \geq S_{ij} * W_{ij}$$

La variable J la cual representa las estrategias de mantenimiento consignadas en la tabla 3, se introdujo en el modelo, por que la compañía además de conocer el número óptimo de los turnos de disponibilidad y las horas extras a contratar de las diferentes especialidades técnicas, quiere tener un mayor control sobre exactamente en que estrategia de mantenimiento se utilizarán estos recursos.

## 8.5 Recolección de la información para alimentar el modelo

El punto de partida para el desarrollo del modelo es alimentarlo con la información que requieren todos los factores tenidos en cuenta. Se parte de la demanda proyectada del recurso humano técnico, la cual se cuantificó teniendo en cuenta las siguientes fuentes.

### **8.5.1 Plan maestro de mantenimiento (PMM)**

Para el desarrollo de las actividades de mantenimiento, se dispone de un Plan Maestro donde se encuentran establecidas las tareas de mantención requeridas para garantizar una operación confiable, y sostener la vida útil de los activos de la empresa. Es así, como se establecen las estrategias por equipo que determinan el tipo de trabajo a realizar (preventivo, predictivo etc.). Con relación a las actividades sobre las unidades de generación, las denominadas intervenciones mayores mantenimientos overhaul y general tienen establecidas unas frecuencias de ejecución, con ellas y con el historial de mantenimiento efectuado, la gerencia de producción y mantenimiento analiza y redefine esas frecuencias y las de las demás actividades, entregando como resultado el PMM para los siguientes años.

No obstante, por tratarse de un programa basado en la condición, se efectúa un programa de inspecciones también llamadas intervenciones menores, con base en el cual se puede confirmar el estado en el que se encuentran los subsistemas y equipos. Estos resultados pueden generar variaciones en la fecha de inicio de los mantenimientos mayores.

Este plan maestro de mantenimiento es el punto de partida para conocer el recurso humano técnico, necesario para la ejecución de trabajos programados. Aunque AES CHIVOR conoce en términos generales las actividades que se realizan en cada intervención, ya sea mayor o menor, no se tiene actualizada la información exacta del alcance de los trabajos ni de la mano de obra que se requiere para la realización de cada intervención del PMM.

Debido a esto, lo primero que se realizó fue identificar las tareas, el alcance de sus actividades y los recursos tanto humano como de tiempos necesarios para la completa ejecución de cada tipo de intervención mayor, e inspecciones que hacen parte del plan maestro. Esta información se obtuvo directamente en campo y la recopiló el autor del proyecto teniendo en cuenta la ejecución cronológica, de cada uno de los mantenimientos

que hacen parte del plan maestro. En la tabla 5 se observa el orden en el que se recopiló la información.

Tabla 5. Cronológico de la recopilación de las tareas y actividades del PMM.

Tipo de mantenimiento	Unidad	Fecha de inicio	Fecha fin	Anexo(s)
Overhaul	8	01/10/2007	12/12/2007	2 y 3
General	5	15/01/2008	03/02/2008	1 y 4
Cambio de Agujas	1	04/02/2008	07/02/2008	1 y 5
Inspección de 1 día	2	27/03/2008	27/03/2008	1 y 5
Inspección de Rodete	4	27/02/2008	27/02/2008	1 y 5

Fuente: Autor del proyecto.

En el anexo 1 se encuentra el PMM del 2008,. En el anexo 2 esta el PMM del 2007, el levantamiento de la información de las tareas empieza en este año con el mantenimiento overhaul de la unidad 8, programado del 1 de octubre al 12 de diciembre. Los datos del mantenimiento general, se obtuvieron durante el desarrollo de este tipo de intervención programada para la unidad 5, del 15 de enero al 3 de febrero del 2008. La información del cambio de agujas se recopiló del 4 al 7 de febrero del presente año ejecutado en la unidad 1. La inspección parcial de 1 día en la unidad 2 y la inspección de rodete programada para la unidad 4. En el caso de la inspección parcial de dos días los datos fueron suministrados por los supervisores de AES CHIVOR.

En el anexo 3 se observan las tareas, el alcance de sus actividades y los recursos que demanda un mantenimiento overhaul, de igual forma, los datos del recurso humano y el tiempo que se necesita para la ejecución de un mantenimiento general se encuentran en el anexo 4. La información de las intervenciones menores cambio de agujas, inspección parcial de 1 día, de 2 días e inspección de rodete se encuentran en el anexo 5.

Como se observa en los anexos, los oficios base que requiere AES CHIVOR para cumplir con su plan maestro de mantenimiento y demás actividades, son el oficio mecánico, eléctrico, electrónico e instrumentista. Sin embargo; en un trabajo especializado como el mantenimiento a unidades de generación hidráulica, donde dependiendo del equipo que se intervendrá y el alcance del trabajo que se le realizará, no siempre se requiere el mismo nivel de oficio para la ejecución de las tareas; hay algunas que por su grado complejidad e impacto en la confiabilidad y disponibilidad de la planta deben ser ejecutadas por niveles de oficio más especializados, con mayor experiencia y conocimiento de los equipos. Las estrategias que conforman el plan maestro son:

#### **8.5.1.1 Mantenimiento preventivo.**

Los mantenimientos que harán parte de esta estrategia que conforman el PMM para el 2008 son:

- ✓ Un Mantenimiento Overhaul, programado del mes de septiembre a diciembre en la unidad de generación número 4.
- ✓ Cuatro Mantenimientos Generales en las unidades 2, 3, 5 y 7.
- ✓ Dos cambios de agujas en las unidades 1 y 6.

En las tablas de la 6 a la 9 se puede observar la demanda de horas hombre en jornada regular para realizar las intervenciones de esta estrategia.

Tabla 6. Demanda de horas – hombre por especialidad para el mantenimiento overhaul.

Especialidad Técnica	Denominación	Demanda h/h regulares
Supervisor de Mantenimiento Eléctrico	SE	700
Técnico Electricista III	TE3	137
Técnico Electricista II	TE2	1823
Técnico Electricista I	TE1	602
Oficial Electricista II	OE2	825
Oficial Electricista I	OE1	403
Ayudante Electricista	AE	2723
Supervisor de Mantenimiento Mecánico	SM	700
Técnico Mecánico III	TM3	318
Técnico Mecánico II	TM2	684
Técnico Mecánico I	TM1	1544
Oficial Mecánico II	OM2	349
Oficial Mecánico I	OM1	1290
Ayudante Mecánico	AM	3932
Supervisor de Mantenimiento Electrónico	SK	700
Técnico Electrónico II	TK2	270
Técnico Electrónico I	TK1	463
Soldador tubero	S1	163
Instrumentista Industrial	IN	700
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	OPG	700

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 7. Demanda de horas – hombre por especialidad para un mantenimiento general.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Denominación</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>
Supervisor de Mantenimiento Eléctrico	SE	210
Técnico Electricista III	TE3	96
Técnico Electricista II	TE2	163
Técnico Electricista I	TE1	597
Oficial Electricista II	OE2	265
Oficial Electricista I	OE1	77
Ayudante Electricista	AE	601
Supervisor de Mantenimiento Mecánico	SM	210
Técnico Mecánico III	TM3	98
Técnico Mecánico II	TM2	170
Técnico Mecánico I	TM1	414
Oficial Mecánico II	OM2	184
Oficial Mecánico I	OM1	211
Ayudante Mecánico	AM	782
Supervisor de Mantenimiento Electrónico	SK	210
Técnico Electrónico II	TK2	240
Técnico Electrónico I	TK1	238
Soldador tubero	S1	26
Instrumentista Industrial	IN	210
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	OPG	210

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 8. Demanda total de horas – hombre para los cuatro mantenimientos general.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Denominación</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>
Supervisor de Mantenimiento Eléctrico	SE	840
Técnico Electricista III	TE3	384
Técnico Electricista II	TE2	652
Técnico Electricista I	TE1	2388
Oficial Electricista II	OE2	1060
Oficial Electricista I	OE1	308
Ayudante Electricista	AE	2404
Supervisor de Mantenimiento Mecánico	SM	840
Técnico Mecánico III	TM3	392
Técnico Mecánico II	TM2	680
Técnico Mecánico I	TM1	1656
Oficial Mecánico II	OM2	736
Oficial Mecánico I	OM1	844
Ayudante Mecánico	AM	3128
Supervisor de Mantenimiento Electrónico	SK	840
Técnico Electrónico II	TK2	960
Técnico Electrónico I	TK1	952
Soldador tubero	S1	104
Instrumentista Industrial	IN	840
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	OPG	840

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 9. Demanda de horas – hombre por especialidad para los cambios de agujas.

Especialidad Técnica	Denominación	Demanda h/h regulares
Técnico Mecánico I	TM1	70
Oficial Mecánico I	OM1	72
Ayudante Mecánico	AM	146

Fuente: Autor del proyecto.

### 8.5.1.2 Mantenimiento predictivo.

Para el presente año harán parte del PMM las siguientes intervenciones menores.

- ✓ Tres inspecciones parciales de 1 día
- ✓ Una inspección parcial de 2 días
- ✓ Diez inspecciones de rodetes

Las inspecciones parciales consisten en revisar todos los subsistemas que conforman una unidad de generación, pero no se intervienen, a menos que la condición muestre algo que ponga en peligro el correcto funcionamiento de la unidad. La diferencia de la que se realiza en un día a la de dos días, radica básicamente en el alcance; en la de un día solo se revisa lo que a simple vista se puede observar, en la de dos días se desarmen parcialmente algunos equipos con el fin de profundizar aún más. La inspección de rodete es una tarea que consiste en determinar el estado en el que se encuentran los cangilones de la rueda pelton, esto se determina a través de una prueba de tintas. Esta estrategia de mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento preventivo, por esta razón en la tabla 3 del listado de estrategias no aparece este ítem. Los recursos que se requieren para realizar otros trabajos de este tipo se tienen en cuenta en los totales demandados por el preventivo. En la tabla 10 se observa los requerimientos de recursos para las inspecciones programadas en el PMM.

Tabla 10. Demanda de horas – hombre para el total de inspecciones programadas.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Denominación</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>
Técnico Electricista III	TE3	30
Técnico Electrónico II	TK2	60
Técnico Mecánico III	TM3	60
Técnico Mecánico II	TM2	70
Ayudante Mecánico	AM	70

Fuente: Autor del proyecto.

La estrategia de mantenimiento preventivo es complementada por un listado de actividades que no aparecen en el plan maestro, debido a que no implican parada de unidad y no tienen frecuencia de ejecución asignada, (ver anexo 6). Las tareas que aparecen en este listado son las más comunes que se presentan en la operativa diaria, y la mayoría de ellas son el resultado de inspecciones que realizan los operadores de la central, las cuales reportan a través de los RED (reporte de equipos defectuosos). Algunas otras son actividades de recuperación a elementos que se remplazan en las intervenciones mayores.

Los datos de la demanda de horas hombre para la ejecución de las actividades preventivas que aparecen en el anexo 6, al igual que los requerimientos de las demás estrategias se extraerán de los datos históricos almacenados en la base de datos del software para la gestión de activos MP2. De igual forma, la demanda proyectada de horas extras también se extraerán de la misma aplicación. El recurso humano técnico con el que se ejecutan todos estos tipos de trabajo, son los mismos con los se realiza el plan maestro de mantenimiento, ver tabla 4.

El software MP2 como herramienta para apoyar la gestión de activos en AES CHIVOR salió a producción en el año 2006. Esta herramienta fue creada por Data Stream, una firma norteamericana dedicada a producir software. MP2 consta de 4 módulos principales

empleados, equipos, materiales y tareas. En cada uno de ellos se tiene la información de los recursos existentes y de las tareas con los cuales se inicia el proceso de planeación generando las órdenes de trabajo (OT'S), requisito para poder iniciar un trabajo excepto en el caso de las emergencias. La aplicación tiene dos módulos más el de inventarios y requisiciones, se encuentran en interfaz con un ERP (enterprise resources planning) desde donde se generan las requisiciones que después se transforman en órdenes de compras y se administra el inventario de materiales y refacciones. Adicional a estas funciones dirigidas a la gestión de activos, MP2 tiene como un segundo objetivo ser una base de datos de todos los trabajos que se realizan en planta y equipos periféricos, en este software quedan consignados las diferentes tipos de estrategias de mantenimiento que se ejecutaron en cada equipo, subsistema o unidad. En el proceso de actualización del trabajo ya sea planeado o no, se consigna en la OT la información acerca del alcance del trabajo que se realizó y los recursos reales que se utilizaron. Estos datos se almacenan y quedan disponibles para consulta.

Es desde esta base de datos de donde se extraerá la información del recurso humano técnico, que se ha consumido en la ejecución de las estrategias de mantenimiento diferentes a las pertenecientes al PMM. Como se mencionó MP2 salió a producción en el año 2006, desde ese periodo se ha almacenado la información del uso de los recursos, se dispone solo de dos datos de las especialidades técnicas para realizar las proyecciones de demanda necesarias para la ejecución de las estrategias de mantenimiento, que no hacen parte del plan maestro. Esta es precisamente la limitante principal del presente trabajo de grado la cual es difícil de mitigar. La única solución es buscar en el archivo físico de la empresa la facturación de los contratistas, que han trabajado para Chivor en años anteriores, esta posibilidad se descarta por el tiempo que sería necesario invertir para revisar estos documentos y tabular la información allí consignada. Se decidió sacar un promedio con los datos que se disponen, y tomarlos como la demanda proyectada de las especialidades técnicas correspondientes para la realización de las demás estrategias.

En la tabla 11, se encuentra la demanda de horas hombre en jornada regular y de horas extras para el resto de las actividades diarias de la estrategia de mantenimiento preventivo, aquí están sumados los requerimientos para algunas actividades de tipo predictivo, la cual como se señaló es una estrategia que hace parte del preventivo.

Tabla 11. Demanda promedio de horas – hombre para demás actividades preventivas.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Demanda h/h extras</b>
Técnico Electricista III	661	90
Técnico Electricista II	297	32
Técnico Electricista I	310	34
Oficial Electricista III	540	66
Oficial Electricista II	80	N/A
Ayudante Electricista	868	142
Técnico Mecánico III	528	247
Técnico Mecánico II	583	46
Técnico Mecánico I	1361	25
Oficial Mecánico II	1037	31
Oficial Mecánico I	2606	660
Ayudante Mecánico	2444	68
Técnico Electrónico II	873	77
Técnico Electrónico I	693	59
Soldador II	504	25
Instrumentista Industrial	283	28
Tornero	61	N/A
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	820	42

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

Otras estrategias que AES CHIVOR aplica a sus activos de planta y periféricos que inciden en la demanda proyectada del recurso humano técnico son:

#### **8.5.2 Mantenimiento correctivo.**

Este tipo de estrategia se ejecuta en la actividad diaria de la planta en la medida en que se presenta. En este caso, no existe un conocimiento previo de cuál es el trabajo a realizar, influyen los diferentes posibles modos de falla que se puedan presentar en los equipos. En la tabla 12 se muestra la proyección para el 2008.

Tabla 12. Demanda promedio de horas – hombre para mantenimientos correctivos.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Demanda regulares h/h</b>	<b>Demanda extras h/h</b>
Técnico Electricista III	297	73
Técnico Electricista II	162	38
Técnico Electricista I	86	31
Oficial Electricista III	512	80
Ayudante Electricista	296	153
Técnico Mecánico II	331	29
Técnico Mecánico I	446	48
Oficial Mecánico II	209	N/A
Oficial Mecánico I	328	N/A
Ayudante Mecánico	407	43
Técnico Electrónico II	317	41
Técnico Electrónico I	151	34
Soldador II	92	N/A
Instrumentista Industrial	79	33
Tornero	111	N/A
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	167	42

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

### 8.5.3 Proyectos.

Desde hace algunos años la compañía inicio un proceso de modernización de equipos y subsistemas; los trabajos que hacen parte de esta estrategia son clasificados con el nombre de proyectos. En la tabla 13 se encuentra la proyección para el 2008.

Tabla 13. Demanda promedio de horas – hombre para la realización de proyectos.

Especialidad Técnica	Demanda h/h regulares	Demanda h/h extras
Técnico Electricista III	1078	171
Técnico Electricista II	182	56
Técnico Electricista I	581	54
Oficial Electricista III	552	138
Ayudante Electricista	1561	237
Técnico Mecánico II	79	N/A
Técnico Mecánico I	142	N/A
Oficial Mecánico I	55	N/A
Ayudante Mecánico	135	59
Técnico Electrónico II	965	112
Técnico Electrónico I	790	126
Soldador II	50	N/A
Instrumentista Industrial	136	44
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	60,5	47

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

#### 8.5.4 Mantenimiento adicional.

Son las actividades de mantenimiento que se realizan a equipos que no hacen parte del sistema de producción principal, sin embargo, es importante mantenerlos en correcto funcionamiento. Estos equipos son denominados periféricos, se dividen en electromecánicos o electrónicos según sea su naturaleza de funcionamiento (ver anexos 7 y 8). Para estos equipos no existe un listado de trabajos planeados, la estrategia es basada en la condición, dependiendo del resultado que arrojen las inspecciones que se

realizan sobre estos, se determina el alcance de la intervención que recibirán y el recurso que se necesitará. Proyección establecida en la tabla 14.

Tabla 14. Demanda promedio de horas – hombre para mantenimientos adicionales.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Demanda h/h extras</b>
Técnico Electricista III	121	37
Técnico Electricista II	122	33
Técnico Electricista I	79	39
Oficial Electricista III	186	48
Ayudante Electricista	143	120
Técnico Mecánico II	107	N/A
Técnico Mecánico I	126	44
Oficial Mecánico II	73	N/A
Oficial Mecánico I	38	N/A
Ayudante Mecánico	215	48
Técnico Electrónico II	422	31
Técnico Electrónico I	352	42
Soldador II	477,5	N/A
Tornero	118	N/A
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	71	28

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

### 8.5.5 Apoyo a otras áreas.

Esta fuente de demanda de mano de obra no hace parte de una estrategia de mantenimiento en particular, por ejemplo, se realizan apoyos a trabajos de obras civiles y montaje de elementos metálicos, esto significa consumo de horas hombre del personal técnico. Ver tabla 15.

Tabla 15. Demanda promedio de horas – hombre para apoyo a otras áreas.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Demanda h/h extras</b>
Técnico Electricista III	462	157
Técnico Electricista II	198	48
Técnico Electricista I	385	70
Oficial Electricista III	523	48
Ayudante Electricista	568	86
Técnico Mecánico II	53	30
Técnico Mecánico I	113	61
Oficial Mecánico I	65	N/A
Ayudante Mecánico	37	46
Técnico Electrónico II	726	341
Técnico Electrónico I	180	37
Soldador II	36	N/A
Instrumentista Industrial	745	32
Tornero	1152	N/A
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	76	N/A

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

### 8.5.6 Trabajos del taller industrial (TIN).

Los trabajos del taller industrial se dividen en programados, adicionales y servicios externos prestados a otras empresas. Las actividades que generalmente se realizan en este taller se enlistan en el anexo 9. De las tablas 16 a la 18 se observan los requerimientos técnicos para los tres tipos de trabajos del taller industrial.

Tabla 16. Demanda promedio de horas – hombre para trabajos del TIN programados.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Demanda h/h extras</b>
Técnico Electricista I	62	N/A
Técnico Mecánico III	976	53
Oficial Mecánico II	1481	171
Oficial Mecánico I	3123	281
Ayudante Mecánico	48	N/A
Soldador tubero	1617	76

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

Tabla 17. Demanda promedio de horas – hombre para servicios externos del TIN.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Demanda h/h extras</b>
Técnico Mecánico III	412	254
Oficial Mecánico II	119	N/A
Oficial Mecánico I	1518,5	712

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

Tabla 18. Demanda promedio de horas – hombre para trabajos adicionales del TIN.

<b>Especialidad Técnica</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Demanda h/h extras</b>
Técnico Mecánico III	475,5	62
Oficial Mecánico II	365	N/A
Oficial Mecánico I	1646,5	47
Ayudante Mecánico	265	N/A
Soldador tubero	447,5	N/A

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

En la tabla 19 se enlista la demanda promedio de horas de supervisión.

Tabla 19. Demanda promedio de horas de supervisión.

<b>Cargo</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Demanda h/h extras</b>
Supervisor de Mantenimiento Eléctrico	3034	286
Supervisor de Mantenimiento Mecánico	2931	76
Supervisor de Mantenimiento Electrónico	2888	300

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

### 8.5.7 Productividad de las empresas licitantes.

El modelo tiene como una de sus variables la productividad que cada empresa licitante maneja al momento de ejecutar una tarea de mantenimiento. Actualmente AES CHIVOR no esta teniendo en cuenta este concepto de productividad, como se ha mencionado, la compañía al momento de realizar el contrato negocia el precio de algunas tareas, o el valor de la hora hombre de un nivel de oficio en particular, sin embargo, ni estos niveles de oficio ni las tareas son necesariamente las que mayor influencia positiva de ahorro ejercen en el valor real final del contrato en el periodo en cuestión.

Actualmente, la improductividad del uso del recurso humano técnico al momento de la ejecución de un trabajo por parte del contratista la paga AES CHIVOR, es decir, si una determinada tarea correspondiente al grupo ejecutor mecánico, se puede realizar asegurando el cumplimiento del alcance con un técnico nivel I y el contratista decide realizarla con técnico nivel II, y sobre éste es que factura, ese ineficiente uso del recurso castiga el presupuesto del contrato de ejecución de mantenimiento y lo paga la compañía.

La productividad se evaluará para cada empresa licitante, sus unidades estarán en porcentajes; en el modelo se transcribirá esa productividad como un factor que puede tomar valores entre 0 e  $\infty$ . El punto de partida para esta evaluación son las tareas y sus respectivas actividades que conforman el plan maestro de mantenimiento anexos 3, 4 y 5. Como se señaló, se aprovechó el cronológico de ejecución del PMM del 2007 y 2008 (ver tabla 4) y el autor del proyecto levantó en campo los listados de las tareas con el alcance puntual de cada una de sus actividades, el recurso técnico que requiere y su duración promedio. Esta información se utilizará para evaluar la productividad en ejecución de cada una de las empresas interesadas a las que se les adjudique el contrato. La revisión y validación de estos listados fue realizada por parte de los supervisores e ingenieros directos de AES CHIVOR, jefes de los diferentes grupos ejecutores.

La metodología para evaluar la productividad de los contratistas inicia con tomar las tareas, que hacen parte de cada subsistema para cada tipo de mantenimiento del PMM (overhaul, general, cambio de agujas e inspecciones) y con base en las actividades de cada una de estas tareas, se totaliza el número de turnos que se requieren de las especialidades técnicas para realizar la mantención de todos los subsistemas, se toma este dato como el parámetro de comparación, es decir, a las empresas contratistas se les entregará el listado de las tareas y sus actividades correspondientes que hacen parte del plan maestro. Estas empresas en contraparte suministrarían el tiempo y el recurso humano que consideran necesitarán para realizar las tareas con sus respectivas actividades. A esta información se le aplica una matriz para la evaluación de la productividad (ver tabla 20), de esta forma se obtiene la valoración final del contratista y este dato se lleva al modelo. Se entiende como el parámetro de la mejor productividad

con un 100% de calificación, la información de los totales con la que parte AES CHIVOR; esto deja ver la importancia de haber depurado en campo la información de las tareas y actividades del plan maestro.

Tabla 20. Matriz para la evaluación de la productividad de los contratistas.

<b>Regla a las posibilidades que se pueden presentar al cotizar una tarea por parte de un contratista</b>	<b>% Aumento en productividad</b>	<b>% Disminución en productividad</b>
Por cada especialidad técnica adicional presentada en la cotización de la tarea		10%
Por cada ausencia de una especialidad técnica en la cotización de la tarea	10%	
Por cada nivel superior de especialidad técnica cotizada para la realización de la tarea		5%
Por cada nivel inferior de especialidad técnica cotizada para la realización de la tarea	5%	
Por cada día adicional a utilizar de una especialidad técnica		2%
Por cada día menos a utilizar de una especialidad técnica	2%	
Por cada 1000 pesos adicionales cotizados en el valor de la hora hombre ya sea en jornada regular u hora extra para una especialidad técnica.		2%
Por cada 1000 pesos menos cotizados en el valor de la hora hombre ya sea en jornada regular u hora extra para una especialidad técnica.	2%	

Fuente: Autor del proyecto.

Estas son las opciones que se pueden presentar al momento de cotizar una tarea por parte de una empresa licitante, no son excluyentes entre si, por el contrario se puede dar más de una de estas posibilidades. Por ejemplo para ejecutar el mantenimiento overhaul al subsistema banco de transformadores se requieren los recursos que aparecen en la tabla 21. Datos extraídos del anexo 3.

Tabla 21. Demanda de turnos overhaul del subsistema banco de transformadores.

<b>Especialidad técnica</b>	<b>Demanda h/h regulares</b>	<b>Número de turnos</b>
Técnico Electricista I	163	17
Oficial Electricista II	195	20
Ayudante Electricista	900	90
Técnico Mecánico II	90	9
Técnico Electrónico I	55	6
Instrumentista Industrial	55	6

Fuente: Autor del proyecto.

Una empresa licitante presenta la siguiente propuesta (ver tabla 22).

Tabla 22. Propuesta empresa licitante overhaul banco de transformadores.

<b>Especialidad técnica</b>	<b>Número de turnos</b>
Técnico Electricista II	17
Oficial Electricista III	22
Ayudante Electricista	93
Técnico Mecánico II	9
Técnico Electrónico I	6
Instrumentista Industrial	6

Fuente: Autor del proyecto.

Aplicando la matriz de la tabla 20, la productividad de la empresa proponente sería del 80%. Haciendo la comparación con la propuesta aparece técnico electricista II, eso disminuye la productividad en un 5%, también se presenta oficial electricista III afectando en un 5% menos y adicional utilizarían este recurso 2 días más representando esto un 4% adicional negativo, el contratista ofrece 3 días más de los ayudantes electricistas castigando esto en un 6% la productividad de esta empresa. En total la suma de estos valores es un 20% negativo, dando como resultando una productividad total, al ejecutar el

mantenimiento overhaul al subsistema banco de transformadores por parte de esta empresa de un 80%; en el modelo se transcribiría como 0.8.

La habilidad de las empresas licitantes se evidencia en la forma como ellos plantean que realizarán los trabajos de mantenimiento moviéndose a través de las opciones que se encuentran en el listado de la tabla 4. Esta forma como las empresas planteen que ejecutaran los trabajos, va a depender de que tan preparados técnicamente estén sus empleados, y la experiencia que posean.

Para las pruebas del modelo se crearán 5 escenarios con las siguientes productividades (ver tabla 23).

Tabla 23. Listado de escenarios.

Modelos de prueba	$p_k$	Transcripción al modelo
Modelo mantenimiento 4	90%	0.9
Modelo mantenimiento 5	110%	1.1
Modelo mantenimiento 6	80%	0.8
Modelo mantenimiento 7	100%	1
Modelo mantenimiento 8	120%	1.2

Fuente: Autor del proyecto.

### 8.5.8 Precios unitarios de hora hombre por especialidad técnica.

Como se mencionó, este listado de precios inicial lo establece AES CHIVOR; los contratistas lo toman como punto de partida para presentar su cotización y están en libertad de realizar cualquier modificación. En el precio de la hora hombre esta incluido todos los conceptos que ejercen un costo para la compañía como lo son: Transporte hasta la planta, almuerzo, prestaciones sociales, porcentaje de utilidad para la empresa contratista y demás conceptos por posesión de esta mano de obra. En la tabla 24 se encuentra el listado del costo de la hora hombre de las especialidades técnicas.

Tabla 24. Listado del costo de la hora hombre de las especialidades técnicas.

<b>Especialidad técnica</b>	<b>Valor hora regular en pesos</b>	<b>Valor hora extra en pesos</b>
Supervisor de Mantenimiento Eléctrico	27.217	32.520
Técnico Electricista III	20.413	24.389
Técnico Electricista II	19.366	23.139
Técnico Electricista I	18.633	22.263
Oficial Electricista III	15.702	18.761
Oficial Electricista II	14.132	16.885
Oficial Electricista I	12.876	15.385
Ayudante Electricista	10.468	12.508
Supervisor de Mantenimiento Mecánico	27.217	32.520
Técnico Mecánico III	20.413	24.389
Técnico Mecánico II	19.366	23.139
Técnico Mecánico I	18.319	21.888
Oficial Mecánico II	14.132	16.885
Oficial Mecánico I	12.876	15.385
Ayudante Mecánico	10.468	12.508
Supervisor de Mantenimiento Electrónico	27.217	32.520
Técnico Electrónico II	19.366	23.139
Técnico Electrónico I	18.633	22.263
Soldador II	19.366	23.139
Soldador tubero	26.170	31.269
Instrumentista Industrial	20.413	24.389
Tornero	19.366	23.139
Operador de puente grúa, grúas, montacargas y equipos de izaje	18.633	22.263

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A E.S.P Bogotá – Colombia.

### 8.5.9 Factores de actualización.

El modelo incluye estos factores con el fin de que la dirección de mantenimiento pueda establecer políticas, acerca del uso del recurso humano técnico en cada una de las estrategias de mantenimiento. La compañía esta en proceso de implementar como estrategia de mantenimiento principal a RCM (Reliability Centred Maintenance) Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. El resultado final de esta metodología son tareas nuevas con su respectivo instructivo, frecuencia de realización y los recursos necesarios para su ejecución tanto humanos como materiales. Estas nuevas tareas harán parte de la estrategia de mantenimiento preventivo, luego la política de asignación de especialidades técnicas para esta estrategia deberá ir en aumento año a año, y al mismo tiempo se disminuirá la asignación de recursos para mantenimientos correctivos. En la tabla 25 se encuentran las políticas con las que se alimentarán los 5 escenarios de los modelos de prueba, estos factores tomarán valores entre 0 e  $\infty$ , es decir si la política de una estrategia es aumentar la asignación de recurso técnico en un 20% el factor seria 1.2.

Tabla 25. Factores de actualización para los escenarios de pruebas al modelo.

Estrategia de mantenimiento	$t_{ij}$	$W_{ij}$
Mantenimiento overhaul	0.9	N/A
Mantenimiento general	0.9	N/A
Cambio de agujas	0.9	N/A
Pruebas e inspecciones	1	N/A
Mantenimiento preventivo	1.5	0.2
Mantenimiento correctivos	0.5	0.5
Proyectos	1.3	0.5
Apoyo a mantenimiento adicional	0,7	0,2
Apoyo a otras áreas	0.8	0.2
Taller Industrial Programado	0.9	0.2
Taller Industrial Servicios Externos	0.7	0.1
Taller Industrial Adicionales	0.5	0.2
Supervisión	0.9	N/A

Fuente: Autor del proyecto.

Es importante recordar que la estrategia 13 se creo con el fin de asignársela a las labores de supervisión. No representa una estrategia en si, se incluyo para poder tener en cuenta el pronóstico del comportamiento de las labores de supervisión que se realizan en todas las demás estrategias.

## 8.6 Procesamiento de los datos en el modelo

Con la información recolectada se procederá a transcribir el modelo en el lenguaje para modelado de problemas de programación matemática GAMS.

### 8.6.1 GAMS<sup>8</sup>

El programa GAMS (General Algebraic Modeling System) es un software creado para solucionar problemas de programación matemática, permite modelar y resolver diversos problemas de optimización. GAMS fue desarrollado a finales de la década de los 80 en el World Bank por un grupo de economistas A. Brooke, D. Kendrick y A. Meeraus. Crean este software en respuesta a la necesidad de poder hallar una solución numérica a sus modelos propuestos de desarrollo económico. La ventaja de GAMS con respecto a otro software de implementación de algoritmos matemáticos, es que permite escribir en un editor, la formulación matemática del problema y posteriormente aplicarle una serie de “solvers” para resolverlo. Otras fortalezas de este software son:

- ✓ Facilita la reformulación continua de los problemas de programación matemática.
- ✓ Soluciona problemas lineales, enteros, no lineales, etc.
- ✓ Facilitan el desarrollo de modelos prototipos.
- ✓ Separa los datos de la estructura matemática del modelo.
- ✓ Permite la formulación de modelos independientemente de su tamaño.
- ✓ Se puede cambiar el optimizador para resolver el modelo sin dificultad.
- ✓ Compatibilidad con sistemas operativos (Windows, Linux, Sun Solaris, HP UX, DEC Digital Unix, IBM AIX, SGI IRIX).
- ✓ Ayuda a estructurar buenos hábitos de modelado en quien utiliza este software.

Transcribir un modelo de programación matemática en GAMS es sencillo, sin embargo; exige que se le muestre una secuencia lógica al momento de suministrarle la información del problema. Como cualquier software de programación se debe ser cuidadoso con las reglas gramaticales de GAMS; el incumplimiento de alguna de ellas no permitiría la solución del modelo.

---

<sup>8</sup> Brooke, A., Kendrick, D. and Meeraus, A. (1998) GAMS: A Users Guide GAMS Development Co.  
Ramón Sala Garrido manual GAMS en español capítulo 14.

Para escribir un modelo en GAMS lo primero que se tiene que hacer es crear un fichero de entrada de datos el cual tiene la extensión “gsm” en donde se recopila toda la información necesaria del problema, la versión de GAMS - IDE para Windows, incorpora un editor que facilita la escritura y resolución de problemas. En el fichero de entrada hay que organizar unos bloques que son obligatorios (ver tabla 26) y otros que son opcionales (ver tabla 27).

Tabla 26. Bloques obligatorios en GAMS.

Bloques obligatorios	Denominación en GAMS
Variables	VARIABLES
Ecuaciones	EQUATIONS
Modelo	MODEL
Solución	SOLVE

Fuente: Ramón Sala Garrido manual GAMS en español capítulo 14 pg. 496.

Tabla 27. Bloques optativos en GAMS

Bloques optativos	Denominación en GAMS
Conjuntos	SET
Datos	DATA
Visualización	DISPLAY

Fuente: Ramón Sala Garrido manual GAMS en español capítulo 14 pg. 496.

La presencia o no de estos bloques optativos, la da precisamente la naturaleza del modelo. Usualmente como opción también se escriben al inicio del modelo unas líneas de comentarios que, si bien no forman parte del modelo, facilitan la lectura y entendimiento del problema a resolver.

- ✓ **Bloque de variables.** Debe comenzar con la palabra VARIABLES; aquí se definen las variables que se van a usar en el modelo, aclarando de que clase son y si tienen cotas o puntos de partida.

- ✓ **Bloque de ecuaciones.** Inicia con el nombre EQUATIONS; en este bloque se declaran y definen las ecuaciones que harán parte del modelo como restricciones función objetivo etc.
- ✓ **Bloque de modelo.** Aquí se declara el modelo, se le da un nombre y se definen las ecuaciones que lo conformarán, no siempre es necesario incluir todas las ecuaciones utilizadas. Este bloque inicia con el nombre MODEL.
- ✓ **Bloque de solución.** En este bloque se define que tipo de algoritmo se desea utilizar para desarrollar el modelo definido, esto se hace escribiendo que tipo de problema es, si es de programación lineal (LP), programación entera mixta (MIP), etc. Este bloque comienza con la palabra SOLVE.

Además de estos bloques obligatorios están los que son opcionales.

- ✓ **Bloque de conjuntos.** Inicia con la palabra SET, en este bloque se definen conjuntos generalmente índices y se le asigna valores a estos conjuntos.
- ✓ **Bloque de datos.** No es un único bloque, puede contener diferentes grupos. Se utiliza para definir valores constantes en el modelo, se pueden definir como parámetros (PARAMETERS), tablas (TABLES) y escalares (SCALARS).
- ✓ **Bloque de visualización.** Este bloque permite indicar la clase de salida de datos y el formato en el que se desea, comienza con la palabra DISPLAY. Para el presente trabajo de grado se dejará las salidas estándar que por defecto arroja GAMS.

Una vez que se ha escrito el modelo con los códigos de GAMS en el fichero de entrada, se llama un optimizador para que solucione el problema. Entre los optimizadores se destacan el CPLEX y OSL para problemas lineales (LP) y de programación entera mixta (MIP); para problemas de programación no lineal existen por ejemplo los optimizadores

MINOS Y CONOPT. Para el caso del presente trabajo de grado se utilizará CPLEX como el optimizador para solucionar el modelo.

CPLEX Es un algoritmo que sirve para resolver problemas de programación lineal y programación entera mixta, lee problemas que estén escritos en formatos estándar y los soluciona. Para el caso de los problemas de programación lineal se le muestra que es este tipo de problema con la sigla (LP), según sea el caso utiliza el método simplex en su versión dual o primal para resolverlos.

Cuando se soluciona el modelo, GAMS entrega en un fichero de salida con la extensión "lst". En este fichero aparecen los dos pasos de solución, el primero lo realiza GAMS y consiste en entregar una compilación del modelo, aquí se presenta el listado de ecuaciones que lo conforman y algunos datos estadísticos. El segundo paso son los resultados que arroja el optimizador. De una forma general se explican las partes que contiene el fichero de salida.

- ✓ **Compilación.** Consiste en la transformación de las instrucciones originales en código legible por el solver.
- ✓ **Listado de ecuaciones.** Aquí aparecen todas las ecuaciones del modelo que se han escrito, los errores de lenguaje GAMS los detecta directamente.
- ✓ **Listado de columnas o de variables.** En este listado aparecen relacionadas todas las variables y los coeficientes que hacen parte de cada ecuación.
- ✓ **Estadísticas del modelo.** Señala el número de variables y ecuaciones que contiene el modelo.
- ✓ **Resumen de la solución.** Se divide en dos partes la primera referenciada al proceso de solución, la segunda al valor de las variables.

Si se desea ampliar los conocimientos en GAMS se recomienda consultar a Brooke, A., Kendrick, D. and Meeraus, A. (1998) GAMS: A Users Guide GAMS Development Co. También se puede consultar [www.gams.com](http://www.gams.com). De igual forma en la librería de GAMS se encuentran documentos explicativos en formato PDF de este software, y los optimizadores con que trabaja.

En el anexo 10 se observa el fichero de entrada en GAMS del modelo planteado en este trabajo de grado. Adicional se ubican los bloques que se explicaron anteriormente, esto con el fin de facilitar un mejor entendimiento de la estructura con la que se debe trabajar en GAMS. Se aclara que estas especificaciones de donde se encuentra cada bloque, no está en el modelo al momento de correrlo. En este caso fue necesario utilizar dos de los bloques optativos, el de conjuntos y datos.

## 9 CONCLUSIONES

En el anexo 11 se encuentra el fichero de salida. A manera de ejemplo el modelo se corrió creando 5 escenarios dados por el cambio en la productividad de las empresas contratistas. Los datos que alimentan estos escenarios son los enlistados de las tablas 6 a la 19 y de la 23 a la 25. Estos parámetros no cambiaron en las 5 corridas, excepto el de la productividad de las empresas licitantes (ver tabla 23). En el primer fichero para el escenario de productividad 0.9, se identificarán los bloques de salida. La demanda que se introdujo al modelo fue la proyectada para el 2008 y sus unidades están en horas hombre, los resultados obtenidos en los escenarios son para el mismo año y para obtener el número de turnos se tendría que dividir por 10, que es lo que dura la jornada laboral en la central. En la tabla 28 están los resultados obtenidos.

Tabla 28. Resultados arrojados por GAMS para los 5 escenarios.

Modelos de prueba	$p_k$	Solución	Costo Total
Modelo mantenimiento 1	0.9	óptima	1.687.089.856
Modelo mantenimiento 2	1.1	óptima	1.380.346.246
Modelo mantenimiento 3	0.8	óptima	1.897.976.088
Modelo mantenimiento 4	1	óptima	1.518.380.870
Modelo mantenimiento 5	1.2	óptima	1.265.317.392

Fuente: Autor del proyecto. Valores en pesos.

- Como principal conclusión, se destaca la demostración cuantitativa de que el modelo cumple con la característica más importante para la dirección de mantenimiento, permite ver la sensibilidad del costo global del contrato de ejecución, a las modificaciones en los factores tenidos en cuenta en el modelo. En el caso particular de la tabla 28, se ve como hay una relación inversamente proporcional, entre la productividad de cada uno de los escenarios y el valor total del contrato. El modelo número 3 probado para un contratista con una productividad de un 80% (0.8) arroja el costo mayor, por el contrario el modelo

para el quinto escenario con productividad 120% (1.2), suministra el menor costo. Esto lo que permite ver es que definitivamente el ineficiente uso del recurso humano técnico por parte de la empresa contratista, al momento de ejecutar una tarea de mantenimiento lo termina pagando AES CHIVOR. El mayor costo del contrato con la empresa del escenario 3, se da precisamente por que la productividad con la que trabaja, aumenta el número real de turnos que consumiría con respecto a los que se proyectaron se demandarían para la realización de los trabajos de todas las estrategias. Por ejemplo, según la demanda proyectada las horas de supervisor eléctrico que se necesitarían para el presente año serian 3034, pero esta empresa con un 80% de productividad, al final del periodo realmente utilizaría el equivalente a 3413 horas (ver anexo 12) para poder cumplir con la proyección de trabajos. Por el contrario en el caso del escenario 5, esta empresa consumiría el equivalente a 2275 horas.

- Para un mejor aprovechamiento del modelo, año a año se debe ir depurando la información con que se alimenta. Debido a esto toma aún mayor importancia llegar al plan maestro de mantenimiento detallado para cada año, donde además de la programación de las intervenciones mayores e inspecciones, deben aparecer las nuevas tareas arrojadas por RCM, con su frecuencia y los recursos necesarios para su ejecución. Se debe llegar a tener la programación diaria de tareas de mantenimiento, de esta forma se obtendría una proyección de demanda del recurso humano técnico más exacta, ayudando esto a mejorar la calidad de los datos arrojados por el modelo.
- El mayor beneficio entregado por este trabajo de grado es precisamente poder contar con una herramienta, que permita conocer los posibles resultados al cambiar cualquiera de los parámetros que conforman el modelo. Esto apoya la toma de decisiones, lo cual es precisamente el objetivo principal de este modelo y de la Investigación de Operaciones como ciencia.

## 10 EVALUACIÓN AL CUMPLIMIENTO DEL ALCANCE Y OBJETIVOS PROPUESTOS.

El alcance y objetivo general del presente trabajo de grado en resumen le apuntan, al diseño de un modelo de decisión matemático, basado en la programación lineal, que permita conocer el número óptimo, de los turnos de disponibilidad a contratar de las diferentes especialidades técnicas, requeridos para ejecutar la carga de trabajos de mantenimiento pronosticada en los activos de la central hidroeléctrica de AES CHIVOR para cada año. Teniendo como objetivo minimizar el costo global del contrato de ejecución de las actividades de mantención. Se logro cumplir con este alcance y objetivo general, obteniendo con esto el modelo que se adecua a las necesidades de AES CHIVOR para planear la capacidad de ejecución de mantenimiento de la central.

En cuanto a los objetivos específicos la mayoría de ellos quedaron incluidos en el modelo. Como se mencionó, este se diseño teniendo en cuenta las inquietudes y necesidades transmitidas por la dirección de mantenimiento, las cuales se plantearon como objetivos. Se necesitaba una herramienta que suministrará una mayor exactitud en el presupuesto que cada año se debe asignar al área de mantenimiento por concepto de ejecución de sus actividades de mantención. El modelo entrega este valor de presupuesto.

Poder evaluar el efecto del cambio en las políticas del uso del recurso humano técnico en las diferentes estrategias de mantenimiento, fue otro de los factores que quedo incluido en el modelo, facilitando la visualización del impacto generado en el costo global del contrato de ejecución, debido a las modificaciones en esas políticas. Con esto se cumplió otro objetivo planteado.

Uno de los objetivos específicos propuestos más importantes, fue la posibilidad de empezar a tener como factor clave para la evaluación de las empresas licitantes su productividad al ejecutar las tareas de mantenimiento demandadas por la compañía. Se logro establecer una metodología para encontrar una productividad inicial para cada empresa contratista e incluirla en el modelo, y así poder observar los efectos de las diferencias de este factor entre las empresas.

Alimentar el modelo en si, estandariza el proceso de planeación de capacidad del recurso humano técnico para la realización de las actividades de mantenimiento en la compañía. Los requerimientos de información como la demanda de cada uno de los recursos técnicos por estrategia, la productividad de los licitantes y las políticas, exige la aplicación de las metodologías planteadas. Con esta característica se cumple otro de los objetivos.

Durante el desarrollo del presente trabajo de grado, las directivas del área debido al apoyo prestado y a los resultados obtenidos, conocieron y valoraron la importancia de la Investigación de operaciones como ciencia en el apoyo de toma de decisiones. Es importante aclarar que el perfeccionamiento del modelo, se dará a través de su uso y pruebas en cada periodo, acompañado de la comparación entre los resultados obtenidos con lo que realmente ocurrió en el periodo en evaluación.

## 11 BIBLIOGRAFIA

Salih O. Duffuaa, A. Raouf, John Dixon Campbell. Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. 1 Edición. Limusa Wiley.

Enrique Dounce Villanueva, Carlos López de León, Jorge Fernando Dounce Pérez Tagle. La Productividad en el Mantenimiento Industrial. Primera reimpresión México, 1998: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México.

Manual de Aplicación de Buenas Prácticas, Negocios de Generación de AES en Latinoamérica. Actualización N° 4. Octubre de 2006.

Hamdy A. Taha. Investigación de Operaciones. 5 Edición. 1995 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, México, D.F.

David R. Anderson, Dennis J. Sweeney, Thomas A. Williams. Estadística Para Administración y Economía. 7ª Edición, Volumen II. International Thomson Editores.

### REFERENCIAS SEÑALADAS EN EL ESTADO DEL ARTE

Aircraft maintenance workforce scheduling: A case study

Hesham K Alfares. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 1999. Vol. 5, Iss. 2; pg. 78 - 88, 11 pgs

Dietz, D.C. and Rosenshine, M. (1997), "Optimal specialization of a maintenance workforce", IIE Transactions, Vol 29, pp. 423-33.

Al - Zubaidi, H. and Christer, A.H. (1997), "Maintenance manpower modelling for a hospital building complex", European Journal of Operational Research, Vol. 99, pp. 603-18.

Maintenance control via mathematical programming

Al-Sultan, Khaled S., Duffuaa, Salih O.. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 1995. Vol. 01, Iss. 3; pg. 36

Roberts, S.M. and Escudero, L.F., "Scheduling of plant maintenance personnel ", Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 39 No. 3, 1983, pp. 323-43.

Roberts, S.M. and Escudero, L.F., "Minimum problem-size formulation for the scheduling of plant maintenance personnel", Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 39 No. 3, 1983, pp. 345-62.

## **REFERENCIAS ARTICULOS COMPLEMENTARIOS**

A generic conceptual simulation model for maintenance systems

S O Duffuaa, M Ben-Daya, K S Al-Sultan, A. A Andijani. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 2001. Vol. 7, Iss. 3; pg. 207, 13 pgs

Mathematical programming approaches for the management of maintenance planning and scheduling Duffuaa, S.O., Al-Sultan, K.S.. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 1997. Vol. 3, Iss. 3; pg. 163

Maintenance and quality: the missing link

Ben-Daya, M., Duffuaa, S.O.. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 1995. Vol. 01, Iss. 1; pg. 20

An extended model for the joint overhaul scheduling problem

Duffuaa, S, Ben-Daya, M. International Journal of Operations & Production Management. Bradford: 1994. Vol. 14, Iss. 7; pg. 37, 7 pgs

Improving maintenance quality using SPC tools

Duffuaa, Salih O. Ben-Daya, Mohamed. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Bradford: 1995. Vol. 01, Iss. 2; pg. 25

Brooke, A., Kendrick, D. and Meeraus, A. (1998) GAMS: A Users Guide GAMS Development Co.

Ramón Sala Garrido manual GAMS en español capítulo 14.

## ANEXOS

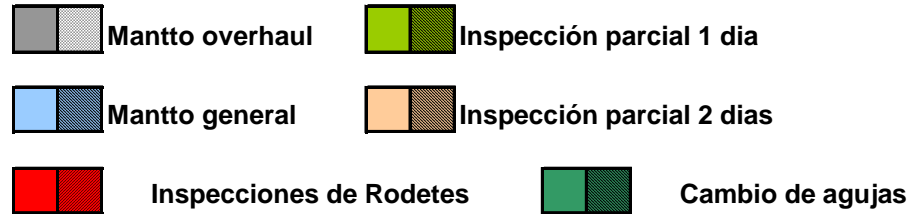
ANEXO 1 Programa de mantenimiento 2008



PROGRAMA DE MANTENIMIENTO 2008

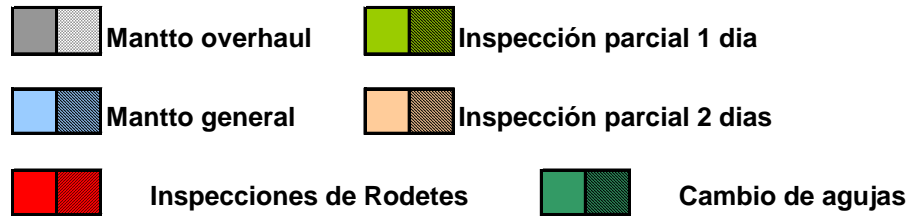
		ENERO					FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
UNIDAD 1	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 2	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 3	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 4	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 5	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 6	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 7	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 8	Programado																										
	Ejecutado																										

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.



		JULIO					AGOSTO					SEPTIEMBRE					OCTUBRE					NOVIEMBRE					DICIEMBRE				
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52				
<b>UNIDAD 1</b>	Programado		■												■																
	Ejecutado																														
<b>UNIDAD 2</b>	Programado									■											■										
	Ejecutado																														
<b>UNIDAD 3</b>	Programado														■																
	Ejecutado																														
<b>UNIDAD 4</b>	Programado	■									■																				
	Ejecutado																														
<b>UNIDAD 5</b>	Programado												■																		
	Ejecutado																														
<b>UNIDAD 6</b>	Programado													■																	
	Ejecutado																														
<b>UNIDAD 7</b>	Programado								■																		■				
	Ejecutado																														
<b>UNIDAD 8</b>	Programado									■																					
	Ejecutado																														

Fuente: AES CHIVOR & CIA S





**CHIVOR S.A. E.S.P**  
**CENTRAL HIDROELECTRICA DE CHIVOR**  
**PROGRAMA DE PARADA DE UNIDADES GENERADORAS**

**ENERO A DICIEMBRE DE 2008**

**Intervenciones por Unidad**

UNIDAD	FECHA INICIO	FECHA FIN	SEMANA N°	HORAS	DIAS	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO
1	04-feb-08	07-feb-08		82,0	3,42	Cambio de Agujas
1	30-abr-08	09-may-08		226,0	9,42	Vaciado Parcial - Limpieza trampa de Gravas Barras 1 y 3 – Sección 2 – Tramo 2-2 - TcT el 21 de abril
1	09-jul-08	09-jul-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
1	01-oct-08	01-oct-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
2	27-mar-08	27-mar-08		12,0	0,50	Inspección parcial de 1 día
2	30-abr-08	21-may-08		514,0	21,42	Mantenimiento General e Instalación de Sistema de Extinción. Barras 1 y 3 – Sección 2 – Tramo 2-2 - TcT el 21 de abril
2	27-ago-08	27-ago-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
2	12-nov-08	12-nov-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
3	30-abr-08	09-may-08		226,0	9,42	Vaciado Parcial - Limpieza trampa de Gravas Barras 1 y 3 – Sección 2 – Tramo 2-2 - TcT el 21 de abril
3	02-jun-08	24-jun-08		538,0	22,42	Mantenimiento General e Instalación de Sistema de Extinción.
3	05-oct-08	05-oct-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
4	27-feb-08	27-feb-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
4	30-abr-08	09-may-08		226,0	9,42	Vaciado Parcial - Limpieza trampa de Gravas Barras 1 y 3 – Sección 2 – Tramo 2-2 - TcT el 21 de abril
4	02-jul-08	03-jul-08		34,0	1,42	Inspección Parcial pre-overhaul

UNIDAD	FECHA INICIO	FECHA FIN	SEMANA N°	HORAS	DIAS	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO
4	01-sep-08	27-dic-08		2818,0	117,4	Mantenimiento Overhaul - Cambio de Bobinado - Inst Sistema de Excitación
5	15-ene-08	03-feb-08		466,0	19,42	Mantenimiento General e Instalación de Sistema de Exticación.
5	26-abr-08	26-abr-08		7,0	0,29	Barras 1 y 3 – Sección 2 – Tramo 2-1 - TcT el 25 y 29 de abril Inspección de Rodete
5	17-sep-08	17-sep-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
6	12-mar-08	12-mar-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
6	19-may-08	23-may-08		106,0	4,42	Cambio de Agujas
6	24-sep-08	24-sep-08		12,0	0,50	Inspección parcial de 1 día
7	25-feb-08	25-mar-08		706,0	29,42	Mantenimiento General e Instalación de Sistema de Exticación.
7	06-ago-08	06-ago-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
7	17-dic-08	17-dic-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
8	14-ene-08	14-ene-08		12,0	0,50	Revisión despues de Mantenimiento
8	22-abr-08	22-abr-08		7,0	0,29	Inspección de Rodete
8	20-ago-08	20-ago-08		12,0	0,50	Barras 1 y 3 – Sección 2 – Tramo 2-2 - TcT el 21 de abril Inspección parcial de 1 día
	<b>TOTAL</b>			6074,0	253,1	

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá

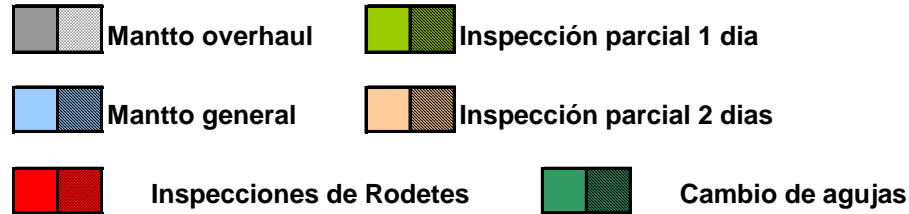
ANEXO 2 Programa de mantenimiento 2007



PROGRAMA DE MANTENIMIENTO 2007

		ENERO					FEBRERO				MARZO					ABRIL				MAYO				JUNIO			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
UNIDAD 1	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 2	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 3	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 4	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 5	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 6	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 7	Programado																										
	Ejecutado																										
UNIDAD 8	Programado																										
	Ejecutado																										

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.







**CHIVOR S.A. E.S.P**  
**CENTRAL HIDROELECTRICA DE CHIVOR**  
**PROGRAMA DE PARADA DE UNIDADES GENERADORAS**

**ENERO A DICIEMBRE DE 2007**

**Intervenciones por Unidad**

UNIDAD	FECHA INICIO	FECHA FIN	SEMANA N°	HORAS	DIAS	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO
1	16-abr-07	09-may-07	3 al 5	562,0	23,42	Mantenimiento General y Construcción de Fosos Colectores.
1	23-sep-07	23-sep-07		5,0	0,21	Sistema 125 VDC - Inspección de Rodete
1	21-nov-07	21-nov-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
2	10-abr-07	10-abr-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
2	23-sep-07	23-sep-07		5,0	0,21	Sistema 125 VDC - Inspección de Rodete
3	15-ene-07	03-feb-07	3 al 5	466,0	19,42	Construcción de Fosos Colectores, Cambio de Agujas ultima semana
3	11-may-07	11-may-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
3	08-ago-07	09-ago-07		34,0	1,42	Instalación de Traffo Rehabilitado
3	23-sep-07	23-sep-07		5,0	0,21	Sistema 125 VDC - Inspección de Rodete
4	12-mar-07	04-abr-07	11 a 13	560,0	23,33	Construcción de Fosos Colectores
4	12-may-07	12-may-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
4	21-ago-07	25-ago-07		106,0	4,42	Inspección de Estator (ALSTOM) pre reemplazo bobinado
4	23-sep-07	23-sep-07		5,0	0,21	Sistema 125 VDC - Inspección de Rodete
4	22-nov-07	22-nov-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
5	11-abr-07	11-abr-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
5	26-sep-07	30-sep-07	43	106,0	4,42	Cambio de Agujas - Sistema 125 VDC
5	13-dic-07	13-dic-07		10,0	0,42	Inspección parcial de 1 día
6	12-abr-07	12-abr-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
6	19-jun-07	13-jul-07	7 al 10	586,0	24,42	Mantenimiento General y Construcción de Fosos Colectores.

UNIDAD	FECHA INICIO	FECHA FIN	SEMANA N°	HORAS	DIAS	DESCRIPCION DE MANTENIMIENTO
6	30-sep-07	30-sep-07		5,0	0,21	Sistema 125 VDC - Inspección de Rodete
6	28-nov-07	28-nov-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
7	12-feb-07	06-mar-07	20 a 23	538,0	22,42	Construcción de Fosos Colectores, Cambio de Agujas ultima semana
7	31-jul-07	03-ago-07		82,0	3,42	Inspección de Rodete - Mantto Correctivo no programado
7	30-sep-07	30-sep-07		5,0	0,21	Sistema 125 VDC
7	14-dic-07	14-dic-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
8	05-feb-07	05-feb-07	6	10,0	0,42	Inspección parcial de 1 día
8	10-may-07	10-may-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
8	14-jul-07	14-jul-07		5,0	0,21	Inspección de Rodete
8	30-sep-07	30-sep-07		5,0	0,21	Sistema 125 VDC
8	01-oct-07	12-dic-07	37 a 47	1738,0	72,4	Mantenimiento Overhaul
	<b>TOTAL</b>			4888	203,67	

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

### ANEXO 3 Listado de tareas mantenimiento overhaul

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA BANCO DE TRANSFORMADORES</b>			
<b>1 MANTENIMIENTO DUCTOS DE TRANSFORMADORES</b>			
1.1	E - Limpieza de porcelanas y barraje	1,5 d	1 AE
1.2	E - Pruebas de aislamiento barraje	5 h	1 TE1
1.3	E - Lavado exterior de ductos	2 d	2 AE
1.4	E - Lijado ductos	5 d	2 AE
1.5	E - Pintado ductos	2 d	2 AE
<b>2 MANTENIMIENTO INSTRUMENTACION - GEM ELECTRONICO</b>			
2.1	I - Desmontaje cable tèrmico banco transformadores	5 h	1 IN, 1 TK1
2.2	I - Cambio de empaques y pruebas al bucholz, reles de sobrepresiòn e indicador nivel banco de transformadores	2 d	1 IN, 1 TK1
2.3	I - Limpieza, ajuste y calibraciòn termómetros banco de transformadores	2,5 d	1 IN, 1 TK1
2.4	I - Montaje cable tèrmico banco transformadores	5 h	1 IN, 1 TK1
<b>3 MANTENIMIENTO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>			
3.1	E - Pruebas iniciales de corriente y aislamiento a motoventiladores	5 h	1 OE2
3.2	E - Desmontaje motoventiladores y transporte a taller	1 d	1 OE2, 1 AE
3.3	E - Desacople de motoventiladores	5 h	1 OE2
3.4	E - Desarme y limpieza preliminar a motores (motoventiladores)	1 d	1 OE2
3.5	E - Limpieza, escoriado y pintura de canastillas y ventabiolas	6 d	2 AE
3.6	TIN - Alineaciòn ejes de rotores motores (motoventiladores)	2 d	1 TM2
3.7	E - Desacople de rodamientos a rotores de los motoventiladores	5 h	1 OE2

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA BANCO DE TRANSFORMADORES</b>			
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>		
3.8	E - Limpieza y pintura a estatores y carcasas motoventiladores e instalaci3n de rodamientos y acople con canastillas	7 d	1 OE2 (5d), 1 AE (2d)
3.9	TIN - Balanceo motoventiladores	7 d	1 TM2
3.10	E - Montaje motoventiladores y pruebas	1 d	1 OE2, 1 AE
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLEROS DE MANDO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Revisi3n, ajuste y limpieza a tableros de control motoventiladores	11 d	1 TE1
4.2	E - Limpieza, ajuste de borneras, cambio de rieles y marquillado a cajas de conexi3n motores	3 d	1 TE1
4.3	E - Revisi3n, ajuste y limpieza a caja de paso conexiones transformadores	1 d	1 TE1
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO TRANSFORMADORES DE POTENCIA - GEM ELECTRICO</b>		
5.1	E - Desconexi3n transformadores por alta y baja y toma de medidas de aislamiento	5 h	1 TE1
5.2	E - Lavado de radiadores y transformadores de potencia las tres fases	7 d	4 AE
5.3	E - Escoriado y pintura de radiadores y transformadores	7 d	4 AE
5.4	E - Conexionado por alta y baja	3 h	1 TE1
<b>6</b>	<b>INSTALACI3N DE PLATINAS PUESTA A TIERRA BANCO DE TRANSFORMADORES</b>		
6.1	E - Reforzamiento del sistema puesta a tierra (instalaci3n de platinas)	8 d	1 OE2
<b>7</b>	<b>LIMPIEZA DE BUJES (13,8 Kv; 230kV; Buje de Neutro; Pararrayos)</b>		
7.1	E - Revisi3n y limpieza de pararrayos y bujes (13,8Kv; 230Kv; Neutro)	2 d	1 OE2

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA CENTRO CONTROL MOTORES</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA Y PINTURA DEL BARRAJE DE ALIMENTACIÓN 480</b>		
1.1	E - Desmontaje, revisión, ajuste, limpieza, estañado y pintura del barraje de alimentación 480	10 d	1 TE2, 1 AE (1d)
<b>2 MANTENIMIENTO GAVETAS - GEM ELECTRICO</b>			
2.1	E - Desmontaje gabetas de alimentación	5 h	1 TE2
2.2	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gavetas alimentación bombas de aceite regulador (2 Gavetas)	1,5 d	1 TE2
2.3	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gavetas alimentación bombas de refrigeración (2 Gavetas)	1,5 d	1 TE2
2.4	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gavetas alimentación motores válvula esferica (3 Gavetas)	2,5 d	1 TE2
2.5	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación compresor regulador (1 Gaveta)	7 h	1 TE2
2.6	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación motoventiladores banco de transformadores y resistencias calentadores (1 Gaveta)	1 d	1 TE2
2.7	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación bomba de presión aceite chumacera (1 Gaveta)	7 h	1 TE2
2.8	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación PLC. (1 Gaveta)	7 h	1 TE2
2.9	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación control calefacción generador (1 Gaveta)	7 h	1 TE2
2.10	E - Montaje gabetas de alimentación	5 h	1 TE2
<b>3 LIMPIEZA Y AJUSTE DE TRANSFERENCIA CCM - GEM ELECTRICO</b>			
3.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de control transferencia e interruptores	3 d	1 TE2
<b>4 LIMPIEZA CONECTORES DE TABLERO</b>			
4.1	E - Desmontaje y limpieza a borneras enchufables de control y de fuerza (conectores, ubicados en los cubiculos )	2 d	1 TE2
<b>5 PINTURA DE CUBICULO Y PRUEBAS</b>			
5.1	E - Limpieza y retoques de pintura al cubiculo	4 d	1 AE
5.2	E - Pruebas	1 d	1 TE2

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA EQUIPOS SALA DE CONTROL</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA RELES ELECTRICOS EQUIPOS SALA DE CONTROL - GEM ELECTRONICO</b>		
1.1	C - Limpieza relès auxiliares de sincronizaciòn y pruebas	1 d	1 TK1
1.2	C - Desmontaje relès de selecciòn y preselecciòn	3 h	1 TK1
1.3	C - Limpieza y revisiòn relès de selecciòn y preselecciòn	3 d	1 TK1
1.4	C - Montaje relès de selecciòn y preselecciòn	5 h	1 TK1
1.5	C - Limpieza cubiculos y ajuste de conexiones	2 d	1 TK1

<b>MANTENIMIENTO SUBSISTEMA EXCITACIÒN</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE DE BARRAJES - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Revisiòn, ajuste y limpieza celdas 13,8 (barraje, resistencias, flexibles, borneras, condensadores y pararrayos)	5 d	1 TE1, 1 AE
<b>2</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE DE SECCIONADOR - GEM ELECTRICO</b>		
2.1	E - Revision, ajuste y limpieza del seccionador alimentador	1,5 d	1 TE1
<b>3</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE DE CTS Y PTS - GEM ELECTRICO</b>		
3.1	E - Revisiòn, ajuste y limpieza de CT`s y PT`s	1 d	1 TE1
<b>4</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE A EQUIPOS DEL COMPARTIMENTO DE BAJA TENSIÒN - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Revisiòn, ajuste y limpieza a equipos del compartimento de baja tensiòn.	5 h	1 TE1

<b>MANTENIMIENTO SUBSISTEMA SERVICIOS AUXILIARES PROPIOS</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE INTERRUPTOR - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Revisiòn, desarme, ajuste, limpieza y armado de interruptor	2 d	1 TE1
<b>2</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE SECCIONADOR - GEM ELECTRICO</b>		
2.1	E - Revisiòn, ajuste, limpieza y pruebas al seccionador	1,5 d	1 TE1

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>MANTENIMIENTO SUBSISTEMA SERVICIOS AUXILIARES PROPIOS</b>			
<b>3</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE TRANSFORMADOR SECO - GEM ELECTRICO</b>		
3.1	E - Toma medidas de aislamiento y TTR al transformador de 300 KVA e inspección preliminar	2 h	1 TE1
3.2	E - Revisión, ajuste y limpieza al transformador de 300 KVA	5 h	1 TE1
<b>4</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE CALEFACCIÓN Y PUESTAS A TIERRA - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de calefacción, borneras y puestas a tierra.	2 d	1 TE1
<b>5</b>	<b>LIMPIEZA Y CAMBIO DE FILTROS AL CUBICULO - GEM ELECTRICO</b>		
5.1	E - Revisión y cambio de bombillos	5 h	1 AE
5.2	E - Limpieza, retoques de pintura y cambio de filtros al cubiculo	2 d	1 AE
<b>6</b>	<b>CONEXIÓN DE AUXILIARES PROPIOS Y EXCITACIÓN - GEM ELECTRICO</b>		
6.1	E - Conexión transformador de 300 KVA y seccionadores	2 h	1 TE1
6.2	E - Pruebas y medidas de aislamiento finales al transformador e interruptores	5 h	1 TE1

<b>MANTENIMIENTO SUBSISTEMA SERVICIOS AUXILIARES GENERALES</b>			
<b>1</b>	E - Revisión, ajuste, limpieza y pruebas al seccionador	1.5 d	1 TE1
1.1	E - Toma medidas de aislamiento y TTR al transformador de 1500 KVA e inspección preliminar	5 h	1 TE1
1.2	E - Revisión, ajuste y limpieza al transformador de 1500 KVA	1 d	1 TE1
1.3	E - Revisión, desarme, ajuste, limpieza y armado del interruptor X15b	2 d	1 TE1
1.4	E - Limpieza y retoques de pintura a los cubiculos	5 h	1 AE
1.5	E - Limpieza y pruebas de aislamiento al barraje 480 auxiliares generales	3 d	1 TE1
1.6	E - Revisión, desarme, ajuste, limpieza y armado del interruptor	2 d	1 TE1
1.7	E - Conexión transformador de 1500 KVA y seccionador	2 h	1 TE1
1.8	E - Pruebas y medidas de aislamiento finales al transformador e interruptor	5 h	1 TE1

<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>			
<b>1</b>	<b>DESCONEXIONES Y MEDIDAS INICIALES - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Medidas de seguridad y pruebas de aislamiento PI	3 h	1 TE3, 1 OE1
1.2	E - Montaje de alumbrado	2 h	1 OE1, 1 AE
1.3	E - Desconexión punto estrella del generador	2 h	1 TE3, 1 OE1
1.4	E - Medidas de aislamiento rotor, estator, anillo porta escobillas y colector	4 h	1 TE3
1.5	E - Desconexión barraje sistema de excitación	2 h	1 TE3, 1 OE1
1.6	E - Desconexión de RTD`S, control temperatura	2 h	1 TE3, 1 OE1

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>		
<b>1</b>	<b>DESCONEXIONES Y MEDIDAS INICIALES - GEM ELECTRICO</b>		
1.7	E - Desconexión micros gatos de frenado	2 h	1 TE3
1.8	E - Desconexión bandejas portables sistema de excitación	2 h	1 TE3, 1 OE1
1.9	E - Desconexión micro sobrevelocidad	2 h	1 TE3, 1 OE1
<b>2</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Alistamiento de accesorios para el desmontaje	5 h	1 TM3, 1 OM1, 2 AM
2.2	M - Medidas de seguridad	1 h	1 TM3, 1 AM
2.3	M - Toma de niveles, muestra, lectura de temperatura y retiro de aceite (CGS, CGI e intercambiador de calor)	8 h	1 TM3 (1h)
2.4	M - Centrifugado de aceite	3 d	1 TM3 (2h)
2.5	M - Limpieza general y desmontaje del recinto escobillas	4 h	1 TM3, 1 AM
2.6	M - Limpieza general y desmontaje de la plataforma	5 h	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
2.7	M - Desmontaje del anillo desviador superior de aceite	2,5 h	1 TM3, 1 AM
2.8	M - Desmontaje desviador inferior de aceite	1 d	1 TM2, 1 OM1, 2 AM
2.9	M - Desacople entre el eje inferior y el rotor	1 d	1 TM2, 1 OM1, 1 AM
2.10	M - Desmontaje de tapas y soporte cojinetes guía superior	3 h	1 TM3, 1 OM1, 1 AM
2.11	M - Desmontaje anillo bomba	1 h	1 TM3, 1 AM
2.12	M - Desmontaje collarin	3 h	1 TM3, 1 OM1, 2 AM
2.13	M - Desmontaje mensula superior	5 h	1 TM3, 1 OM1, 2 AM
2.14	M - Desmontaje de rotor	4 h	1 TM3, 1 TM2 8 Ay (adicionales por 2h)
2.15	M - Desmontaje eje y cojinetes guía inferior	2 h	1 TM3, 1 OM1, 2 AM
2.16	M - Desmontaje gatos de frenado	8 h	1 TM3, 2 AM
2.17	M - Desmontaje guardapolvo inferior	2 h	1 TM3, 1 AM
2.18	M - Desmontaje mangueras y válvulas globo de drenaje radiadores	5 h	1 OM1, 1 AM
2.19	M - Desmontaje radiadores e intercambiador de calor	2 d	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
2.20	M - Desmontaje válvulas de entrada y salida de cada uno de los radiadores y caudalímetros	1 d	1 TM2, 1 OM1, 2 AM
2.21	M - Alistamiento de mensula superior y accesorios para alineación y nivelación de centro	2 d	1 TM2, 1 OM1, 1 AM
2.22	M - Alineación y nivelación de centro (para desmontaje de mensula inferior)	2,5 d	1 TM3, 1 TM2, 2 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>		
<b>2</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
2.23	M - Desmontaje mensula inferior	1 h	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Organizar área de desmontaje generador y sala de montaje	5 h	1 TM3, 1 OM1, 2 AM
3.2	M - Limpieza anillo bomba	3 h	1 AM
3.3	M - Desacople, limpieza, lijado y acople del collarin	4 d	1 TM3, 1 AM(1dia)
3.4	M - Desacople, limpieza, ajuste, pintura y acople de mensula superior	8 d	1 TM2, 1 OM1, 1 AM
3.5	M - Acople de mensula superior con todos sus elementos	3 d	1 TM2, 1 OM1, 1 AM
3.6	M - Desacople de cojinetes guia infeior y eje inferior	3 h	1 TM3, 1 OM1, 1 AM
3.7	M - Registro de medidas de los cojinetes guia inferior y el eje	1 d	1 TM3, 1 OM1
3.8	M - Limpieza y lijado del eje inferior y base rotor	1,5 d	1 TM2, 1 AM
3.9	M - Desacople, limpieza, ajuste, pintura y acople gatos de frenado	10 d	1 TM1, 1 AM
3.10	M - Limpieza y ajuste eje superior rotor	2 d	1 TM1, 1 AM
3.11	M - Lavado y pintura de plataforma	2 d	1 AM
3.12	M - Limpieza, ajuste y pintura mensula inferior	2 d	1 OM1, 1 AM
3.13	M - Limpieza y ajuste media lunas collarin	1 d	1 OM1
3.14	TI - Ajuste cojinetes guia inferior	7 d	1 TM2
3.15	M - Limpieza, ajuste y pintura de anillo desviador superior de aceite	2 d	1 TM1, 1 AM
3.16	M - Limpieza, ajuste y pintura a desviador inferior de aceite	2 d	1 TM1, 1 AM
3.17	M - Limpieza, ajuste y pintura al soporte de cojinetes guia superior	4 d	1 TM1, 1 AM
3.18	M - Limpieza, ajuste y pintura del anillo cortaaceite	4 h	1 AM
3.19	M - Acople del cojinete guia inferior al eje	3 h	1 TM3, 1 OM1, 1 AM
3.20	M - Montaje de tapas inferiores al CGI	2 h	1 AM
3.21	M - Limpieza y pintura guardapolvo inferior	1 d	1 OM1, 1 AM
3.22	TI - Ajuste de cojinetes guia superior	8 d	1 TM2
3.23	M - Limpieza y rectificaciòn de roscas cojinetes guia superior	5 h	1 OM1
3.24	M - Limpieza, ajuste y pintura base gatos de frenado	5 h	1 OM1, 1 AM
3.25	M - Limpieza y pintura anillo distribuidor de aceite cojinetes de empuje	1 d	1 AM
3.26	M - Limpieza, ajuste y pintura al tubo corta aceite	4 h	1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>		
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
3.27	M - Limpieza, ajuste, elaboración de empaques, lavado de tornillería y pintura de la tubería de gatos	2 d	1 TM1
3.28	M - Limpieza, ajuste, elaboración de empaques, lavado de tornillería y pintura de la tubería de aceite y vapor de aceite	2 d	1 TM1
3.29	M - Limpieza y ajuste a las laminas y tuercas de los esparragos del rotor	5 h	1 AM
3.30	M - Ajuste base mensula infeior	1 d	1 AM
3.31	M - Limpieza, ajuste y pintura de bridas radiadores e intercambiador de calor y fabricaiòn de empaques	1,5 d	1 TM1, 1 AM
3.32	M - Suprimir tubería de 3/4" intercambiador, tapar válvula de drenaje y traslado de tubería de purga 1/2" y válvula de paso	2 d	1 TM3, 1 AM, 1 S1 (5h)
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO SERVOMOTOR DE DEFLECTORES - GEM MECANICO</b>		
4.1	M - Desmontaje servomotor de deflectores	8 h	1 TM2, 1 AM
4.2	M - Despiece, lavado, cambio de juntas y sellos, control dimensional, armado, pintura, y pruebas al servomotor	4 d	1 TM2, 1 AM
4.3	M - Montaje servotor	1 d	1 TM2, 1 AM
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO ESTATOR - GEM ELECTRICO</b>		
5.1	E - Montaje de iluminación y ventilaciòn en el estator	5 h	1 OE1, 1 AE
5.2	E - Limpieza preliminar del estator	1 d	4 AE, 2 OE1
5.3	E - Mapeo de cuñas y Marcaciòn	2 d	5 TE2, 2 OE2, 4 AE
5.4	E - Soltar cuñas seleccionadas del estator	3 d	5 TE2, 2 OE2, 4 AE
5.5	E - Sopleteado (estator)	5 h	2 AE
5.6	E - Limpieza con churruscos a los canales de ventilaciòn	2,5 d	5 TE2, 2 OE2, 4 AE
5.7	E - Sopleteado	5 h	2 AE
5.8	E - Limpieza en seco	5 h	2 AE
5.9	E - Medir cinta semiconductora	1 d	2 TE2, 2 OE1
5.10	E - Retiro de cápsulas inferiores	1 d	1 TM2, 1 OE1, 1 AE
5.11	E - Acuñaado del estator	14 d	8 TE2, 2 OE2, 6 AE
5.12	E - Elaboraciòn de amarres, ajuste tèrmico y barnizado	1 d	4 TE2, 2 OE2
5.13	E - Montaje de capsulas	1 d	1 TM2, 1 OE1, 1 AE

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>		
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO ESTATOR - GEM ELECTRICO</b>		
5.14	E - Desmontaje iluminación y ventilación en el estator	5 h	1 OE1, 1 AE
5.15	E - Sopleteado del estator	5 h	1 AE
5.16	E - Reparación efectos corona	1 d	1 TE3
5.17	E - Corrección bloque de chapas del estator	1 d	1 TE3, 1 OE2
5.18	E - Limpieza con thinner al estator	5 h	1 OE1, 1 AE
5.19	E - Prueba toroide	1,5 d	1 TE3 y 1 O E2 (5h)
5.20	E - Pintura del estator	1 d	1 OE2, 2 AE
5.21	E - Prueba de alta tensión estator	5 h	1 TE3, 1 TE2, 1 OE2
<b>6</b>	<b>MANTENIMIENTO ROTOR - GEM ELECTRICO</b>		
6.1	E - Limpieza y ajuste de cuñas del rotor	8 d	4 AE, 2 OE1
6.2	E - Pintura rotor	1 d	4 AE, 2 OE1
<b>7</b>	<b>LIMPIEZA INTERCAMBIADOR DE POLARIDAD - GEM ELECTRICO</b>		
7.1	E - Revisión, ajuste y limpieza del Intercambiador de polaridad (Solo para máquinas de chivor II)	2 d	1 OE2
<b>8</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE BARRAJE EQUIPOTENCIAL - GEM ELECTRICO</b>		
8.1	E - Limpieza y ajuste barraje (anillo) equipotencial	1 d	1 OE1
<b>9</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE CONEXIÓN BARRAJE 13,8KV - GEM ELECTRICO</b>		
9.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de CT'S, flexibles, salidas 13,8, salidas neutro, barraje de neutro	4 d	1 OE2, 1 AE
<b>10</b>	<b>MANTENIMIENTO ANILLO COLECTOR - GEM ELECTRICO</b>		
10.1	E - Limpieza previa del anillo	3 h	1 AE
10.2	TIN - Rectificación del anillo colector	7 d	1 Tornero
10.3	E - Desarme y limpieza del anillo colector	5 h	1 OE1
10.4	E - Elaboración de aspas	1,5 d	1 OE1
10.5	E - Instalación de aspas en el anillo y pintura final	5 h	1 OE1
<b>11</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE CAJAS DE PASO GENERADOR - GEM ELECTRICO</b>		
11.1	E - Revisión, ajuste y limpieza cajas de paso recinto generador	3 d	1 TE3
<b>12</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN - GEM ELECTRICO</b>		
12.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de tableros distribución	1,5 d	1 TE3
<b>13</b>	<b>LIMPIEZA MICROS GATOS DE FRENADO - GEM ELECTRICO</b>		
13.1	E - Revisión, ajuste, limpieza y conexión de micros gatos de frenado	2 d	1 OE2

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>		
<b>14</b>	<b>MANTENIMIENTO BOMBA ALTA PRESIÓN - GEM ELECTROMECAÁNICO</b>		
14.1	M - Limpieza bomba de alta presión y lavado de filtros	3 h	1 AE
14.2	E - Limpieza, pruebas y pintura al motor de la bomba de alta presión	3 h	1 AE
<b>15</b>	<b>MANTENIMIENTO PUESTA A TIERRA GENERADOR - GEM ELECTRICO</b>		
15.1	E - Revisión, ajuste, limpieza y pintura de transformador puesta a tierra	4 d	1 OE2
15.2	E - Revisión puesta a tierras del generador	1 d	1 TE3
<b>16</b>	<b>LIMPIEZA MOTOR EXTRACTOR DE VAPORES - GEM ELECTRICO</b>		
16.1	E - Limpieza, pruebas y pintura al motor extractor de vapores	5 h	1 AE
<b>17</b>	<b>MANTENIMIENTO RECINTO ESCOBILLAS DEL GENERADOR - GEM ELECTROMECAÁNICO</b>		
17.1	E - Limpieza, ajuste y pintura del recinto escobillas	4 d	1 OE1, 1 AE
17.2	E - Instalación de la tubería para la iluminación del recinto	1,5 d	1 OE1, 1 AE
17.3	E - Cableado para la iluminación del recinto	2 d	1 OE1, 1 AE
<b>18</b>	<b>MONTAJE ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
18.1	M - Montaje mensula inferior y alineación	3 h	1 TM3, 1 AM
18.2	M - Montaje gatos de frenado	1 d	1 TM3, 2 AM
18.3	M - Nivelación gatos de frenado	5 h	1 TM3, 1 AM
18.4	M - Montaje tubería de aceite gatos de frenado	1,5 d	1 TM3, 1 AM
18.5	M - Montaje guardapolvo inferior	5 h	1 TM3, 1 AM
18.6	M - Montaje eje y cojinetes guía inferior	1,5 d	1 TM3, 1 OM1, 2 AM
18.7	M - Acople entre el eje inferior y el rotor	1 d	1 TM2, 1 OM1, 1 AM
18.8	M - Montaje del rotor	4 h	1 TM3, 1 TM2 8 Ay (adicionales por 2h)
18.9	OC - Nivelación bases estator mensula superior	3 h	.
18.10	M - Limpieza y ajuste bases estator mensula superior	5 h	1 AM
18.11	M - Montaje mensula superior	2 d	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
18.12	M - Montaje plataforma	5 h	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
18.13	M - Montaje de collarín	1 d	1 TM3, 1 OM1, 2 AM
18.14	M - Centrado de rotor	5 h	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
18.15	M - Montaje anillo bomba	5 h	1 TM3, 1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>			
18.16	M - Montaje soporte cojinetes guía superior	1 d	1 TM3, 1 OM1, 1 AM
18.17	M - Calibración cojinetes guía superior	5 h	1 TM3, 1 TM2, 1 AM
18.18	M - Montaje de tapas soporte cojinetes guía superior	7 h	1 OM1, 1 AM
18.19	M - Pruebas de giro	7 h	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
18.20	M - Montaje desviador inferior de aceite	1 d	1 TM2, 1 OM1, 2 AM
18.21	M - Montaje desviador superior de aceite	5 h	1 TM3, 1 AM
18.22	M - Montaje del recinto escobillas	5 h	1 TM3, 1 AM
18.23	M - Acople y montaje de válvulas de entrada y salida de cada uno de los radiadores y caudalímetros	2 d	1 TM2, 1 OM1, 2 AM
18.24	M - Montaje de radiadores e intercambiador de calor	2 d	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
18.25	M - Instalación válvula de registro nueva para drenaje de radiadores	3 h	1 TM3
<b>19 MANTENIMIENTO CALEFACCION GENERADOR - GEM ELECTRICO</b>			
19.1	E - Desmontaje de calefactores	4 h	1 OM2
19.2	E - Revisión, ajuste y limpieza a calefactores	4 d	1 OM2
19.3	E - Montaje calefactores	8 h	1 OM2
19.4	E - Revisión, ajuste y limpieza de control calefacción generador	2 d	1 OM2
20	<b>MONTAJE MULTITOMAS EN EL GENERADOR</b>	3 d	1 TE1, 1 OE2, 1 AE
<b>21 MANTENIMIENTO RECINTO GENERADOR - GEM MECANICO</b>			
21.1	M - Escoriado, pulido, limpieza y aplicación de araldit a cubiculos recinto generador	3 d	1 TM2, 1 OM1, 1 AM
21.2	M - Limpieza y Pintura recinto generador	8 d	1 OM1, 3 AM
<b>22 MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN - GEM ELECTRONICO</b>			
22.1	I - Desmontaje termómetros y sensores de vibración CGI	3 h	1 IN
22.2	I - Desmontaje rele nivel de aceite CGI	2,5 h	1 IN
22.3	I - Desmontaje sensores de vibración CGS	2 h	1 IN
22.4	I - Retiro de bulbos termómetros CGS	1 h	1 IN
22.5	I - Retiro de bulbos cojinetes de empuje	1 h	1 IN
22.6	I - Desconexión nivel de aceite CGS	1 h	1 IN
22.7	I - Retiro de capilares y el dial de termómetros (antiguos)	3 d	1 IN

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>			
<b>22</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN - GEM ELECTRONICO</b>		
22.8	I - Desmontaje PT100 radiadores generador	4 h	1 IN
22.9	I - Desmontaje sensores e interruptores caudalímetros radiadores	5 h	1 IN, 1 TK1
22.10	I - Montaje rele nivel de aceite CGI y conexionado nivel de aceite CGS	5 h	1 IN
22.11	I - Montaje y calibración sensores de vibración a CGI y CGS	5 h	1 IN, 1 TK1
22.12	I - Montaje sensores e interruptores de caudalímetros radiadores	5 h	1 IN, 1 TK1
22.13	I - Montaje PT100 radiadores generador	5 h	1 IN, 1 TK1
23	<b>LIMPIEZA DE INTERRUPTOR CENTRIFUGO</b>	1 d	1 TE3
<b>24</b>	<b>MANTENIMIENTO COMPRESOR DE FRENADO</b>		
24.1	M - Desmontaje compresor de frenado	4 h	1 TM1
24.2	M - Despiece, lavado, control dimensional de piezas, cambio de rodamientos, ajuste de sellos y limpieza a válvulas de alta y baja, armado, pintura, adiconamiento de aceite y pruebas al compresor de frenado	2,5 d	1 TM1
24.3	M - Montaje compresor de frenado	4 h	1 TM1
<b>25</b>	<b>CONEXIONES PARA PUESTA EN SERVICIO</b>		
25.1	M - Adición de aceite	1 d	1 TM3 (1h)
25.2	E - Conexiones RTD'S, excitación, control temperatura	3 h	1 TE3, 1 OE1
25.3	E - Conexiones recinto de escobillas	5 h	1 TE3, 1 OE1
25.4	E - Conexiones punto estrella y salidas 13,8 KVA	5 h	1 TE3, 1 OE1
25.5	E - Pruebas finales	1 d	1 TE3, 1 OE1

<b>SUBSISTEMAS PROTECCIONES</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO SUBSISTEMA PROTECCIONES</b>		
1.1	C - Revisión de parámetros a las protecciones	2 d	1 TK1
1.2	C - Ajuste de bornas tablero + RU protecciones	1 d	1 TK1

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REFRIGERACIÓN</b>			
<b>1</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>		
1.1	E - Desconexión y aislamiento de terminales motores bombas de refrigeración y de compuertas planas	2 h	1 TE1
1.2	I - Desmontaje presostatos y manómetros bombas de refrigeración	2 h	1 IN
1.3	M - Desmontaje motores bombas de refrigeración	5 h	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
1.4	M - Desmontaje filtros salida de bomba	5 h	1 OM2
1.5	M - Desmontaje bombas de refrigeración	1 d	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
1.6	M - Desmontaje válvulas cheque	5 h	1 OM2, 1 AM
1.7	M - Desmontaje válvulas de 12 pulgadas	5 h	1 OM2, 1 AM
1.8	M - Desmontaje válvulas de entrada y salida radiadores, CGS y CGI	5 h	1 TM1
1.9	M - Desmontaje compuertas planas	4 h	1 OM2, 1 AM
1.10	M - Desmontaje rieles de compuertas planas	2 h	1 OM2, 1 AM
1.11	M - Revisión ejes de accionamiento compuertas planas	1 h	1 TM1
1.12	M - Revisión anclajes de soporte compuertas planas	1 h	1 TM1
1.13	M - Traslado de válvulas, bombas, compuertas planas y demas elementos al área de intervención (taller de soldadura)	5 h	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Lavado de filtros salida de bomba (los dos)	4 h	1 AM
2.2	M - Desarme, lavado, saneado, pintura y armado de bomba de refrigeración (solo una), válvulas cheque (las dos), válvulas de entrada y salida de radiadores CGS y CGI (todas)	10 d	1 TM1, 1 OM2, 1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REFRIGERACIÒN</b>			
2.3	M - Limpieza y modificaciòn de tornilleria	4 d	1 OM2
<b>3 MANTENIMIENTO COMPUERTAS PLANAS - GEM MECANICO</b>			
3.1	M - Saneado, pintado, cambio de tornilleria y bujes a las compuertas planas	1,5 d	1 OM2
3.2	M - Saneado, cambio de tornilleria y reconstrucciòn limites de carrera a rieles de compuertas planas	5 h	1 OM2
3.3	M - Elaboraciòn de la platina donde se encajan las compuertas planas	5 h	1 OM2
<b>4 MANTENIMIENTO TUBERIAS CIRCUITO DE REFRIGERACIÒN - GEM MECANICO</b>			
4.1	M - Saneado, pulido y pintado tuberias de 12 pulgadas	3 d	1 AM
4.2	M - Cambio tuberia 2 pulgadas colector de radiadores	3 d	1 TM1
4.3	M - Cambio tuberia de purga 1/2 pulgada radiadores	3 d	1 TM1
<b>5 MANTENIMIENTO POZO DE BOMBAS - GEM MECANICO</b>			
5.1	M - Extracciòn de agua pozo de bombas	4 h	1 OM2
5.2	M - Elaboraciòn escalera del pozo	1 d	1 OM2
5.3	M - Extracciòn sedimento pozo de bombas	1 d	2 AM
<b>6 MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS SUBISTEMA REFRIGERACIÒN - GEM ELECTRICO</b>			
6.1	E - Desarme, limpieza, cambio de rodamientos, pintura y armado de motores bombas de refrigeraciòn	6 d	1 TE1
6.2	E - Limpieza, pruebas de aislamiento, corriente y revisiòn general a los motores de las compuertas planas	1 d	1 TE1
6.3	E - Revisiòn, ajuste y limpieza ha control compuertas planas (contactores principal, reserva, micros y finales de carrera)	1,5 d	1 TE1
<b>7 MONTAJE ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>			
7.1	M - Traslado de válvulas, bombas, compuertas planas y demas elementos al subsistema de refrigeraciòn	5 h	1 TM1, 1 OM2, 1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REFRIGERACIÓN</b>			
<b>7</b>	<b>MONTAJE ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>		
7.2	M - Montaje válvulas de 12 pulgadas, limpieza de bridas y cambio de empaques	1 d	1 OM2, 1 AM
7.3	M - Montaje válvulas cheque, limpieza de bridas y cambio de empaques	1 d	1 OM2, 1 AM
7.4	M - Montaje válvulas de entrada y salida radiadores, CGS y CGI, limpieza de bridas y cambio de empaques	1 d	1 TM1
7.5	M - Instalación escalera del pozo	5 h	1 OM2, 1 AM
7.6	M - Montaje rieles de carrera compuertas planas	2 h	1 OM2, 1 AM
7.7	M - Montaje compuertas planas	5 h	1 OM2, 1 AM
7.8	M - Montaje bombas de refrigeración	1 d	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
7.9	M - Montaje filtros salida de bomba	5 h	1 OM2
7.10	M - Montaje motores bombas de refrigeración	5 h	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
7.11	I - Montaje presostatos y manómetros bombas de refrigeración	3 h	1 IN
7.12	E - Conexiones motores bombas de refrigeración y compuertas planas	2 h	1 TE1

<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS SUBSISTEMA OLEONEUMATICO - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Desconexión, aislamiento de terminales y toma medidas de aislamiento a motores	2 h	1 TE1
1.2	M - Desmontaje motores regulador de velocidad	5 h	1 TM1
1.3	E - Desarme, limpieza, cambio de rodamientos, pintura y armado de motores regulador de velocidad	6 d	1 TE1
1.4	M - Montaje y alineación de motores regulador de velocidad	1 d	1 TM1
1.5	E - Conexión motores	2 h	1 TE1

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>			
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO VÁLVULAS REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Despresurizar y retirar el aceite del sistema oleohidráulico	7 h	1 TM1
2.2	M - Desmontaje válvulas principal, 20Q, interceptación, cheques, limitadora de presión, sobre velocidad, S20Q, S65, globo, cierre de emergencia inyectores y tubería asociada a las válvulas y bombas	3,5 d	1 TM1
2.3	M - Desarme, lavado, saneado, pintura, cambio de juntas y demás elementos fuera de tolerancia y armado de válvulas principal, 20Q, interceptación, cheques, limitadora de presión, sobre velocidad, S20Q, S65, globo, cierre de emergencia inyectores.	5 d	1 TM1
2.4	M - Limpieza y cambio de juntas a la tubería asociada a las bombas y válvulas	2 d	1 TM1
2.5	M - Montaje válvulas principal, 20Q, interceptación, cheques, limitadora de presión, sobre velocidad, S20Q, S65, globo, cierre de emergencia inyectores y tubería asociada a las válvulas y bombas.	4 d	1 TM1
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO BOMBAS REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Desmontaje bombas regulador de velocidad	4 h	1 TM1
3.2	M - Desarme, lavado, control dimensional de piezas, cambio de retenedores y armado de bombas regulador	2,5 d	1 TM1
3.3	M - Montaje bombas regulador de velocidad	6,5 h	1 TM1
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN - GEM ELECTRONICO</b>		
4.1	I - Desmontaje presostatos y manómetros regulador de velocidad	4 h	1 IN
4.2	I - Desmontaje válvulas de seguridad compresor y tanques aire regulador	2 h	1 IN
4.3	I - Cambio de sellos y calibración válvulas de seguridad	5 h	1 IN
4.4	I - Limpieza y revisión sensores magnéticos control nivel de aceite regulador de velocidad	5 h	1 IN
4.5	I - Montaje presostatos, manómetros regulador de velocidad, válvulas de seguridad compresor y tanques	7 h	1 IN

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>			
<b>5 MANTENIMIENTO TANQUES - GEM MECANICO</b>			
5.1	M - Desmontaje, limpieza, cambio de juntas y montaje de bridas del tanque colector	1 d	1 TM1
5.2	M - Desmontaje, limpieza y cambio de juntas indicador de nivel	6 h	1 TM1
5.3	M - Desmontaje bridas del indicador de nivel y bridas independientes tanque acumulador	6 h	1 TM1
5.4	M - Desmontaje tapa tanque acumulador y cambio de junta	6 h	1 TM1, 1 AM
5.5	M - Centrifugado de aceite	5 d	1 d de un 1 TM1
5.6	M - Rectificar sellos, limpieza y cambio de juntas bridas indicador de nivel y bridas independientes tanque acumulador	1 d	1 TM1
5.7	M - Lavado interno tanque acumulador y colector	1,5 d	1 TM1, 1 AM
5.8	M - Pintura tanques acumulador y colector	2 d	1 AM
5.9	M - Montaje tapa tanque acumulador	5 h	1 TM1, 1 AM
5.10	M - Montaje bridas del indicador de nivel y bridas independientes tanque acumulador	7 h	1 TM1
5.11	M - Montaje indicador de nivel	1 h	1 TM1
<b>6 MANTENIMIENTO FILTROS - GEM MECANICO</b>			
6.1	M - Desmontaje, lavado y montaje de filtros de inyectores y deflectores	2 d	1 TM1, 1 AM
6.2	M - Limpieza toberas y filtros de servoválvulas	1,5 d	1 AM
<b>7 MANTENIMIENTO COMPRESOR - GEM MECANICO</b>			
7.1	M - Desmontaje compresor regulador y motor	4 h	1 TM1
7.2	M - Despiece, lavado, control dimensional de piezas, cambio de rodamientos, ajuste de sellos y limpieza a válvulas de alta y baja, armado, pintura, adicionamiento de aceite y pruebas al compresor regulador.	2,5 d	1 TM1
7.3	E - Desarme, limpieza, cambio de rodamientos, pintura y armado del motor compresor del regulador	3 d	1 TE1

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>		
<b>7</b>	<b>MANTENIMIENTO COMPRESOR - GEM MECANICO</b>		
7.4	M - Montaje compresor regulador y motor	5 h	1 TM1
<b>8</b>	<b>PINTURA CIRCUITO HIDRAULICO - GEM MECANICO</b>		
8.1	M - Desacople, cambio de empaques, limpieza, acople y pintura de la tubería asociada a distribución	15 d	1 AM
<b>9</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLERO REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM ELECTRONICO</b>		
9.1	C - Cambio de indicaciones defectuosas	5 h	1 TK2
9.2	C - Revisión y ajuste de borneras a tablero y cajas de paso DTL	2 d	1 TK2
9.3	C - Desarme, limpieza y prueba relés DTL	2 d	1 TK2
9.4	C - Desarme y limpieza módulos DTL	3 d	1 TK2
9.5	C - Calibración parámetros software equipo DTL	1 d	1 TK2
9.6	C - Desarme, limpieza y prueba relés PLC unidad	2 d	1 TK2
9.7	C - Limpieza cubículo DTL	1 d	1 TK2
9.8	C - Pruebas locales sistema regulador	1 d	1 TK2
<b>10</b>	<b>REVISIÓN SENSORES DE VELOCIDAD Y POSICIÓN AGUJAS - GEM ELECTRONICO</b>		
10.1	C - Desmontaje y revisión cableado sensores de velocidad y posición de agujas	2 d	1 TK2
<b>11</b>	<b>PRUEBAS SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM MECANICO</b>		
11.1	M - Adición de aceite al sistema	5 h	1 TM1
11.2	M - Presurización del sistema	8 h	1 TM1
11.3	M - Calibración de servoválvulas	2 h	1 TM1
11.4	M - Pruebas de funcionamiento al sistema	5 h	1 TM1
	<b>SUBSISTEMA SUPERVISIÓN LOCAL</b>		
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA Y PRUEBAS PANEL DE ALARMAS - GEM ELECTRONICO</b>		
1.1	C - Revisión, limpieza y prueba de relés módulos y tarjetas de anunciador	2 d	1 TK2

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA TURBINA</b>		
<b>1</b>	<b>PINTURA DEL CARACOL - GEM MECANICO</b>		
1.1	M - Limpieza y pintura del caracol	4 d	1 OM1, 1 AM
<b>2</b>	<b>CAMBIO DE RODETE PELTON - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Desmontaje rejillas parte superior	1 h	1 OM1, 1 AM
2.2	M - Desmontaje puerta recinto turbina y colocación de entablado	2 h	2 AM
2.3	M - Desacoplar ejes de los deflectores	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
2.4	M - Colocar rieles y carro de soporte rodete	2 h	2 AM
2.5	M - Retirar rodete y trasladar a sala de desmontaje	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
2.6	M - Retirar anillo corta-agua	1 h	1 OM1, 1 AM
2.7	M - Montar anillo corta-agua	1 h	1 OM1, 1 AM
2.8	M - Montaje rodete	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
2.9	M - Retirar rieles, carro de soporte rodete y demás elementos	2 h	2 AM
2.10	M - Montaje puerta recinto y retiro de entablado	2 h	2 AM
<b>3</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS SUBSISTEMA TURBINA - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Desmontaje campana	4 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
3.2	M - Toma de medidas de la caja de aire con respecto al eje inferior	2 h	1 TM1, 1 OM1
3.3	M - Desmontaje caja y tubería de aire	5 h	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
3.4	M - Desmontaje anillo cuba de aceite	1 h	1 OM1, 1 AM
3.5	M - Desmontaje cuba de aceite, tuberías y desacople del serpentín	4 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS SUBSISTEMA TURBINA - GEM MECANICO</b>		
4.1	M - Limpieza, escoriado y pintura del recinto turbina	5 d	1 OM1, 1 AM
4.2	M - Limpieza y pintura de la campana	1 d	1 AM
4.3	M - Limpieza y pintura cuba de aceite	1 d	1 AM
4.4	M - Limpieza, escoriado y pintura tubería de aceite, agua y aire	1 d	1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA TURBINA</b>		
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS SUBSISTEMA TURBINA - GEM MECANICO</b>		
4.5	M - Limpieza, escoriado y pintura del anillo cuba de aceite	1 d	1 AM
4.6	M - Limpieza del serpentín	5 h	1 AM
4.7	M - Armado y pruebas cuba de aceite y serpentín	3 h	1 AM
4.8	M - Limpieza y pintura a la tornillería elementos recinto turbina	3 d	2 AM
4.9	M - Escoriado, pintura y cambio de empaque a puerta del recinto turbina	3 d	1 AM
4.10	M - Reparación rejillas recinto turbina	3d	1 S1
<b>5</b>	<b>MONTAJE ELEMENTOS SUBSISTEMA TURBINA - GEM MECANICO</b>		
5.1	M - Montaje cuba de aceite y tuberías de agua y aceite	1 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
5.2	M - Montaje anillo de la cuba de aceite	3 h	1 OM1, 1 AM
5.3	M - Montaje caja de aire y tubería	1 d	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
5.4	M - Calibrar caja de aire	4 h	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
5.5	M - Montar campana	4 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
<b>6</b>	<b>MANTENIMIENTO JUEGO DE INYECTORES - GEM MECANICO</b>		
6.1	M - Desmontaje de escudos y desacople de los tubos de contrachorro	5 h	2 AM
6.2	M - Desmontaje retroalimentación	5 h	2 AM
6.3	M - Desmontaje tubería de mando inyectores	7 h	2 AM
6.4	M - Desmontaje inyectores	2 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
6.5	M - Medición altura eje inferior respecto de agujas	6 h	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
6.6	M - Realización de pruebas para detectar pérdidas constante de aceite en los inyectores	5 h	1 TM1, 1 OM1
6.7	M - Despiece de inyectores	2 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
6.8	M - Limpieza de palpadores, resortes, ollas y tornillería de inyectores	2 d	1 AM
6.9	TIN - Fabricación de tapas y anillos limitadores de carrera	4 d	1 TR
6.10	M - Pintura de tapas y anillos limitadores de carrera	2 h	1 AM
6.11	M - Limpieza, aporte de soldadura y pintura a tubos del contrachorro	1,5 d	1 S1, 1 OM1
6.12	TIN - Ajuste de los anillos de corrección del inyector	9 d	1 TR
	<b>El grupo de actividades de la 6.13 a la 6.21 se repite 6 veces una para cada uno de los 6 inyectores.</b>		
6.13	M - Aporte de soldadura en encastres	1 d	1 S1
6.14	M - San - blasting a cuerpo del inyector	0,5 h	1 OM1
6.15	M - San - blasting del escudo	3 h	1 OM1
6.16	M - Ajustar aletas (aporte de soldadura y pulido )	3 h	1 S1

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA TURBINA</b>			
<b>6</b>	<b>MANTENIMIENTO JUEGO DE INYECTORES - GEM MECANICO</b>		
6.17	TIN - Maquinado de encastres	3 d	1 TR
6.18	M - Pintura cuerpo del inyector	1,5 d	1 AM
6.19	M - Pintura del escudo	1 d	1 AM
6.20	TIN - Control dimensional del cilindro	1 h	1 TR
6.21	TIN - Bruñido cilindro	2 h	1 TR
6.22	TI - Desarme de pistones (6 unidades)	3 h	1 OM1
6.23	TI - Cambio de sellos por teflongrafitado (6 unidades)	2 d	1 OM1
6.24	M - Escoriado a porta resortes inyectores	7 h	1 AM
6.25	M - Pintura a porta resortes inyectores	1 d	1 AM
6.26	M - Limpieza y pintura a tapas de portaresortes inyectores	5 h	1 AM
6.27	M - San - blasting a tubos protectores de la retroalimentación	5 h	1 OM1
6.28	M - Retoques de pintura a toberas, deflectores, portaboquillas, boquillas, boquereles, ejes de inyectores y cojinetes	1 d	1 AM
6.29	M - Armado de inyectores y pruebas	12 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
6.30	M - Montaje de inyectores en el recinto	3 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
6.31	M - Montaje tubería contrachorro y escudos	5 h	2 AM
6.32	M - Conformación y montaje de tuberías de mando inyectores	1 d	2 AM
6.33	M - Montaje retroalimentación	5 h	2 AM
6.34	M - Medición altura eje inferior respecto de agujas	6 h	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
6.35	M - Suministro de grasa al cojinete guía inyector, cojinete de las vielas y eje del deflector	1 d	2 AM
<b>7</b>	<b>MANTENIMIENTO DEFLECTORES - GEM MECANICO</b>		
7.1	M - Desmontaje de bielas, cojinetes y ejes de deflectores	2 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
7.2	M - Aporte de soldadura a ejes de deflectores en la parte de trabajo con el cojinete	1 d	1 S1
7.3	M - Limpieza, escoriado y pintura a bielas y cojinetes de ejes deflectores	4 d	1 AM
7.4	TIN - Maquinado a ejes de deflectores	3 d	1 TR
7.5	M - Escoriado y pintura a ejes de deflectores	4 d	1 AM
7.6	M - Montaje de bielas, cojinetes del varillaje y ejes de deflectores	2 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
7.7	M - Calibración deflectores	3 h	1 TM1, 1 OM1

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>			
<b>1</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
1.1	M - Aplicar seguridades a la válvula esferica	1 h	1 TM1, 1 OM1
1.2	M - Descargar agua de caracol	1 h	1 AM
1.3	M - Cerrar sello de revisión (aguas arriba)	1 h	1 TM1, 1 OM1
1.4	M - Abrir sello de servicio	1 h	1 TM1, 1 OM1
1.5	M - Descargar agua del cuerpo de la válvula esferica (apertura de la válvula de drenaje del cuerpo)	1 h	1 AM
1.6	M - Desmontar vigas y rejillas	5 h	1 OM1, 1 AM
1.7	M - Armar andamios	2 h	2 AM
1.8	M - Desmontaje tubo de drenaje del caracol	1 h	1 OM1
1.9	M - Desmontaje válvula de descarga del caracol	2 h	1 OM1
1.10	M - Desmontaje válvula de descarga del cuerpo de la válvula (opturador)	2 h	1 OM1
1.11	M - Lavado del cuerpo de la válvula esferica y tubo de caracol	5 h	1 OM1, 1 AM
1.12	M - Desmontaje válvula rectilinea y tubería de By - pass	4 h	1 OM1, 1 AM
1.13	M - Desmontaje válvula de alivio presión toberas	2 h	1 OM1
1.14	M - Desmontaje tubería del circuito hidráulico	3 h	1 OM1, 1 AM
1.15	M - Desmontaje tapa del man - hole	2 h	1 AM
1.16	M - Ubicar comparadores lateral y axial en el cuerpo de la válvula	1 h	1 TM1
1.17	M - Tomar lectura inicial de los comparadores desplazamiento de la válvula	1 h	1 TM1
1.18	M - Desacople de pernos y tornillería de la Válvula (para desmontaje de brida de ajuste y tubo de desmontaje)	6 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
1.19	M - Desmontaje brida de ajuste	1 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
1.20	M - Desmontaje tubo de desmontaje y brida	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
1.21	M - Desmontar anillo fijo del sello de servicio	2 h	1 TM1, 1 OM1
1.22	M - Desmontaje sello de servicio (parte fija y parte móvil)	5 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Limpieza, escoriado, aporte de soldadura repairiti, pulido, macholeado y pintado de tubo de desmontaje	8 d	1 AM
2.2	M - Limpieza, escoriado, aporte de soldadura repairiti, ajuste ha medidas y pintura al opturador	1,5 d	1 AM
2.3	M - Limpieza y pintura de pernos, esparragos, arandelas y tuercas	14 d	1 AM
2.4	M - Limpieza, escoriado, aporte de soldadura, mecanizado y pintura ha brida de ajuste	5 d	1 S1, 1 TR, 1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>		
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
2.5	M - Limpieza, escoriado y aplicación de soldadura repariti al alojamiento de la junta brida de caracol (brida de ajuste)	1 d	1 TM1
2.6	M - Limpieza y machoelado de la rosca interna brida válvula esférica (brida pegada al tubo de desmontaje)	1, 5 d	1 TM1
2.7	M - Limpieza, aporte de soldadura, maquinado y pintura ha brida válvula esférica (brida pegada al tubo de desmontaje)	3 d	1 S1, 1 TR, 1 AM (1dia cada uno)
2.8	M - Limpieza al anillo fijo del sello de servicio (anillo fijo aguas abajo)	5 h	1 AM
2.9	M - Limpieza, escoriado y pintura tapa de man - hall	1 d	1 AM
2.10	M - Limpieza, escoriado y pintura a tubería By - pass	3 d	1 AM
2.11	M - Desarme, limpieza, cambio de juntas y armado de válvula alivio presión toberas	1,5 d	1 OM1
2.12	M - Desarme, limpieza, pintura, cambio de empaques y armado de válvula descarga del cuerpo de la válvula	2 d	1 OM1
2.13	M - Limpieza, escoriado y pintura del tubo de drenaje del caracol	2 d	1 OM1
2.14	M - Limpieza, escoriado y pintura a tubo de caracol	3 d	1 OM1
2.15	M - Retoques de pintura a tornillería de la válvula (solo la de los elementos que se desmontaron)	3 d	1 AM
2.16	M - Desarme, limpieza, pintura, cambio de empaques y armado de válvula descarga del caracol	2 d	1 OM1
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO TANQUE DE LA CENTRALINA VALVULAS SULTZER - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Retirar aceite, limpieza interna y externa al tanque de la centralina	2 d	1 AM
3.2	M - Filtrado de aceite y depósito en la centralina	4 d	1 OM1 (1 día)
<b>4</b>	<b>MONTAJE ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
4.1	M - Montaje parte fija del sello de servicio	5 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
4.2	M - Montaje parte móvil del sello de servicio	2 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
4.3	M - Montaje anillo fijo del sello de servicio (anillo fijo aguas abajo)	2 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
4.4	M - Montaje de brida en tubo de desmontaje	5 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
4.5	M - Montaje tubo de desmontaje	2 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
4.6	M - Montaje brida de ajuste	1,5 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
4.7	M - Montaje válvula descarga del cuerpo válvula esférica	2 h	1 TM1
4.8	M - Montaje válvula descarga del caracol y tubo de drenaje	6 h	1 OM1, 1 AM
4.9	M - Montaje válvula alivio presión toberas	4 h	1 TM1, 1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>			
<b>4 MONTAJE ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>			
4.10	M - Montaje tapa del man - hall	2 h	1 AM, 1 OM1
4.11	M - Montaje válvula rectilínea y tubería de By - pass	6 h	1 AM, 1 OM1
4.12	M - Montar vigas y rejillas	5 h	1 TM1, 1 OM1, 1 AM
4.13	M - Pruebas válvula esférica	2 d	1 TM1, 1 TM2, 1 OM1
4.14	M - Desaplicar seguridades a la válvula esférica	2 h	1 TM1, 1 OM1
4.15	M - Desarmar andamios	2 h	2 AM
<b>5 MANTENIMIENTO TABLERO HIDRAULICO VALVULAS CHARMILLES - GEM MECANICO</b>			
5.1	M - Desmontaje de tuberías y reles 624, 625, 626 y 637 del tablero hidráulico	5 h	1 OM1
5.2	M - Limpieza y pintura al rele 637 del tablero hidráulico	1 d	1 TM1
5.3	M - Limpieza y pintura del tablero hidráulico y su tubería desmontada	1 d	1 AM
5.4	M - Montaje de tubería y reles 624, 625, 626 y 637 en el tablero hidráulico	5 h	1 OM1
<b>6 MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN VALVULAS SULTZER - GEM ELECTRONICO</b>			
6.1	I - Desmontaje de instrumentación del tablero de manómetros y de la centralina válvula esférica	4 h	1 IN
6.2	I - Montaje de instrumentación del tablero de manómetros y de la centralina válvula esférica	6 h	1 IN
<b>7 MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN VALVULAS CHARMILLES - GEM ELECTRONICO</b>			
7.1	I - Desmontaje manómetros, presostato, transductores de posición y amortiguadores de presión del tablero hidráulico de la válvula charmilles	4 h	1 IN
7.2	I - Montaje manómetros, presostato, transductores de posición y amortiguadores de presión del tablero hidráulico de la válvula charmilles	4 h	1 IN
<b>8 MANTENIMIENTO TABLERO HIDRAULICO CONTROL VÁLVULAS ESFERICAS SULTZER</b>			
8.1	C - Desmontaje de reles, ajuste de borneras y verificación de las indicaciones del PLC a tableros control válvula esférica	2 d	1 TK2
8.2	C - Revisión y calibración parámetros de programa	5 h	1 TK2
<b>1 MANTENIMIENTO CONTRACHORRO - GEM MECANICO</b>			
1.1	M - Desmontaje tubería de control	2 h	1 OM1
1.2	M - Desmontaje del inyector de frenado	6 h	1 TM1, 1 OM1
1.3	M - Desarme, lavado y control dimensional a piezas del inyector de frenado	2 d	1 AM
1.4	M - Recuperación de aguja, sello fijo, remplazo de juntas y empaques del inyector de frenado	4 d	1 TM1
1.5	M - Saneado y pintura de bridas de montaje	1 d	1 AM

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO CONTRACHORRO - GEM MECANICO</b>		
1.6	M - Pintura del cuerpo inyector de frenado	2 d	1 AM
1.7	M - Armado y pruebas del inyector	1 d	1 TM1, 1 OM1
1.8	M - Montaje del inyector y tubería de control	1 d	1 TM1, 1 OM1

<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN DESMONTADA - GEM ELECTRONICO</b>		
1.1	I - Limpieza, ajuste, calibración y pintura a elementos de instrumentación desmontada (de todos los subsistemas)	5 d	1 IN

<b>1</b>	<b>PROYECTO DE TEMPERATURAS - GEM ELECTRONICO</b>		
1.1	I - Desconexión y retiro de cable de señales RTD'S, termostatos y caudalímetros en caja de paso recinto generador	3,5 d	1 IN, 1 TK1
1.2	I - Cambio del tablero supervisión generador	1,5 d	1 IN, 1 TK1
1.3	I - Adecuación tablero PLC unidad para la instalación de magelis	1 d	1 IN
1.4	I - Acondicionamiento de la nueva acometida para señales temperatura CGI	2 d	1 IN, 1 TK1
1.5	I - Modificaciones para el montaje de la caja de paso CGI	3 d	1 IN, 1 TK1
1.6	I - Modificaciones para el montaje de la nueva caja de paso CGS	4 d	1 IN, 1 TK1
1.7	I - Montaje de nueva acometida para señales sensores de vibración	2 d	1 IN, 1 TK1
1.8	I - Tendido de cable para señales de temperatura	4 d	1 IN, 1 TK1
1.9	M - Trabajos sobre la mensula superior para la instalación del nuevo sistema de temperaturas	5 d	1 TM1, 1 AM
1.10	M - Acople de CGI con mensula inferior, para realizar perforaciones e instalar los sensores de temperatura	1 d	1 TM1, 1 AM
1.11	M - Modificación de la mensula y cojinetes guía inferior para proyecto de temperaturas	2,5 d	1 TM1, 1 AM
1.12	I - Montaje de sensores PT100 en cojinetes de empuje y CGS	2 d	1 IN

No.	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>			
<b>1</b>	<b>PROYECTO DE TEMPERATURAS - GEM ELECTRONICO</b>		
1.13	I - Montaje PT100 en CGI	1 d	1 IN, 1 TK1
1.14	I - Montaje cajas de paso radiadores	4 d	1 IN
1.15	I - Conexión de señales PT100 en cajas de paso cojinetes inferior y superior	2 d	1 IN
1.16	I - Cableado caudalímetros en cajas de paso recinto generador y RTD's del estator	2 d	1 IN
1.17	I - Instalación sensores PT100 y cableado en radiadores y caudalímetros	5 d	1 IN
1.18	I - Montaje PT100 transformadores de potencia	3 d	1 IN
1.19	I - Montaje PT100 y transductor de presión a la centralina válvula esférica	2 d	1 IN
<b>1</b>	<b>PRUEBA SISTEMA SCADA</b>		
1.1	Reporte de alarmas al SCADA de los sistemas regulador de velocidad, regulador de tensión, banco de transformadores, verificación de activación de protecciones, comprobación de animación de diagramas	4 d	1 IN, 2 TK2, 2 TK1

**Nota:** La actividad de mantenimiento para el subistema de Servicios Auxiliares solo se realiza en las unidades 4 y 5

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

### ANEXO 4 Listado de tareas mantenimiento general

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA BANCO DE TRANSFORMADORES</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO DUCTOS DE TRANSFORMADORES</b>		
1.1	E - Limpieza de porcelanas y barraje	1,5 d	1 AE
1.2	E - Pruebas de aislamiento barraje	5 h	1 TE1
1.3	E - Lavado exterior de ductos	2 d	2 AE
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACION - GEM ELECTRONICO</b>		
2.1	I - Desmontaje termómetros transformadores de potencia	1 d	1 IN
2.2	I - Limpieza, ajuste y calibración termómetros banco de transformadores	2,5 d	1 IN, 1 TK1
2.3	I - Cambio de empaques y pruebas al bucholz, reles de sobrepresión e indicador de nivel banco de transformadores	2 d	1 IN, 1 TK1
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>		
3.1	E - Pruebas iniciales de corriente y aislamiento a motoventiladores	5 h	1 OE2
3.2	E - Desmontaje motoventiladores y transporte a taller	1 d	1 OE2, 1 AE
3.3	E - Desacople de motoventiladores	5 h	1 OE2
3.4	E - Desarme y limpieza preliminar a motores (motoventiladores)	1 d	1 OE2
3.5	E - Limpieza y pintura de canastillas y ventabiolas	3 d	2 AE

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA BANCO DE TRANSFORMADORES</b>			
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>		
3.6	TIN - Alineación ejes de rotores motores (motoventiladores)	2 d	1 TM2
3.7	E - Desacople de rodamientos a rotores de los motoventiladores	5 h	1 OE2
3.8	E - Limpieza y pintura a estatores y carcasas motoventiladores, instalación de rodamientos y acople con canastillas	7 d	1 OE2 (5d), 1 AE (2d)
3.9	TIN - Balanceo motoventiladores	7 d	1 TM2
3.10	E - Montaje motoventiladores y pruebas	1 d	1 OE2, 1 AE
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLEROS DE MANDO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Revisión, ajuste y limpieza ha tableros de control motoventiladores	11 d	1 TE1
4.2	E - Revisión, ajuste y limpieza ha caja de paso conexiones transformadores	1 d	1 TE1
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO TRANSFORMADORES DE POTENCIA - GEM ELECTRICO</b>		
5.1	E - Desconexión transformadores por alta y baja y toma de medidas de aislamiento	5 h	1 TE1
5.2	E - Lavado de radiadores y transformadores de potencia las tres fases	7 d	4 AE
5.3	E - Conexionado por alta y baja	3 h	1 TE1
<b>6</b>	<b>LIMPIEZA DE BUJES (13,8 Kv; 230kV; Buje de Neutro; Pararrayos)</b>		
6.1	E - Revisión y limpieza de pararrayos y bujes (13,8Kv; 230Kv; Neutro)	2 d	1 OE2

<b>SUBSISTEMA CENTRO CONTROL MOTORES</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA BARRAJE DE ALIMENTACIÓN 480</b>		
1.1	E - Limpieza y pruebas de aislamiento al barraje de alimentación 480	1 d	1 TE2

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA BANCO DE TRANSFORMADORES</b>			
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>		
3.6	TIN - Alineación ejes de rotores motores (motoventiladores)	2 d	1 TM2
3.7	E - Desacople de rodamientos a rotores de los motoventiladores	5 h	1 OE2
3.8	E - Limpieza y pintura a estatores y carcasas motoventiladores, instalación de rodamientos y acople con canastillas	7 d	1 OE2 (5d), 1 AE (2d)
3.9	TIN - Balanceo motoventiladores	7 d	1 TM2
3.10	E - Montaje motoventiladores y pruebas	1 d	1 OE2, 1 AE
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLEROS DE MANDO MOTOVENTILADORES - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Revisión, ajuste y limpieza ha tableros de control motoventiladores	11 d	1 TE1
4.2	E - Revisión, ajuste y limpieza ha caja de paso conexiones transformadores	1 d	1 TE1
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO TRANSFORMADORES DE POTENCIA - GEM ELECTRICO</b>		
5.1	E - Desconexión transformadores por alta y baja y toma de medidas de aislamiento	5 h	1 TE1
5.2	E - Lavado de radiadores y transformadores de potencia las tres fases	7 d	4 AE
5.3	E - Conexionado por alta y baja	3 h	1 TE1
<b>6</b>	<b>LIMPIEZA DE BUJES (13,8 Kv; 230kV; Buje de Neutro; Pararrayos)</b>		
6.1	E - Revisión y limpieza de pararrayos y bujes (13,8Kv; 230Kv; Neutro)	2 d	1 OE2

<b>SUBSISTEMA CENTRO CONTROL MOTORES</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA BARRAJE DE ALIMENTACIÓN 480</b>		
1.1	E - Limpieza y pruebas de aislamiento al barraje de alimentación 480	1 d	1 TE2

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA CENTRO CONTROL MOTORES</b>			
<b>2</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE DE TRANSFERENCIA CCM - GEM ELECTRICO</b>		
2.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de control transferencia e interruptores	3 d	1 TE2
<b>3</b>	<b>LIMPIEZA CONECTORES DE TABLERO</b>		
3.1	E - Revisión, ajuste y limpieza a borneras enchufables de control y de fuerza (conectores, ubicados en los cubículos )	1 d	1 TE2
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO GAVETAS - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Desmontaje gabetas de alimentación	5 h	1 TE2
4.2	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gavetas alimentación bombas de aceite regulador (2Gavetas)	1,5 d	1 TE2
4.3	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gavetas alimentación bombas de refrigeración (2Gavetas)	1,5 d	1 TE2
4.4	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gavetas alimentación motores válvula esferica (3Gavetas)	2,5 d	1 TE2
4.5	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación compresor regulador (1Gaveta)	7 h	1 TE2
4.6	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación motoventiladores banco de transformadores y resistencias calentadores (1Gaveta)	1 d	1 TE2
4.7	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación bomba de presión aceite chumacera (1Gaveta)	7 h	1 TE2
4.8	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación PLC. (1Gaveta)	7 h	1 TE2
4.9	E - Revisión, ajuste y limpieza a elementos de gaveta alimentación control calefacción generador (1Gaveta)	7 h	1 TE2
4.10	E - Montaje gabetas de alimentación	5 h	1 TE2
4.11	E - Pruebas	1 d	1 TE2

<b>SUBSISTEMA EQUIPOS SALA DE CONTROL</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO RELES ELECTRICOS - GEM ELECTRONICO</b>		
1.1	C - Limpieza relés auxiliares de sincronización y pruebas	1 d	1 TK1

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA EQUIPOS SALA DE CONTROL</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO RELES ELECTRICOS - GEM ELECTRONICO</b>		
1.2	C - Desmontaje relés de selección y preselección	3 h	1 TK1
1.3	C - Limpieza y revisión relés de selección y preselección	3 d	1 TK1
1.4	C - Montaje relés de selección y preselección	5 h	1 TK1
1.5	C - Limpieza cubiculos y ajuste de conexiones	2 d	1 TK1

<b>SUBSISTEMA EXCITACIÓN</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE DE BARRAJES - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Revisión, ajuste y limpieza celdas 13,8 (barraje, resistencias, flexibles, borneras, condensadores y pararrayos)	5 d	1 TE1, 1 AE
<b>2</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE DE SECCIONADOR - GEM ELECTRICO</b>		
2.1	E - Revisión, ajuste y limpieza del seccionador alimentador	1,5 d	1 TE1
<b>3</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE DE CTS Y PTS - GEM ELECTRICO</b>		
3.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de CT's y PT's	1 d	1 TE1
<b>4</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE A EQUIPOS DEL COMPARTIMENTO DE BAJA TENSION - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Revisión, ajuste y limpieza a equipos del compartimiento de baja tensión.	5 h	1 TE1

<b>SUBSISTEMAS SERVICIOS AUXILIARES PROPIOS</b>			
<b>1</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE INTERRUPTOR - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Revisión, desarme, ajuste, limpieza y armado de interruptor	2 d	1 TE1
<b>2</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE SECCIONADOR - GEM ELECTRICO</b>		
2.1	E - Revisión, ajuste, limpieza y pruebas al seccionador	1,5 d	1 TE1
<b>3</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE TRANSFORMADOR SECO - GEM ELECTRICO</b>		
3.1	E - Toma medidas de aislamiento y TTR al transformador de 300 KVA e inspección preliminar	2 h	1 TE1
3.2	E - Revisión, ajuste y limpieza al transformador de 300 KVA	5 h	1 TE1
<b>4</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE CALEFACCIÓN Y PUESTAS A TIERRA - GEM ELECTRICO</b>		
4.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de calefacción, borneras y puestas a tierra.	2 d	1 TE1

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMAS SERVICIOS AUXILIARES PROPIOS</b>			
4	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE CALEFACCIÓN Y PUESTAS A TIERRA - GEM ELECTRICO</b>		
5	<b>LIMPIEZA Y CAMBIO DE FILTROS AL CUBICULO - GEM ELECTRICO</b>		
5.1	E - Revisión y cambio de bombillos	5 h	1 TE1
5.2	E - Limpieza, retoques de pintura y cambio de filtros al cubiculo	2 d	1 TE1
6	<b>CONEXIÓN DE AUXILIARES PROPIOS Y EXCITACIÓN - GEM ELECTRICO</b>		
6.1	E - Conexión transformador de 300 KVA y seccionadores	2 h	1 TE1
6.2	E - Pruebas y medidas de aislamiento finales al transformador e interruptores	5 h	1 TE1

<b>SUBSISTEMA SERVICIOS AUXILIARES GENERALES</b>			
1	E - Revisión, ajuste, limpieza y pruebas al seccionador	1.5 d	1 TE1
1.1	E - Toma medidas de aislamiento y TTR al transformador de 1500 KVA e inspección preliminar	5 h	1 TE1
1.2	E - Revisión, ajuste y limpieza al transformador de 1500 KVA	1 d	1 TE1
1.3	E - Revisión, desarme, ajuste, limpieza y armado del interruptor X15b	2 d	1 TE1
1.4	E - Limpieza y retoques de pintura a los cubiculos	5 h	1 AE
1.5	E - Limpieza y pruebas de aislamiento al barraje 480 auxiliares generales	3 d	1 TE1
1.6	E - Revisión, desarme, ajuste, limpieza y armado del interruptor	2 d	1 TE1
1.7	E - Conexión de transformador de 1500 KVA y seccionador	2 h	1 TE1
1.8	E - Pruebas y medidas de aislamiento finales al transformador e interruptor	5 h	1 TE1

<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>			
1	<b>DESCONEXIONES Y MEDIDAS INICIALES - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Medidas de seguridad y pruebas de aislamiento PI	3 h	1 TE3, 1 OE1
1.2	E - Montaje de alumbrado	2 h	1 OE1, 1 AE
1.3	E - Desconexión punto estrella del generador	2 h	1 TE3, 1 OE1
1.4	E - Medidas de aislamiento rotor, estator, anillo porta escobillas y colector	4 h	1 TE3
1.5	E - Desconexión micros gatos de frenado	2 h	1 TE3
2	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Medidas de seguridad	1 h	1 TM3, 1 AM

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>		
<b>2</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
2.2	M - Toma de niveles, muestra, lectura de temperatura y retiro de aceite (CGS, CGI e intercambiador de calor)	8 h	1 TM3 (1h)
2.3	M - Centrifugado de aceite	3 d	1 TM3 (2h)
2.4	M - Desmontaje mangueras y válvulas globo de drenaje radiadores	5 h	1 OM1, 1 AM
2.5	M - Desmontaje radiadores e intercambiador de calor	2 d	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
2.6	M - Desmontaje válvulas de entrada y salida de cada uno de los radiadores y caudalímetros	1 d	1 TM2, 1 OM1, 2 AM
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS DEL GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Suprimir tubería de 3/4" intercambiador, tapar válvula de drenaje y traslado de tubería de purga 1/2" y válvula de paso	2 d	1 TM3, 1 AM, 1S1(5h)
3.2	M - Revisión y ajuste tornillería guardapolvos	6 h	1 OM1
3.3	M - Revisión a cubículos recinto generador	1 h	1 OM1
3.4	M - Revisión y limpieza recinto generador	2 d	1 OM1, 2 AM
3.5	M - Limpieza, ajuste y pintura de bridas radiadores e intercambiador de calor y fabricación de empaques	1,5 d	1 TM1, 1 AM
<b>4</b>	<b>CAMBIO DE ACEITE A COMPRESOR DE FRENADO</b>	5 h	1 TM3
<b>5</b>	<b>REVISIÓN SERVOMOTOR DE DEFLECTORES - GEM MECANICO</b>	1 h	1 TM3
<b>6</b>	<b>CALIBRACIÓN GATOS DE FRENADO</b>	2 h	1 TM3
<b>7</b>	<b>REPARACIÓN EFECTOS CORONA ESTATOR - GEM ELECTRICICO</b>	1 d	1 TE3
<b>8</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE INTERCAMBIADOR DE POLARIDAD - GEM ELECTRICICO</b>		
8.1	E - Revisión, ajuste y limpieza del Intercambiador de polaridad (Solo para máquinas de chivor II)	2 d	1 OE2
<b>9</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE BARRAJE ANILLO EQUIPOTENCIAL - GEM ELECTRICICO</b>		
9.1	E - Limpieza y ajuste barraje (anillo) equipotencial	1 d	1 OE1
<b>10</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE CONEXIÓN BARRAJE 13,8kV - GEM ELECTRICICO</b>		
10.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de CT'S, flexibles, salidas 13,8, salidas neutro, barraje de neutro	4 d	1 OE2, 1 AE
<b>11</b>	<b>LIMPIEZA ANILLO COLECTOR - GEM ELECTRICICO</b>	3 h	1 AE
<b>12</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE CAJAS DE PASO GENERADOR - GEM ELECTRICICO</b>		
12.1	E - Revisión, ajuste y limpieza cajas de paso recinto generador	3 d	1 TE3
<b>13</b>	<b>LIMPIEZA Y AJUSTE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN - GEM ELECTRICICO</b>		
13.1	E - Revisión, ajuste y limpieza de tableros distribución	1,5 d	1 TE3
<b>14</b>	<b>LIMPIEZA MICROS GATOS DE FRENADO - GEM ELECTRICICO</b>		
14.1	E - Revisión, ajuste, limpieza y conexión de micros gatos de frenado	2 d	1 OE2

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>		
<b>15</b>	<b>MANTENIMIENTO BOMBA ALTA PRESIÓN - GEM ELECTROMECAÁNICO</b>		
15.1	M - Limpieza bomba de alta presión y lavado de filtros	3 h	1 AE
15.2	E - Limpieza y pruebas al motor bomba de alta presión	3 h	1 AE
<b>16</b>	<b>LIMPIEZA DE INTERRUPTOR CENTRIFUGO</b>	1 d	1 TE3
<b>17</b>	<b>MANTENIMIENTO SISTEMA PUESTA A TIERRA GENERADOR - GEM ELECTRICO</b>		
17.1	E - Revisión, ajuste, limpieza y pintura de transformador puesta a tierra	4 d	1 OE2
17.2	E - Revisión y limpieza puestas a tierra del generador	1 d	1 TE3
<b>18</b>	<b>LIMPIEZA MOTOR EXTRACTOR DE VAPORES - GEM ELECTRICO</b>	5 h	1 AE
<b>19</b>	<b>MANTENIMIENTO RECINTO ESCOBILLAS DEL GENERADOR - GEM ELECTROMECAANICO</b>		
19.1	E - Limpieza y ajuste recinto escobillas	2 d	1 OE1, 1 AE
19.2	E - Instalación de la tubería para la iluminación del recinto	1,5 d	1 OE1, 1 AE
19.3	E - Cableado para la iluminación del recinto	2 d	1 OE1, 1 AE
<b>20</b>	<b>MONTAJE DE ELEMENTOS GENERADOR - GEM MECANICO</b>		
20.1	M - Montaje de radiadores e intercambiador de calor	2 d	1 TM3, 1 TM2, 2 AM
20.2	M - Instalación válvulas de registro nuevas para drenaje de radiadores	2 d	1 TM3
20.3	M - Acople y montaje de válvulas de entrada y salida de cada uno de los radiadores y caudalímetros	2 d	1 TM2, 1 OM1, 2 AM
20.4	M - Adicionar aceite	8 h	1 TM3 (1h)
20.5	M - Pruebas tubería sistema refrigeración	5 h	1 TM3, 1 OM1
<b>21</b>	<b>MANTENIMIENTO CALEFACCION GENERADOR - GEM ELECTRICO</b>		
21.1	E - Desmontaje de calefactores	4 h	1 OM2
21.2	E - Revisión, ajuste y limpieza a calefactores	4 d	1 OM2
21.3	E - Montaje calefactores	8 h	1 OM2
21.4	E - Revisión, ajuste y limpieza de control calefacción generador	2 d	1 OM2
<b>22</b>	<b>MONTAJE MULTITOMAS EN EL GENERADOR</b>	3 d	1 TE1, 1 OE2, 1 AE
<b>23</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN - GEM ELECTRONICO</b>		
23.1	I - Desmontaje sensores e interruptores caudalímetros radiadores	5 h	1 IN, 1 TK1
23.2	I - Montaje sensores e interruptores de caudalímetros radiadores	5 h	1 IN, 1 TK1

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA GENERADOR</b>			
<b>23</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN - GEM ELECTRONICO</b>		
23.3	I - Desmontaje PT100 radiadores generador	4 h	1 IN
23.4	I - Montaje PT100 radiadores generador	5 h	1 IN, 1 TK1
23.5	I - Desmontaje rele nivel de aceite CGI	2,5 h	1 IN
23.6	I - Montaje rele nivel de aceite CGI	2,5 h	1 IN
<b>24</b>	<b>CONEXIONES PARA PUESTA EN SERVICIO</b>		
24.1	E - Calibración sensores de velocidad	5 h	1 TE3
24.2	E - Conexiones punto estrella y salidas 13,8 KVA	5 h	1 TE3, 1 OE1

<b>SUBSISTEMAS PROTECCIONES</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO SUBSISTEMA PROTECCIONES</b>		
1.1	C - Revisión de parametros a las protecciones	2 d	1 TK1
1.2	C - Ajuste de bornas tablero + RU protecciones	1 d	1 TK1

<b>SUBSISTEMA REFRIGERACIÓN</b>			
<b>1</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>		
1.1	E - Desconexión y aislamiento de terminales motores bombas de refrigeración y de compuertas planas	2 h	1 TE1
1.2	I - Desmontaje presostatos y manómetros bombas de refrigeración	2 h	1 IN
1.3	M - Desmontaje motores bombas de refrigeración	5 h	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
1.4	M - Desmontaje filtros salida de bomba	5 h	1 OM2
1.5	M - Desmontaje bombas de refrigeración	1 d	1 TM1, 1 OM2, 1 AM

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA REFRIGERACIÓN</b>		
<b>1</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>		
1.6	M - Desmontaje compuertas planas	4 h	1 OM2, 1 AM
1.7	M - Desmontaje rieles de compuertas planas	2 h	1 OM2, 1 AM
1.8	M - Revisión ejes de accionamiento compuertas planas	1 h	1 TM1
1.9	M - Revisión anclajes de soporte compuertas planas	1 h	1 TM1
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Lavado de filtros salida de bomba (los dos)	4 h	1 AM
2.2	M - Escoriado, saneado y pintura de válvulas cheque en sitio	2 d	1 OM2
2.3	M - Escoriado, saneado y pintura válvulas de entrada y salida radiadores, CGS y CGI en sitio	5 h	1 OM2
2.4	M - Desarme, lavado, saneado, pintura y armado de bomba de refrigeración (solo una)	4 d	1 TM1
2.5	M - Limpieza y modificación de tornillería	2 d	1 OM2
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO COMPUERTAS PLANAS - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Saneado, pintado, cambio de tornillería y bujes a las compuertas planas	1,5 d	1 OM2
3.2	M - Saneado, cambio de tornillería y reconstrucción límites de carrera a rieles de compuertas planas	5 h	1 OM2
<b>4</b>	<b>INSPECCIÓN TUBERIA DE PURGA RADIADORES - GEM MECANICO</b>		
4.1	M - Inspección tubería purga de radiadores de 2 y 1/2 pulgada	2 h	1 TM1
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO POZO DE BOMBAS - GEM MECANICO</b>		
5.1	M - Extracción agua pozo de bombas	4 h	1 OM2
5.2	M - Extracción sedimento pozo de bombas	1 d	2 AM
<b>6</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS SUBISTEMA REFRIGERACIÓN - GEM ELECTRICO</b>		
6.1	E - Desarme, limpieza, cambio de rodamientos, pintura y armado de motores bombas de refrigeración	6 d	1 TE1

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REFRIGERACIÓN</b>			
<b>6</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS SUBISTEMA REFRIGERACIÓN - GEM ELECTRICO</b>		
6.2	E - Limpieza, pruebas de aislamiento, corriente y revisión general a los motores de las compuertas planas	1 d	1 TE1
6.3	E - Revisión, ajuste y limpieza ha control compuertas planas (contactores principal, reserva, micros y finales de carera)	1,5 d	1 TE1
<b>7</b>	<b>MONTAJE ELEMENTOS DEL SUBSISTEMA REFRIGERACION - GEM MECANICO</b>		
7.1	M - Montaje rieles de carrera compuertas planas	2 h	1 OM2, 1 AM
7.2	M - Montaje compuertas planas	5 h	1 OM2, 1 AM
7.3	M - Montaje bombas de refrigeración	1 d	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
7.4	M - Montaje filtros salida de bomba	5 h	1 OM2
7.5	M - Montaje motores bombas de refrigeración	5 h	1 TM1, 1 OM2, 1 AM
7.7	I - Montaje presostatos y manómetros bombas de refrigeración	3 h	1 IN
7.8	E - Conexiones motores bombas de refrigeración y compuertas planas	2 h	1 TE1

<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS SUBSISTEMA OLEONEUMATICO - GEM ELECTRICO</b>		
1.1	E - Desconexión, aislamiento de terminales y toma medidas de aislamiento a motores	2 h	1 TE1
1.2	M - Desmontaje motores regulador de velocidad	5 h	1 TM1
1.3	E - Desarme, limpieza, cambio de rodamientos, pintura y armado de motores regulador de velocidad	6 d	1 TE1
1.4	M - Montaje y alineación de motores regulador de velocidad	1 d	1 TM1
1.5	E - Conexión motores	2 h	1 TE1

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>			
<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO MOTORES ELECTRICOS SUBSISTEMA OLEONEUMATICO - GEM ELECTRICO</b>		
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO VÁLVULAS REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Toma datos niveles de aceite y temperatura	1 h	1 TM1
2.2	M - Despresurizar y retirar el aceite del sistema oleohidráulico	7 h	1 TM1
2.3	M - Desmontaje válvulas 20Q, cheques, limitadora de presión, sobre velocidad y tubería asociada a las bombas y válvulas	1 d	1 TM1
2.4	M - Desarme, lavado, saneado, pintura, cambio de juntas y demás elementos fuera de tolerancia y armado de válvulas 20Q, cheques, limitadora de presión, sobre velocidad.	2 d	1 TM1
2.5	M - Limpieza y cambio de juntas a la tubería asociada a las bombas y válvulas	1 d	1 TM1
2.6	M - Montaje válvulas 20Q, cheques, limitadora de presión, sobre velocidad y tubería asociada a las bombas y válvulas	1 d	1 TM1
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO BOMBAS REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Desmontaje bombas regulador de velocidad	4 h	1 TM1
3.2	M - Desarme, lavado, control dimensional de piezas, cambio de retenedores y armado de bombas regulador	2,5 d	1 TM1
3.3	M - Montaje bombas regulador de velocidad	6,5 h	1 TM1
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN - GEM ELECTRONICO</b>		
4.1	I - Desmontaje presostatos y manómetros regulador de velocidad	4 h	1 IN
4.2	I - Desmontaje válvulas de seguridad compresor y tanques aire regulador	2 h	1 IN
4.3	I - Cambio de sellos y calibración válvulas de seguridad	5 h	1 IN
4.4	I - Limpieza y revisión sensores magnéticos control nivel de aceite regulador de velocidad	5 h	1 IN
4.5	I - Montaje presostatos, manómetros regulador de velocidad, válvulas de seguridad compresor y tanques	7 h	1 IN
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO TANQUES - GEM MECANICO</b>		
5.1	M - Desmontaje, limpieza, cambio de juntas y montaje de bridas del tanque colector	1 d	1 TM1

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>		
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO TANQUES - GEM MECANICO</b>		
5.2	M - Desmontaje tapa tanque acumulador y cambio de junta	6 h	1 TM1, 1 AM
5.3	M - Centrifugado de aceite	5 d	1 d de un 1 TM1
5.4	M - Lavado interno tanque acumulador y colector	1,5 d	1 TM1, 1 AM
5.5	M - Montaje tapa tanque acumulador	5 h	1 TM1, 1 AM
<b>6</b>	<b>MANTENIMIENTO FILTROS - GEM MECANICO</b>		
6.1	M - Desmontaje lavado y montaje de filtros de inyectores y deflectores	2 d	1 TM1, 1 AM
6.2	M - Limpieza toberas y filtros de servoválvulas	1,5 d	1 AM
<b>7</b>	<b>MANTENIMIENTO COMPRESOR - GEM MECANICO</b>		
7.1	M - Desmontaje compresor regulador y motor	4 h	1 TM1
7.2	M - Despiece, lavado, control dimensional de piezas, cambio de rodamientos, ajuste de sellos y limpieza a válvulas de alta y baja, armado, pintura, adición de aceite y pruebas al compresor regulador.	2,5 d	1 TM1
7.3	E - Desarme, limpieza, cambio de rodamientos, pintura y armado del motor compresor del regulador	3 d	1 TE1
7.4	M - Montaje compresor regulador y motor	5 h	1 TM1
<b>8</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLERO REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM ELECTRONICO</b>		
8.1	C - Cambio de indicaciones defectuosas	5 h	1 TK2
8.2	C - Revisión y ajuste de borneras a tablero y cajas de paso DTL	2 d	1 TK2
8.3	C - Desarme, limpieza y prueba relés DTL	2 d	1 TK2
8.4	C - Desarme y limpieza módulos DTL	3 d	1 TK2
8.5	C - Calibración parámetros software equipo DTL	1 d	1 TK2

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD</b>			
<b>8</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLERO REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM ELECTRONICO</b>		
8.6	C - Desarme, limpieza y prueba relés PLC unidad	2 d	1 TK2
8.7	C - Limpieza cubiculo DTL	1 d	1 TK2
8.8	C - Pruebas locales sistema regulador	1 d	1 TK2
<b>9</b>	<b>PRUEBAS SUBSISTEMA REGULADOR DE VELOCIDAD - GEM MECANICO</b>		
9.1	M - Adición de aceite al sistema	5 h	1 TM1
9.2	M - Presurización del sistema	8 h	1 TM1
9.3	M - Calibración de servoválvulas	2 h	1 TM1
9.4	M - Pruebas de funcionamiento al sistema	5 h	1 TM1

<b>SUBSISTEMA SUPERVISIÓN LOCAL</b>			
<b>1</b>	<b>REVISION PANEL DE ALARMAS - GEM ELECTRONICO</b>		
1.1	C - Revisión, limpieza y prueba de relés, módulos y tarjetas de anunciador	2 d	1 TK2

<b>SUBSISTEMA TURBINA</b>			
<b>1</b>	<b>CAMBIO DE RODETE PELTON - GEM MECANICO</b>		
1.1	M - Desmontaje rejillas parte superior	1 h	1 OM1, 1 AM
1.2	M - Desmontaje puerta recinto turbina y colocación de entablado	2 h	2 AM
1.3	M - Desacoplar ejes de los deflectores	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
1.4	M - Colocar rieles y carro de soporte rodete	2 h	2 AM
1.5	M - Retirar rodete y trasladar a sala de desmontaje	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
1.6	M - Retirar anillo corta-agua	1 h	1 OM1, 1 AM
1.7	M - Montar anillo corta-agua	1 h	1 OM1, 1 AM
1.8	M - Montaje rodete	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
1.9	M - Retirar rieles, carro de soporte rodete y demás elementos	2 h	2 AM

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>SUBSISTEMA TURBINA</b>			
<b>1</b>	<b>CAMBIO DE RODETE PELTON - GEM MECANICO</b>		
1.10	M - Montaje puerta recinto y retiro de entablado	2 h	2 AM
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS SUBSISTEMA TURBINA - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Limpieza de la parte inferior del eje del rodete	3 h	1 AM
2.2	M - Pintura a puerta del recinto turbina	1 d	1 AM
2.3	M - Reparación de rejillas recinto turbina	2 d	1 S1
<b>3</b>	<b>MANTENIMIENTO JUEGO DE INYECTORES - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Desmontaje de escudos y desacople de los tubos de contrachorro	5 h	2 AM
3.2	M - Desmontaje boquereles, toberas, agujas y racores de empalme, tapas, ollas y anillos de corrección y complementarios a los inyectores	3 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
3.3	M - Lavado, escoriado y pintura de tapas, ollas y anillos de corrección y complementarios	2 d	1 OM1, 1 AM
3.4	M - Limpieza y pintura de tornillería	3 d	2 AM
3.5	M - Lavado de la parte interna del inyector (cojinete guía, eje y el encastre de las toberas)	5 h	2 AM
3.6	M - Escoriado, saneado y pintura al encastre de las toberas inyectores	1 d	2 AM
3.7	M - Escoriado, saneado y pintura al cojinete guía	1 d	2 AM
3.8	M - Limpieza, escoriado y saneado a brida del tubo de contrachorro	3 h	1 AM
3.9	M - Escoriado y pintura al anillo corta-agua	2 h	1 AM
3.10	M - Montaje anillos de corrección y complementarios, ollas, tapas, racores de empalme y agujas, toberas y boquereles de repuesto a los inyectores	3 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
3.11	M - Montaje de escudos y acople con los tubos de contrachorro	5 h	2 AM
3.12	M - Suministro de grasa al cojinete guía inyector, al cojinete de las velas y eje del deflector	1 d	2 AM
3.13	M - Calibración de deflectores	3 h	1 TM1, 1 OM1
<b>4</b>	<b>INSPECCIÓN CARACOL - GEM MECANICO</b>	1 h	1 TM1
<b>5</b>	<b>INSPECCIÓN DE RETROALIMENTACIÓN - GEM MECANICO</b>	1 h	1 TM1

<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>			
<b>1</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
1.1	M - Aplicar seguridades a la válvula esférica	1 h	1 TM1, 1 OM1

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>		
<b>1</b>	<b>DESMONTAJE ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
1.2	M - Descargar agua de caracol	1 h	1 AM
1.3	M - Cerrar sello de revisión (aguas arriba)	1 h	1 TM1, 1 OM1
1.4	M - Abrir sello de servicio	1 h	1 TM1, 1 OM1
1.5	M - Descargar agua del cuerpo de la válvula esferica (apertura de la válvula de drenaje del cuerpo)	1 h	1 AM
1.6	M - Desmontar rejillas	2 h	1 OM1, 1 AM
1.7	M - Armar andamios	2 h	2 AM
1.8	M - Desmontaje tubo de drenaje del caracol	1 h	1 OM1
1.9	M - Desmontaje válvula rectilínea y tubería de By - pass	4 h	1 OM1, 1 AM
1.10	M - Desmontaje válvula de alivio presión toberas	1 h	1 OM1
<b>2</b>	<b>MANTENIMIENTO ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
2.1	M - Escoriado, aporte de soldadura y pintura al tubo de drenaje del caracol	1,5 d	1 AM, 1 S1 (1h)
2.2	M - Revisión y pintura válvula de descarga del caracol	5 h	1 OM1
2.3	M - Lavado del cuerpo de la válvula esferica y tubo de caracol	5 h	2 AM
2.4	M - Revisión y limpieza válvula de alivio presión toberas	2 h	1 OM1
2.5	M - Limpieza, escoriado y pintura a tubería By - pass	3 d	1 AM
2.6	M - Limpieza, escoriado y pintura a la parte interna de la tapa de man - hall	5 h	1 AM
<b>3</b>	<b>MONTAJE ELEMENTOS VÁLVULA ESFERICA - GEM MECANICO</b>		
3.1	M - Montaje tubo de drenaje del caracol	2 h	1 OM1
3.2	M - Montaje válvula de alivio presión toberas	2 h	1 OM1
3.3	M - Montaje válvula rectilínea de repuesto y tubería de By - pass	6 h	1 OM1, 1 AM
3.4	M - Montar rejillas	2 h	1 OM1, 1 AM
3.5	M - Pruebas válvula esferica	1 d	1 TM1, 1 TM2, 1 OM1
3.6	M - Desaplicar seguridades a la válvula esferica	2 h	1 TM1, 1 OM1
3.7	M - Desarmar andamios	2 h	2 AM
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLERO HIDRAULICO VALVULAS CHARMILLES - GEM MECANICO</b>		
4.1	M - Desmontaje de tuberías y reles 624, 625, 626 y 637 del tablero hidráulico	5 h	1 OM1
4.2	M - Limpieza y pintura al rele 637 del tablero hidráulico	1 d	1 TM1
4.3	M - Limpieza y pintura del tablero hidráulico y su tubería desmontada	1 d	1 AM

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
	<b>SUBSISTEMA VÁLVULA ESFERICA</b>		
<b>4</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLERO HIDRAULICO VALVULAS CHARMILLES - GEM MECANICO</b>		
4.4	M - Montaje de tubería y reles 624, 625, 626 y 637 en el tablero hidráulico	5 h	1 OM1
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN VALVULAS SULTZER - GEM ELECTRONICO</b>		
5.1	I - Revisión y calibración en sitio de la instrumentación del tablero de manómetros y de la centralina válvula esférica	1 d	1 IN
<b>6</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN VALVULAS CHARMILLES - GEM ELECTRONICO</b>		
6.1	I - Desmontaje manómetros, presostato, transductores de posición y amortiguadores de presión del tablero hidráulico de la válvula charmilles	4 h	1 IN
6.2	I - Montaje manómetros, presostato, transductores de posición y amortiguadores de presión del tablero hidráulico de la válvula charmilles	4 h	1 IN
<b>7</b>	<b>MANTENIMIENTO TABLERO HIDRAULICO CONTROL VÁLVULAS ESFERICAS SULTZER</b>		
7.1	C - Limpieza de reles, ajuste de borneras y verificación de las indicaciones del PLC a tableros control válvula esférica	1 d	1 TK2
7.2	C - Revisión y calibración parámetros de programa	5 h	1 TK2

<b>1</b>	<b>MANTENIMIENTO INSTRUMENTACIÓN DESMONTADA - GEM ELECTRONICO</b>		
1.1	I - Limpieza, ajuste, calibración y pintura elementos instrumentación desmontada (de todos los subsistemas)	5 d	1 IN

<b>1</b>	<b>PRUEBA SISTEMA SCADA</b>		
1.1	Reporte de alarmas al SCADA de los sistemas regulador de velocidad, regulador de tensión, banco de transformadores, verificación de activación de protecciones, comprobación de animación de diagramas	4 d	1 IN, 2 TK2, 2 TK1

**Nota:** La actividad de mantenimiento para el subistema de Servicios Auxiliares solo se realiza en las unidades 4 y 5

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

### ANEXO 5 Listado de tareas cambio de agujas e inspecciones

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
<b>1</b>	<b>CAMBIO DE AGUJAS (CHIVOR I)</b>		
1.1	M - Desmontaje rejillas parte superior	1 h	1 OM1, 1 AM
1.2	M - Desmontaje puerta recinto turbina y colocación de entablado	2 h	2 AM
1.3	M - Desacoplar ejes de los deflectores	2 h	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
	<b>Actividades a realizar en cada inyector</b>		
1.4	M - Desmontaje boquereles, agujas y el racor de enpalme		
1.5	M - Lavado de tapas, ollas y anillos		
1.6	M - Limpieza de tornillos		
1.7	M - Lavado de parte interna del inyector		
1.8	M - Montaje boquereles, agujas y el racor de enpalme		
	<b>Tiempo total para los seis inyectores</b>	3 d	1 TM1, 1 OM1, 2 AM
1.9	M - Calibración de deflectores	3 h	1 TM1, 1 OM1
1.10	M - Montaje puerta recinto y retiro de entablado	2 h	2 AM
<b>2</b>	<b>INSPECCIÓN PARCIAL DE 1 DIA</b>		
2.1	Revisión a todos los subsistemas que conforman las unidades de generación de 125 Mw	1 d	1TE3, 2TK2, 2TM2
<b>3</b>	<b>INSPECCIÓN PARCIAL DE 2 DIAS</b>		
3.1	Revisión y correcciones menores a los subsistemas que conforman las unidades de generación de 125 Mw	2 d	1TE3, 2TK2, 2TM2

No.	Descripción	DURACIÓN	RECURSO
4	<b>INSPECCIÓN DE RODETE</b>		
4.1	Pruebas de tintas a los cangilones del rodete	7 h	1 TM3, 1 AM

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

## ANEXO 6 Listado de actividades preventivas complementarias

### Actividades preventivas y predictivas que no implican parada de unidad

Item	ACTIVIDADES PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS
	Servicios de mantenimiento diario en actividades de tipo preventivo, predictivo, que soporten la gestión de mantenimiento en solución de reportes de equipo defectuoso, tareas rutinarias de lubricación e inspección, pruebas y maniobras de arranque de unidad.
1	Acabado y pintura para tableros DTL reguladores de velocidad
2	Adecuación de repuestos para mantenimientos
3	Ajuste de acuerdo a planos de boquereles
4	Alistamiento de unidad para pruebas de arranque
5	Cambio bomba de reserva refrigeración
6	Cambio de esparragos de fijación a la articulación de compuertas en rebosadero
7	Cambio de junta al anillo desviador superior
8	Cambio de las juntas del sello de servicio
9	Cambio de rodete pelton
10	Cambio de servomotor deflector
11	Cambio de transformador de 54 MVA
12	Conexión y pruebas de motor bomba jockey (red húmeda Casa de Máquinas)
13	Construcción de mirillas para válvulas de radiadores
14	Construcción de soportes para obras civiles en Santa María
15	Fabricación de ejes para válvulas de 6"
16	Fabricación de filtros de succión de bombas de repuesto
17	Fabricación de plantillas control rodetes
18	Fabricación de sellos fijos de rele de aplicación de sello de servicio válvulas sulzer
19	Fabricación y montaje de dispositivo para cilindros de alta presión
20	Limpieza recinto de generador
21	Limpieza y engrase válvulas mariposa y equipos asociados en cámara de válvulas
22	Maniobra apertura y cierre Rio Negro y Tunjita Monte
23	Mantenimiento bombas centrífugas (c/u)
25	Mantenimiento de reductores de las tres (3) compuertas

Item	ACTIVIDADES PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS
21	Limpieza y engrase válvulas mariposa y equipos asociados en cámara de válvulas
22	Maniobra apertura y cierre Rio Negro y Tunjita Monte
23	Mantenimiento bombas centrífugas (c/u)
25	Mantenimiento de reductores de las tres (3) compuertas
26	Mantenimiento de relés de protecciones (de una máquina)
27	Mantenimiento a soporte de desmontaje de eje inferior
28	Mantenimiento de una (1) compuerta radial
29	Mantenimiento válvula de by pass cámara de válvulas
30	Mantenimiento desviación Rio Negro
32	Mantenimiento electrónico equipos varios Santa María
33	Mantenimiento grúa galion
34	Mantenimiento intercambiador de calor
35	Mantenimiento juego de radiadores (6)
36	Mantenimiento recinto de escobillas
37	Medidas iniciales; ajuste por raqueteo
38	Mantenimiento bomba de refrigeración de repuesto
39	Mantenimiento eléctrico base militar
40	Mantenimiento rejillas de piso turbina
41	Mantenimiento repetidor cazadores (la calera)
42	Pruebas bancos de trafos de potencia (por máquina)
43	Pruebas de arranque de unidad
44	Recuperación de válvula esférica DN 1500 repuesto
45	Reparación cargador de baterías
46	Reparación cargadores de baterías 12 VCD
47	Reparación válvula esférica diámetro 1500
48	Rosería líneas de transmisión 13.8 Kv casa de máquinas - rebosadero
49	Sandblasting de elementos hidromecánicos
50	Saneamiento de toberas
51	Toma de medidas de vibraciones generador

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

## ANEXO 7 Listado de equipos electromecánicos

### PERIFERICOS ELECTROMECHANICOS

Item	EQUIPOS A INTERVENIR
	<b>Aire Comprimido</b>
1	Compresor Toshiba (60 cfm, 120 psi)
2	Compresor Toshiba (60 cfm, 120 psi)
3	Compresor Kellog American (85 cfm, 120 psi)
4	Compresor Kellog American (85 cfm, 120 psi)
5	Compresor frenado de unidad (dos etapas 30 Bar)

	<b>Bodegas</b>
6	Alumbrado e instalaciones eléctricas
7	Red contra incendio

	<b>Red Contra Incendio Casa De Maquinas</b>
8	Red contra incendio

	<b>Equipos Casa De Maquinas</b>
9	Maquinaria y herramientas talleres
10	Cortinas enrollables
11	Bombas sentina

	<b>Alumbrado Casa De Maquinas</b>
12	Sala de generadores
13	Oficinas
14	Sala de control

	<b>Alumbrado Casa De Maquinas</b>
13	Oficinas
14	Sala de control
15	Patio de transformadores

	<b>Servicios Aux. 125 Vdc</b>
16	Banco de baterías

	<b>Servicios Aux. 48 Vd.</b>
17	Banco de baterías

	<b>Compresor Aire Clínico</b>
18	Compresor aire clínico
19	Compresor aire clínico

	<b>Campamento</b>
20	Alumbrado e instalaciones eléctricas
21	Instalaciones eléctricas oficinas santa maría

	<b>Base Militar</b>
22	Alumbrado e instalaciones eléctricas

	<b>Equipos De Rebosadero</b>
23	Alumbrado e instalaciones eléctricas
24	Compuerta radial (cadenas)
25	Compuerta radial (motores)

<b>Equipos De Rebosadero</b>	
26	Compuerta radial (sellos)
27	Planta diesel
28	Servicios aux. 480 Vdc
29	Unidad de transformación 13.8/0.480 Kv
30	Banco de baterías 48 V (cámara de válvulas)
31	Banco de baterías 48 V (cámara de válvulas)
32	Lavado y pintura de de reductores, barandas, escaleras y rejillas

<b>Río Negro</b>	
33	Alumbrado e instalaciones eléctricas
34	Compuertas (reductor)
35	Compuertas (accionamiento)
36	Compuertas (sistema de izaje)
37	Planta diesel
38	Servicios aux. 208/110 Vdc

<b>Servicios Auxiliares Generales De La Central</b>	
39	Alimentación tridevanado
40	Generador diesel 650 Kva
41	Compresor planta diesel
42	Servicios aux. 480 Vdc
43	Subestación 13.8 Kv
44	Puente grúa 130/30 T Chivor

<b>Tunjita Monte</b>	
45	Alumbrado e instalaciones eléctricas

<b>Tunjita Monte</b>	
46	Compuertas (reductor)
47	Compuertas (accionamiento)
48	Compuertas (sistema de izaje)
49	Planta diesel

<b>Cámara De Válvulas</b>	
50	Alumbrado e instalaciones eléctricas
51	Equipos válvulas mariposa
52	Equipos ventilación
53	Descarga de fondo

<b>Galería De Drenaje</b>	
54	Subestación
55	Ventilación

<b>Línea De Transm. 13.8 Kv</b>	
56	LT bases militares
57	LT casa de máquinas - santa maria 13.8 Kv.
58	LT casa de máquinas - bodegas
59	LT santa maría - rebosadero
60	Toma de datos, gem mecánico
61	Toma de datos, gem eléctrico

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

## ANEXO 8 Listado de equipos electrónicos

### PERIFERICOS ELECTRONICOS

Item	EQUIPOS A INTERVENIR
	<b>Comunicaciones VHF</b>
1	Repetidor calichana (santa maría)
2	Repetidor alto yerbabuena (Bogotá)
3	Repetidor san lázaro (Tunja)
4	Repetidor irzon (Sutatenza)
5	Radios portátil
6	Radio base
7	Radio móvil

	<b>Instrumentación</b>
8	Calibración instrumentos de medida
9	Contadores sala de control
10	Monitor de temperatura

	<b>Red Telefónica</b>
11	Red telefónica casa de máquinas
12	Red telefónica rebosadero
13	Red telefónica santa maría

	<b>Servicios Esenciales</b>
14	Inversor estático
15	Unidad terminal remota
16	Alimentación 125 V dc

<b>Servicios Esenciales</b>	
17	Alimentación 48 V dc

<b>Red Contra Incendio</b>	
18	Sensores
19	Panel de control

<b>Planta Diesel</b>	
20	Generador diesel casa de máquinas
21	Generador diesel rebosadero
22	Toma de datos

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

## ANEXO 9 Listado de tareas taller industrial

### ACTIVIDADES TALLER INDUSTRIAL

Item	ACTIVIDADES A REALIZAR
1	Recuperación juego de agujas de inyectores
2	Recuperación juego de boquillas de inyectores
3	Recuperación juego racores de empalme de inyectores
4	Recuperación juego de pistones inyectores
5	Recuperación juego de inyectores
6	Recuperación ejes de inyectores
7	Fabricación juego de anillos de teflon grafitado para inyectores
8	Recuperación de un cuerpo inyector
9	Recuperación juego de boquereles inyectores
10	Recuperación juego de toberas inyectores
11	Recuperación juego de deflectores inyectores
12	Recuperación rodete pelton
13	Pulido de rodete y verificación de plantillas
14	Fabricación juego de tapas para inyectores
15	Fabricación juego de anillos para inyectores
16	Fabricación juego de casquillos calibrados para rodete pelton
17	Reparación de aguja y boquilla inyector de frenado
18	Recuperación rele hidráulico
19	Recuperación válvula rectilínea de by - pass
20	Recuperación de obturador zona III de válvula esférica charmilles
21	Recuperación de sello fijo válvula esférica charmilles

Item	ACTIVIDADES A REALIZAR
20	Recuperación de obturador zona III de válvula esférica charmilles
21	Recuperación de sello fijo válvula esférica charmilles
22	Recuperación de sello móvil válvula esférica charmilles
23	Recuperación tubo de desmontaje válvula esférica charmilles
24	Recuperación juego de bridas salida de caracol
25	Recuperación válvula de alta presión DN 150 PN 100
26	Reparación servomotor de deflectores
27	Recuperación válvula de alivio presión toberas válvula esférica charmilles
28	Ajuste cojinetes guía superior (9 sectores)
29	Ajuste cojinetes guía inferior (6 sectores)
30	Ajuste cojinetes de empuje (9 sectores)
31	Ajuste del sello del desviador inferior de aceite
32	Recuperación bomba vertical
33	Recuperación válvula de compuerta
34	Recuperación válvula globo

Fuente: AES CHIVOR & CIA S.C.A. E.S.P Bogotá - Colombia.

## Anexo 10 Fichero datos de entrada en GAMS

*Líneas de comentarios explicativas del modelo para facilitar su entendimiento*

\$ontext

MODELO CALCULO CAPACIDAD EJECUCION DE MANTENIMIENTO  
PARA AES CHIVOR

\$offtext

*Este es el bloque de conjuntos SETS los cuales definen los índices que se utilizarán en el modelo*

SETS

i Especialidad tecnica /e1\*e23/  
j Estrategia de mantenimiento /m1\*m13/  
k Empresa contratista /s1/;

*Bloque de datos en este caso se utilizó el de parámetros (PARAMETER)*

PARAMETER c(i,k) costo en pesos de la hora-hombre regular por especialidad tecnica presentado por la empresa s1

/e1.s1 27217,  
e2.s1 20413,  
e3.s1 19366,  
e4.s1 18633,  
e5.s1 15702,  
e6.s1 14132,  
e7.s1 12876,  
e8.s1 10468,  
e9.s1 27217,  
e10.s1 20413,  
e11.s1 19366,  
e12.s1 18319,  
e13.s1 14132,  
e14.s1 12876,  
e15.s1 10468,  
  
e16.s1 27217,  
e17.s1 19366,  
e18.s1 18319,

e19.s1 19366,  
e20.s1 26170,  
e21.s1 20413,  
e22.s1 19366,  
e23.s1 18633/;

PARAMETER d(i,k) costo en pesos de la hora-hombre extra por especialidad tecnica presentado por la empresa s1

/e1.s1 32520,  
e2.s1 24389,  
e3.s1 23139,  
e4.s1 22263,  
e5.s1 18761,  
e6.s1 16885,  
e7.s1 15385,  
e8.s1 12508,  
e9.s1 32520,  
e10.s1 24389,  
e11.s1 23139,  
e12.s1 21888,  
e13.s1 16885,  
e14.s1 15385,  
e15.s1 12508,  
e16.s1 32520,  
e17.s1 23139,  
e18.s1 22263,  
e19.s1 23139,  
e20.s1 31269,  
e21.s1 24389,  
e22.s1 23139,  
e23.s1 22263/;

PARAMETER p(k) productividad empresa contratista

/s1 0.9/;

PARAMETER r(i, j) demanda horas-hombre en jornada regular por estrategia de mantenimiento

/e2.m1 137,

e3.m1 1823,  
e4.m1 602,  
e6.m1 825,  
e7.m1 403,  
e8.m1 2723,  
e10.m1 318,  
e11.m1 684,  
e12.m1 1544,  
e13.m1 349,  
e14.m1 1290,  
e15.m1 3932,  
e17.m1 270,  
e18.m1 463,  
e20.m1 163,  
e21.m1 700,  
e23.m1 700,  
e2.m2 384,  
e3.m2 652,  
e4.m2 2388,  
e6.m2 1060,  
e7.m2 308,  
e8.m2 2404,  
e10.m2 392,  
e11.m2 680,  
e12.m2 1656,  
e13.m2 736,  
e14.m2 844,  
e15.m2 3128,  
e17.m2 960,  
e18.m2 952,  
e20.m2 104,  
e21.m2 840,  
e23.m2 840,  
e12.m3 70,  
e14.m3 72,

e15.m3 146,  
e2.m4 30,  
e17.m4 60,  
e10.m4 60,  
e11.m4 70,  
e15.m4 70,  
e2.m5 661,  
e3.m5 297,  
e4.m5 310,  
e5.m5 540,  
e6.m5 80,  
e8.m5 868,  
e10.m5 528,  
e11.m5 583,  
e12.m5 1361,  
e13.m5 1037,  
e14.m5 2606,  
e15.m5 2444,  
e17.m5 873,  
e18.m5 693,  
e19.m5 504,  
e21.m5 283,  
e22.m5 61,  
e23.m5 820,  
e2.m6 297,  
e3.m6 162,  
e4.m6 82,  
e5.m6 512,  
e8.m6 296,  
e11.m6 331,  
e12.m6 446,  
e13.m6 209,  
e14.m6 328,  
e15.m6 407,  
e17.m6 317,

e18.m6 151,  
e19.m6 92,  
e21.m6 79,  
e22.m6 111,  
e23.m6 167,  
e2.m7 1078,  
e3.m7 182,  
e4.m7 581,  
e5.m7 552,  
e8.m7 1561,  
e11.m7 79,  
e12.m7 142,  
e14.m7 55,  
e15.m7 135,  
e17.m7 965,  
e18.m7 790,  
e19.m7 50,  
e21.m7 136,  
e23.m7 61,  
e2.m8 121,  
e3.m8 122,  
e4.m8 79,  
e5.m8 186,  
e8.m8 143,  
e11.m8 107,  
e12.m8 126,  
e13.m8 73,  
e14.m8 38,  
e15.m8 215,  
e17.m8 422,  
e18.m8 352,  
e19.m8 478,  
e22.m8 118,  
e23.m8 71,  
e2.m9 462,

e3.m9 198,  
e4.m9 385,  
e5.m9 523,  
e8.m9 568,  
e11.m9 53,  
e12.m9 113,  
e14.m9 65,  
e15.m9 37,  
e17.m9 726,  
e18.m9 180,  
e19.m9 36,  
e21.m9 745,  
e22.m9 1152,  
e23.m9 76,  
e4.m10 62,  
e10.m10 976,  
e13.m10 1481,  
e14.m10 3123,  
e15.m10 48,  
e20.m10 1617,  
e10.m11 412,  
e13.m11 119,  
e14.m11 1519,  
e10.m12 476,  
e13.m12 365,  
e14.m12 1647,  
e15.m12 265,  
e20.m12 448,  
e1.m13 3034,  
e9.m13 2931,  
e16.m13 2888/;

PARAMETER  $s(i, j)$  demanda horas-hombre extras por estrategia de mantenimiento

/e2.m5 90,  
e3.m5 32,  
e4.m5 34,

e5.m5 66,  
e8.m5 142,  
e10.m5 247,  
e11.m5 46,  
e12.m5 25,  
e13.m5 31,  
e14.m5 660,  
e15.m5 68,  
e17.m5 77,  
e18.m5 59,  
e19.m5 25,  
e21.m5 28,  
e23.m5 42,  
e2.m6 73,  
e3.m6 38,  
e4.m6 31,  
e5.m6 80,  
e8.m6 153,  
e11.m6 29,  
e12.m6 48,  
e15.m6 43,  
e17.m6 41,  
e18.m6 34,  
e21.m6 33,  
e23.m6 42,  
e2.m7 171,  
e3.m7 56,  
e4.m7 54,  
e5.m7 138,  
e8.m7 237,  
e15.m7 59,  
e17.m7 112,  
e18.m7 126,  
e21.m7 44,  
e23.m7 47,

e2.m8 37,  
e3.m8 33,  
e4.m8 39,  
e5.m8 48,  
e8.m8 120,  
e12.m8 44,  
e15.m8 48,  
e17.m8 31,  
e18.m8 42,  
e23.m8 28,  
e2.m9 157,  
e3.m9 48,  
e4.m9 70,  
e5.m9 48,  
e8.m9 86,  
e11.m9 30,  
e12.m9 61,  
e15.m9 46,  
e17.m9 341,  
e18.m9 37,  
e21.m9 32,  
e10.m10 53,  
e13.m10 171,  
e14.m10 281,  
e20.m10 76,  
e10.m11 254,  
e14.m11 712,  
e10.m12 62,  
e14.m12 47,  
e1.m13 286,  
e9.m13 76,  
e16.m13 300/;

PARAMETER  $t(i, j)$  factor de actualización horas-hombre en jornada regular por estrategia de mantenimiento

/e2.m1 0.9,

e3.m1 0.9,  
e4.m1 0.9,  
e6.m1 0.9,  
e7.m1 0.9,  
e8.m1 0.9,  
e10.m1 0.9,  
e11.m1 0.9,  
e12.m1 0.9,  
e13.m1 0.9,  
e14.m1 0.9,  
e15.m1 0.9,  
e17.m1 0.9,  
e18.m1 0.9,  
e20.m1 0.9,  
e21.m1 0.9,  
e23.m1 0.9,  
e2.m2 0.9,  
e3.m2 0.9,  
e4.m2 0.9,  
e6.m2 0.9,  
e7.m2 0.9,  
e8.m2 0.9,  
e10.m2 0.9,  
e11.m2 0.9,  
e12.m2 0.9,  
e13.m2 0.9,  
e14.m2 0.9,  
e15.m2 0.9,  
e17.m2 0.9,  
e18.m2 0.9,  
e20.m2 0.9,  
e21.m2 0.9,  
e23.m2 0.9,  
e12.m3 0.9,  
e14.m3 0.9,

e15.m3 0.9,  
e2.m4 1,  
e17.m4 1,  
e10.m4 1,  
e11.m4 1,  
e15.m4 1,  
e2.m5 1.5,  
e3.m5 1.5,  
e4.m5 1.5,  
e5.m5 1.5,  
e6.m5 1.5,  
e8.m5 1.5,  
e10.m5 1.5,  
e11.m5 1.5,  
e12.m5 1.5,  
e13.m5 1.5,  
e14.m5 1.5,  
e15.m5 1.5,  
e17.m5 1.5,  
e18.m5 1.5,  
e19.m5 1.5,  
e21.m5 1.5,  
e22.m5 1.5,  
e23.m5 1.5,  
e2.m6 0.5,  
e3.m6 0.5,  
e4.m6 0.5,  
e5.m6 0.5,  
e8.m6 0.5,  
e11.m6 0.5,  
e12.m6 0.5,  
e13.m6 0.5,  
e14.m6 0.5,  
e15.m6 0.5,  
e17.m6 0.5,

e18.m6 0.5,  
e19.m6 0.5,  
e21.m6 0.5,  
e22.m6 0.5,  
e23.m6 0.5,  
e2.m7 1.3,  
e3.m7 1.3,  
e4.m7 1.3,  
e5.m7 1.3,  
e8.m7 1.3,  
e11.m7 1.3,  
e12.m7 1.3,  
e14.m7 1.3,  
e15.m7 1.3,  
e17.m7 1.3,  
e18.m7 1.3,  
e19.m7 1.3,  
e21.m7 1.3,  
e23.m7 1.3,  
e2.m8 0.7,  
e3.m8 0.7,  
e4.m8 0.7,  
e5.m8 0.7,  
e8.m8 0.7,  
e11.m8 0.7,  
e12.m8 0.7,  
e13.m8 0.7,  
e14.m8 0.7,  
e15.m8 0.7,  
e17.m8 0.7,  
e18.m8 0.7,  
e19.m8 0.7,  
e22.m8 0.7,  
e23.m8 0.7,  
e2.m9 0.8,

e3.m9 0.8,  
e4.m9 0.8,  
e5.m9 0.8,  
e8.m9 0.8,  
e11.m9 0.8,  
e12.m9 0.8,  
e14.m9 0.8,  
e15.m9 0.8,  
e17.m9 0.8,  
e18.m9 0.8,  
e19.m9 0.8,  
e21.m9 0.8,  
e22.m9 0.8,  
e23.m9 0.8,  
e4.m10 0.9,  
e10.m10 0.9,  
e13.m10 0.9,  
e14.m10 0.9,  
e15.m10 0.9,  
e20.m10 0.9,  
e10.m11 0.7,  
e13.m11 0.7,  
e14.m11 0.7,  
e10.m12 0.5,  
e13.m12 0.5,  
e14.m12 0.5,  
e15.m12 0.5,  
e20.m12 0.5,  
e1.m13 0.9,  
e9.m13 0.9,  
e16.m13 0.9/;

PARAMETER  $w(i, j)$  factor de actualización horas-hombre extras por estrategia de mantenimiento

/e2.m5 0.2,  
e3.m5 0.2,

e4.m5 0.2,  
e5.m5 0.2,  
e8.m5 0.2,  
e10.m5 0.2,  
e11.m5 0.2,  
e12.m5 0.2,  
e13.m5 0.2,  
e14.m5 0.2,  
e15.m5 0.2,  
e17.m5 0.2,  
e18.m5 0.2,  
e19.m5 0.2,  
e21.m5 0.2,  
e23.m5 0.2,  
e2.m6 0.5,  
e3.m6 0.5,  
e4.m6 0.5,  
e5.m6 0.5,  
e8.m6 0.5,  
e11.m6 0.5,  
e12.m6 0.5,  
e15.m6 0.5,  
e17.m6 0.5,  
e18.m6 0.5,  
e21.m6 0.5,  
e23.m6 0.5,  
e2.m7 0.5,  
e3.m7 0.5,  
e4.m7 0.5,  
e5.m7 0.5,  
e8.m7 0.5,  
e15.m7 0.5,  
e17.m7 0.5,  
e18.m7 0.5,  
e21.m7 0.5,

e23.m7 0.5,  
e2.m8 0.2,  
e3.m8 0.2,  
e4.m8 0.2,  
e5.m8 0.2,  
e8.m8 0.2,  
e12.m8 0.2,  
e15.m8 0.2,  
e17.m8 0.2,  
e18.m8 0.2,  
e23.m8 0.2,  
e2.m9 0.2,  
e3.m9 0.2,  
e4.m9 0.2,  
e5.m9 0.2,  
e8.m9 0.2,  
e11.m9 0.2,  
e12.m9 0.2,  
e15.m9 0.2,  
e17.m9 0.2,  
e18.m9 0.2,  
e21.m9 0.2,  
e10.m10 0.2,  
e13.m10 0.2,  
e14.m10 0.2,  
e20.m10 0.2,  
e10.m11 0.1,  
e14.m11 0.1,  
e10.m12 0.2,  
e14.m12 0.2/;

***Bloque de definición variables***

POSITIVE VARIABLES x(i,j,k), y(i,j,k);

VARIABLE z;

***Bloque de declaración y definición de ecuaciones***

EQUATIONS

R1(i,j,k) Restriccion de equilibrio 1  
R2(i,j,k) Restriccion de equilibrio 2  
R3 Funcion Objetivo;

R3.. z =e= sum((i,k), c(i,k)\*sum(j, x(i,j,k))) + sum((i,k), d(i,k)\*sum(j, y(i,j,k)));

R1(i,j,k).. x(i,j,k)\*p(k) =g= r(i,j)\*t(i,j);

R2(i,j,k).. y(i,j,k)\*p(k) =g= s(i,j)\*w(i,j);

***Bloque de declaración del modelo y definición de las ecuaciones que lo conformaran***

model mantenimiento /ALL/;

***Bloque de solución***

solve mantenimiento USING LP minimizing z;

## Anexo 11 Fichero de salida en GAMS

### Escenario número 1 productividad 0.9

GAMS Rev 135 Microsoft Window 07/11/08 10:22:08 Page 1

General Algebraic Modeling System

Compilation

#### ***Bloque listado de ecuaciones***

---- R1 =G= Restriccion de equilibrio 1

R1(e1,m1,s1).. 0.9\*x(e1,m1,s1) =G= 0 ; (LHS = 0)

R1(e1,m2,s1).. 0.9\*x(e1,m2,s1) =G= 0 ; (LHS = 0)

---- R2 =G= Restriccion de equilibrio 2

R2(e1,m1,s1).. 0.9\*y(e1,m1,s1) =G= 0 ; (LHS = 0)

R2(e1,m2,s1).. 0.9\*y(e1,m2,s1) =G= 0 ; (LHS = 0)

---- R3 =E= Funcion Objetivo

R3.. - 27217\*x(e1,m1,s1) - 27217\*x(e1,m2,s1) - 27217\*x(e1,m3,s1)

- 27217\*x(e1,m4,s1) - 27217\*x(e1,m5,s1) - 27217\*x(e1,m6,s1)

#### ***Bloque de variables***

---- x

x(e1,m1,s1)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, +INF)

0.9 R1(e1,m1,s1)

-27217 R3

x(e1,m2,s1)

(.LO, .L, .UP = 0, 0, +INF)

0.9 R1(e1,m2,s1)

-27217 R3

***Bloque de estadísticas del modelo***

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS 3 SINGLE EQUATIONS 599  
BLOCKS OF VARIABLES 3 SINGLE VARIABLES 599  
NON ZERO ELEMENTS 1197

GENERATION TIME = 0.200 SECONDS 1.6 Mb WIN211-135

EXECUTION TIME = 0.200 SECONDS 1.6 Mb WIN211-13

SOLVE SUMMARY

MODEL mantenimiento OBJECTIVE z

TYPE LP DIRECTION MINIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 501

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION

\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 1687089856.3333

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.270 1000.000

ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Jun 2, 2003 WIN.CP.CP 21.1 023.025.041.VIS For Cplex 8.1

Cplex 8.1.0, GAMS Link 23

Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Optimal solution found.

Objective : 1687089856.3333

***Bloque de solución***

--- VAR x

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
e1 .m1 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	27217.000

e1 .m8 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m13.s1	.	3034.000	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	137.000	+INF	.
e2 .m2 .s1	.	384.000	+INF	.
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m4 .s1	.	33.333	+INF	.
e2 .m5 .s1	.	1101.667	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	165.000	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	1557.111	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	94.111	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	410.667	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m12.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m13.s1	.	.	+INF	20413.000
e3 .m1 .s1	.	1823.000	+INF	.
e3 .m2 .s1	.	652.000	+INF	.

--- VAR y

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	32520.000

e1 .m11.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m13.s1	.	286.000	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m2 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m4 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m5 .s1	.	20.000	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	40.556	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	95.000	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	8.222	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	34.889	+INF	.

**Escenario número 2 productividad 1.1**

GAMS Rev 135 Microsoft Window 07/12/08 20:04:38 Page 1  
 General Algebraic Modeling System  
 Compilation

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	599
BLOCKS OF VARIABLES	3	SINGLE VARIABLES	599
NON ZERO ELEMENTS	1197		

GENERATION TIME	=	0.211 SECONDS	1.6 Mb	WIN211-135
EXECUTION TIME	=	0.211 SECONDS	1.6 Mb	WIN211-135

SOLVE SUMMARY

MODEL mantenimiento OBJECTIVE z  
 TYPE LP DIRECTION MINIMIZE  
 SOLVER CPLEX FROM LINE 501  
 \*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
 \*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 1380346246.0909

RESOURCE USAGE, LIMIT	0.260	1000.000
-----------------------	-------	----------

ITERATION COUNT, LIMIT      0      10000

GAMS/Cplex Jun 2, 2003 WIN.CP.CP 21.1 023.025.041.VIS For Cplex 8.1

Cplex 8.1.0, GAMS Link 23

Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Optimal solution found.

Objective : 1380346246.0909

--- VAR x

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
e1 .m1 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m13.s1	.	2482.364	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	112.091	+INF	.
e2 .m2 .s1	.	314.182	+INF	.
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m4 .s1	.	27.273	+INF	.
e2 .m5 .s1	.	901.364	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	135.000	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	1274.000	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	77.000	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	336.000	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	20413.000

e2 .m12.s1 . . +INF 20413.000  
 e2 .m13.s1 . . +INF 20413.000  
 --- VAR y

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m2 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m3 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m4 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m5 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m6 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m7 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m8 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m9 .s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m10.s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m11.s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m12.s1 . . +INF 32520.000  
 e1 .m13.s1 . 234.000 +INF .  
 e2 .m1 .s1 . . +INF 24389.000  
 e2 .m2 .s1 . . +INF 24389.000  
 e2 .m3 .s1 . . +INF 24389.000  
 e2 .m4 .s1 . . +INF 24389.000  
 e2 .m5 .s1 . 16.364 +INF .  
 e2 .m6 .s1 . 33.182 +INF .  
 e2 .m7 .s1 . 77.727 +INF .  
 e2 .m8 .s1 . 6.727 +INF .  
 e2 .m9 .s1 . 28.545 +INF .  
 e2 .m10.s1 . . +INF 24389.000  
 e2 .m11.s1 . . +INF 24389.000  
 e2 .m12.s1 . . +INF 24389.000  
 e2 .m13.s1 . . +INF 24389.000

**Escenario número 3 productividad 0.8**

GAMS Rev 135 Microsoft Window 07/12/08 20:32:03 Page 1

General Algebraic Modeling System  
Compilation

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS 3 SINGLE EQUATIONS 599  
BLOCKS OF VARIABLES 3 SINGLE VARIABLES 599  
NON ZERO ELEMENTS 1197

GENERATION TIME = 0.221 SECONDS 1.6 Mb WIN211-135  
EXECUTION TIME = 0.241 SECONDS 1.6 Mb WIN211-1

SOLVE SUMMARY

MODEL mantenimiento OBJECTIVE z

TYPE LP DIRECTION MINIMIZE

SOLVER CPLEX FROM LINE 501

\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION

\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL

\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 1897976088.3750

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.130 1000.000

ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Jun 2, 2003 WIN.CP.CP 21.1 023.025.041.VIS For Cplex 8.1

Cplex 8.1.0, GAMS Link 23

Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Optimal solution found.

Objective : 1897976088.3750

--- VAR x

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m13.s1	.	3413.250	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	154.125	+INF	.
e2 .m2 .s1	.	432.000	+INF	.
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m4 .s1	.	37.500	+INF	.
e2 .m5 .s1	.	1239.375	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	185.625	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	1751.750	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	105.875	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	462.000	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m12.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m13.s1	.	.	+INF	20413.000

--- VAR y

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m13.s1	.	321.750	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m2 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m4 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m5 .s1	.	22.500	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	45.625	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	106.875	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	9.250	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	39.250	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m12.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m13.s1	.	.	+INF	24389.000

## Escenario número 4 productividad 1

GAMS Rev 135 Microsoft Window 07/12/08 22:47:06 Page 1

General Algebraic Modeling System  
Compilation

### MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	599
BLOCKS OF VARIABLES	3	SINGLE VARIABLES	599
NON ZERO ELEMENTS	1197		

GENERATION TIME	=	0.231 SECONDS	1.6 Mb	WIN211-135
EXECUTION TIME	=	0.231 SECONDS	1.6 Mb	WIN211-13

### SOLVE SUMMARY

MODEL mantenimiento OBJECTIVE z  
TYPE LP DIRECTION MINIMIZE  
SOLVER CPLEX FROM LINE 501  
\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 1518380870.7000  
RESOURCE USAGE, LIMIT 0.150 1000.000  
ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Jun 2, 2003 WIN.CP.CP 21.1 023.025.041.VIS For Cplex 8.1

Cplex 8.1.0, GAMS Link 23

Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Optimal solution found.

Objective : 1518380870.7000

--- VAR x

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m13.s1	.	2730.600	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	123.300	+INF	.
e2 .m2 .s1	.	345.600	+INF	.
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m4 .s1	.	30.000	+INF	.
e2 .m5 .s1	.	991.500	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	148.500	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	1401.400	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	84.700	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	369.600	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m12.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m13.s1	.	.	+INF	20413.000

--- VAR y

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m13.s1	.	257.400	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m2 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m4 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m5 .s1	.	18.000	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	36.500	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	85.500	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	7.400	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	31.400	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m12.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m13.s1	.	.	+INF	24389.000

## Escenario número 5 productividad 1.2

GAMS Rev 135 Microsoft Window 07/12/08 23:01:29 Page 1

General Algebraic Modeling System  
Compilation

### MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	599
BLOCKS OF VARIABLES	3	SINGLE VARIABLES	599
NON ZERO ELEMENTS	1197		

GENERATION TIME	=	0.231 SECONDS	1.6 Mb	WIN211-135
EXECUTION TIME	=	0.231 SECONDS	1.6 Mb	WIN211-135

### SOLVE SUMMARY

MODEL mantenimiento OBJECTIVE z  
TYPE LP DIRECTION MINIMIZE  
SOLVER CPLEX FROM LINE 501  
\*\*\*\* SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION  
\*\*\*\* MODEL STATUS 1 OPTIMAL  
\*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 1265317392.2500  
RESOURCE USAGE, LIMIT 0.150 1000.000  
ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Jun 2, 2003 WIN.CP.CP 21.1 023.025.041.VIS For Cplex 8.1

Cplex 8.1.0, GAMS Link 23

Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Optimal solution found.

Objective : 1265317392.2500

--- VAR x

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	27217.000
e1 .m13.s1	.	2275.500	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	102.750	+INF	.
e2 .m2 .s1	.	288.000	+INF	.
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m4 .s1	.	25.000	+INF	.
e2 .m5 .s1	.	826.250	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	123.750	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	1167.833	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	70.583	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	308.000	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m12.s1	.	.	+INF	20413.000
e2 .m13.s1	.	.	+INF	20413.000

--- VAR y

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

e1 .m1 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m2 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m3 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m4 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m5 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m6 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m7 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m8 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m9 .s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m10.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m11.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m12.s1	.	.	+INF	32520.000
e1 .m13.s1	.	214.500	+INF	.
e2 .m1 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m2 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m3 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m4 .s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m5 .s1	.	15.000	+INF	.
e2 .m6 .s1	.	30.417	+INF	.
e2 .m7 .s1	.	71.250	+INF	.
e2 .m8 .s1	.	6.167	+INF	.
e2 .m9 .s1	.	26.167	+INF	.
e2 .m10.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m11.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m12.s1	.	.	+INF	24389.000
e2 .m13.s1	.	.	+INF	24389.000