

COES SINAC	PROCEDIMIENTO TÉCNICO DEL COMITÉ DE OPERACIÓN ECONÓMICA DEL SEIN	PR – 34
DETERMINACION DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES TERMoeLECTRICAS DEL COES		
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aprobado en S.D. N°222 del 04 de noviembre de 2004 . <input type="checkbox"/> Aprobado según RM N°516-2005-MEM/DM del 17 de diciembre de 2005. <input type="checkbox"/> Modificación aprobada según RM N°080-2006-MEM/DM del 19 de febrero de 2006. <input type="checkbox"/> Modificación aprobada según Resolución OSINERGMIN N°214-2010-OS/CD del 28 de agosto de 2010. 		

1. OBJETIVO

Establecer los principios y criterios metodológicos unificadores bajo los cuales los Integrantes del COES sustentarán los costos variables y los costos fijos no combustibles relativos al mantenimiento de sus unidades termoeléctricas, para su aplicación en la programación de la operación en tiempo real, el despacho y las correspondientes transferencias de energía activa.

2. BASE LEGAL

- 2.1. Decreto Ley 25844, Ley de Concesiones Eléctricas.
- 2.2. Decreto Supremo 009-93-EM, Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas - (Artículos 92°, 93°, 95°, 97°).
- 2.3. Ley N° 28832, Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica (Artículos 12 y 14).
- 2.4. Decreto Supremo N° 027-2008-EM Reglamento del COES.
- 2.5. Estatutos del COES.
- 2.6. Guía de Elaboración de Procedimientos Técnicos, Resolución OSINERGMIN N° 476-2008-OS/CD

3. DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS

Las definiciones utilizadas en el presente Procedimiento, están precisadas en el Glosario de Abreviaturas y Definiciones del COES y/o cuando sea necesario, en el propio cuerpo del presente Procedimiento.

4. RESPONSABILIDADES

4.1. Del COES

- 4.1.1. Revisar, observar, solicitar mayor información y/o sustento, y aprobar los informes de costos variables y de costos fijos no combustibles de mantenimiento de las unidades termoeléctricas que sustenten las empresas integrantes de generación, conforme al presente procedimiento.
- 4.1.2. Informar a los Integrantes del COES, de la aprobación y/o modificación del Costo Variable de Mantenimiento (CVM), del Costo Fijo Anual de Mantenimiento (CFAM) y de los Costos de Mantenimiento por Arranque (CMarr), de las distintas unidades termoeléctricas del SEIN.
- 4.1.3. Mantener actualizada la información sustentatoria necesaria para la aplicación del presente procedimiento.
- 4.1.4. Asumir todos los costos que la revisión y aprobación del informe sustentatorio ocasione.

4.2. De los Integrantes del COES

- 4.2.1 Sustentar mediante Informe Técnico-Económico, los costos variables y los costos fijos no combustibles de mantenimiento de sus unidades termoeléctricas, conforme al presente procedimiento.
- 4.2.2 Actualizar la información de los costos variables y fijos de mantenimiento de sus unidades termoeléctricas cuando existan condiciones que así lo ameriten, mediante informe de conformidad al numeral 4.2.1.
- 4.2.3 Asumir todos los costos que el informe sustentatorio ocasione.

5. PERIODICIDAD

Inicialmente, el informe sustentatorio deberá entregarse al COES en la misma oportunidad en que el titular remita al COES la información que es requisito para determinar el ingreso a operación comercial de una unidad de generación, conforme al PR-Nº 21.

El informe sustentatorio deberá ser actualizado necesariamente por el titular cada cuatro años calendarios.

Si antes del plazo anterior, las premisas del informe vigente variasen en forma relevante (tales como repotenciaciones y/o cambio de combustible), el titular deberá actualizar dicho informe. Si no lo hiciera, el COES podrá solicitarle justificadamente la actualización correspondiente.

6. VIGENCIA

El informe sustentatorio mantendrá su vigencia hasta la aprobación de un nuevo informe por parte del COES.

7. APROBACIÓN

El COES aprobará el informe en un plazo máximo de 30 días calendarios.

Si el COES presentara observaciones al informe, el Integrante del COES tendrá un plazo máximo de 30 días calendarios para levantar o subsanar dichas observaciones; finalizado este plazo, el COES dentro de los siguientes 30 días calendarios aprobará o rechazará el informe.

8. INFORMACIÓN REQUERIDA

8.1 Medios

La totalidad del informe sustentatorio será presentado en medio impreso en dos ejemplares de igual valor y contenido.

Toda la información también será presentada en medio digital. Todos los cálculos serán proporcionados en hojas electrónicas de uso común en el COES, las que deberán permitir verificar la data así como reproducir los cálculos efectuados; es decir, deberán contener las fórmulas, macros y enlaces necesarios sin protección al acceso, no se aceptarán hojas de cálculo convertidas a hojas de datos.

8.2 Requerimientos

La información requerida por el COES para la aplicación del presente procedimiento será presentada y sustentada por los Integrantes del COES, la que será analizada y aprobada por el COES. La información de sustento que debe ser presentada al COES son: Manual de Operación y Mantenimiento, Plan Anual de Mantenimiento recomendado por el Fabricante, Contrato con sus Proveedores, copias de las Facturas y otra información, a criterio del COES.

En el caso que las empresas generadoras no presenten el estudio de determinación del CVNC, las actualizaciones requeridas o el sustento de la misma no fuera aprobado, el COES asumirá el valor mínimo del CVNC de las unidades termoeléctricas de similar característica existentes en el SEIN y los pondrá en conocimiento de los demás Integrantes del COES.

A continuación se detalla la descripción de los datos técnicos, la periodicidad y el flujo de información necesarios que debe existir entre COES y los Integrantes del COES:

a. Características técnicas y operativas de unidades termoeléctricas: Fabricante de la unidad, tipo de la unidad, características generales, potencia efectiva, tipos de combustible(s) utilizado(s), etc.

Reporte: Conforme al procedimiento PR-Nº 17.

Emisor: Integrantes del COES.

Receptor: COES.

b. Mantenimientos: Costo variable de mantenimiento (CVM), costo fijo anual de mantenimiento (CFAM), costo de mantenimiento por arranque (CMarr).

Reporte: Informe Técnico-Económico basado en la metodología del presente procedimiento.

Emisor: Integrantes del COES.

Receptor: COES.

c. Información histórica: Número de arranques por año ($S_{histórico}$), horas de operación por año, máximo número de horas de indisponibilidad por salidas programadas por año y máximo número de horas de indisponibilidad por salidas forzadas por año.

Reporte: La información histórica será registrada en la base de datos del COES (SICOES) y publicada anualmente en el Portal de Internet del COES.

Emisor: COES.

Receptor: Integrantes del COES.

9. ALCANCES

9.1 Los Costos de Mantenimiento

En la programación y planificación de la operación es necesario conocer, al menos en forma aproximada, cuales serán los costos de mantenimiento de las unidades de generación termoeléctricas en que se incurrirá en el futuro producto de la operación del presente, para lograr el cumplimiento del objetivo de optimización de la operación del sistema. Por lo general, la necesidad de información se centra en conocer los costos variables de mantenimiento, los costos fijos anuales de mantenimiento y los costos de mantenimiento por arranque.

En estricto, un costo variable es aquel que varía proporcionalmente con el volumen de actividad o nivel de producción -KWh- y que puede ser expresado con un coeficiente estándar por nivel de producción -\$/KWh- (costo operativo). A su vez, un costo fijo, es aquel que no depende del nivel de producción, sino sólo del tiempo entendido como calendario -\$/año- (costo comprometido).

La consideración del momento oportuno de efectuar un tipo específico de mantenimiento en una determinada unidad de generación térmica, depende de la acumulación de cierta cantidad de horas de operación (diferentes a horas calendario), o de la acumulación de un cierto número de arranques, o en otras a una combinación de eventos más o menos complicada que normalmente incluye las dos anteriores.

Es evidente, que los costos de mantenimiento en cualquier actividad industrial (no sólo en el caso de unidades de generación termoeléctricas), no dependen estrictamente del

nivel de producción ni estrictamente del tiempo calendario, es decir que, no son absolutamente variables con el nivel de actividad ni son absolutamente fijos que no dependan para nada del mismo.

Pero dada la necesidad de desagregar los costos de mantenimiento entre variables y fijos, debe aceptarse inicialmente que cualquier solución al problema planteado es una aproximación, una solución de compromiso con ciertas limitaciones; esto por la naturaleza misma de los costos de mantenimiento en general; cualquier metodología que se presente tendrá alguna limitación al tratar de representar la realidad.

El presente procedimiento presenta la metodología a aplicarse para determinar los costos de mantenimiento desagregados en sus componentes: variable (Costo Variable de Mantenimiento CVM) y fijo (Costo Fijo Anual de Mantenimiento CFAM y/o Costo de Mantenimiento por Arranque CMarr) de las diversas unidades termoeléctricas del SEIN.

9.2 La Filosofía del Mantenimiento

Por filosofía del mantenimiento se entiende el establecimiento de la política general del mantenimiento, es decir, de:

- Las **categorías de mantenimiento** a las cuales la unidad de generación estará expuesta durante su vida útil.
- Los **periodos de mantenimiento** entre los cuales se efectuarán las diversas categorías de mantenimiento
- El **contador o acumulador** de la(s) variable(s) que determina(n) la oportunidad de efectuar determinada categoría de mantenimiento

La filosofía de mantenimiento se establece para el motor primo de la unidad de generación; todas las demás secciones o partes complementarias y/o auxiliares de la unidad de generación, adecuan su mantenimiento al del motor primo, a fin de obtener la máxima disponibilidad de la unidad de generación.

En el contexto del presente procedimiento, por motor primo se entiende:

- Al motor de combustión interna en unidades del tipo recíprocante.
- A la turbina de gas en unidades de ciclo simple o de ciclo combinado.
- A la turbina de vapor en centrales a vapor.

9.2.1 Categorías de Mantenimiento

Cada tipo de unidad termoeléctrica (turbogas industrial, turbogas aeroderivativa, turbina de vapor, motor recíprocante, etc.) presenta categorías típicas de mantenimiento, que se repiten o son periódicas en el tiempo, y que son determinadas según la(s) parte(s) más crítica(s) de la unidad y/o la magnitud de la intervención (acá no se refiere, por ejemplo, a inspecciones en marcha o a mantenimiento correctivo menor).

El Integrante del COES deberá basar sus categorías de mantenimiento siguiendo las recomendaciones del fabricante del motor primo; complementariamente se tomará en cuenta la experiencia del titular así como las mejores prácticas de la industria que deberán ser sustentadas.

9.2.2 Periodos de Mantenimiento

Cada categoría de mantenimiento o inspección se ejecuta, a una determinada contabilización de un conjunto de condiciones de operación: horas de operación, número de arranques, tipo de combustible utilizado, etc., es decir, que entre cada mantenimiento están definidos los periodos de mantenimiento.

9.2.3 Contador o acumulador

Para contabilizar las distintas condiciones de operación a las que está expuesta la unidad de generación y determinar el instante recomendado para la

intervención, los fabricantes definen un contador, el cual es una función de las mismas condiciones de operación.

Tanto los periodos de mantenimiento como la definición del contador, deberán basarse en las recomendaciones del fabricante, de la unidad de generación. Complementariamente se tomará en cuenta la experiencia del titular así como las mejores prácticas comunes de la industria que deberán ser sustentadas.

En el Anexo 1, se muestra sólo a modo de ejemplo, una lista y descripción de las diversas categorías de mantenimiento, así como los periodos de mantenimiento y el tipo de contador para las distintas tecnologías de generación.

9.3 Los Costos y Flujo de Mantenimiento

9.3.1 Listado de Repuestos y Costos

Serán considerados los costos directos de la labor de mantenimiento de la unidad de generación; ningún costo asignado de cualquier otra instalación diferente a la propia unidad de generación y/o costos generales serán aceptados. Se supondrá idealmente que en el mismo instante de tiempo se hace el pedido, se efectúa el mantenimiento y se hace el pago por los repuestos y servicios necesarios en cada oportunidad.

Los repuestos necesarios para cada categoría de mantenimiento se deben obtener de las recomendaciones y manuales del fabricante así como de la propia experiencia de la Empresa propietaria.

El listado de los repuestos e insumos necesarios para cada categoría de mantenimiento, debe ser presentado por el generador, especificando como mínimo, la denominación, la cantidad necesaria y precios FOB unitarios, indicando la correspondiente área o sección de la unidad intervenida. Dicho listado debe ser completo y suficiente para sustentar los cálculos realizados. Esta información será revisada por el COES de conformidad al numeral 4.1.1.

A los precios FOB de los repuestos, deben agregarse los costos de internamiento respectivos (flete, seguro, aranceles, y todo impuesto que no genere crédito fiscal) a las tasas vigentes en cada oportunidad.

Para una mayor eficiencia de costos en la gestión del mantenimiento, se deberá optimizar el uso de los repuestos al considerarse su reutilización una vez reparados en fábrica, ya que muchas veces son los repuestos nuevos de estas partes re-utilizables las de mayor costo; se tomará en cuenta para el efecto de las recomendaciones del fabricante en cuanto a que piezas o componentes son reparables, al número o porcentaje esperado de piezas o componentes reparables, no reparables y de piezas o componentes reinstalables sin reparación, así como el número de veces que cada parte es reparable y/o reutilizable; ante la falta de recomendaciones del fabricante se tomará en cuenta la experiencia del titular.

Se considerarán como costos de mantenimiento también a los contratos de alquiler de herramientas o utilería especial, así como los contratos de asesoría especializada y mano de obra especializada durante los trabajos de mantenimiento de cada categoría de mantenimiento. Los costos de personal de operación y mantenimiento propio de la empresa no serán considerados como costos de mantenimiento.

También podrán ser considerados los costos de mantenimiento menor de conservación de la unidad de generación, costos que pueden considerarse que no son función del contador (horas de operación, HEO¹, arranques, etc.), sino que pueden considerarse como costos anuales calendarios.

Cuando se tengan que repartir costos comunes de mantenimiento de instalaciones auxiliares que operen para varios motores primos, el titular deberá proponer y sustentar el factor de reparto.

9.3.2 Flujo de Mantenimiento y Costos Asociados

Con la información de las categorías de mantenimiento y de los periodos de mantenimiento, así como de los costos involucrados en cada oportunidad proporcionados por el Integrante de COES, se debe elaborar un flujo de mantenimiento y de costos asociados función del contador, es decir, dependiendo de la tecnología de la unidad, función de las horas de operación, de las HEO, de los arranques u otro (todavía no en función de las horas calendarías).

9.3.3 Número de arranques

La estimación del número de arranques por año será determinada con la información histórica de arranques de la unidad de los últimos cuatro (4) años. Los números de arranques utilizados serán contrastados con la base de datos del COES para su validez.

9.3.4 Horas de Operación

La estimación de las horas de operación por año será determinada con la información histórica de las horas de operación de la unidad de los últimos cuatro (4) años.

Las horas de operación utilizadas serán contrastadas con la base de datos del COES para su validez.

10. METODOLOGÍA

10.1 Determinación del número de arranques en las unidades termoeléctricas del SEIN

- i) La información histórica de los arranques (población) será considerada de los últimos cuatro (4) años. Para las unidades que no tengan registro histórico de 4 años, por ejemplo unidades nuevas, se podrá aceptar como mínimos dos años de registro histórico.
- ii) El número de arranques históricos por año ($S_{histórico_j}$) será la suma de todos los arranques mensuales durante un año. La fórmula empleada para determinar el $S_{histórico}$ es:

$$S_{histórico_j} = \sum_{i=1}^{12} S_i$$

Donde:

S_i : Número de arranques por mes ($i=1,2,\dots,12$)

$S_{histórico_j}$: Número de arranques históricos por año ($j=1,2,3 \dots$)

- iii) Para las unidades termoeléctricas que operan con diferentes combustibles, el número total de arranques por mes (S_i) será la suma de arranques por cada tipo de combustible por mes (S_{n_i}), la fórmula emplea es:

$$S_i = S_{a_i} + S_{b_i} + S_{c_i} + \dots + S_{n_i}$$

Donde:

S_{n_i} : Número de arranque por tipo de combustible

S_i : Número de arranques por mes ($i=1,2,\dots,12$)

iv) El número de arranques por año será determinado con la media aritmética (promedio) del número de arranques históricos por año ($S_{histórico_j}$) de los últimos cuatro (4) años.

$$S_{anual} = \frac{\sum_{n=1}^4 S_{histórico_j}}{n}$$

Donde:

S_{anual} : Número de arranques por año

$S_{histórico_j}$: Número de arranques históricos por año ($j=1,2,3 \dots$)

El resultado del número de arranques por año será redondeado por exceso.

Si el número de arranques históricos por año (S_{anual}) es igual a cero o no se tiene la cantidad mínima de años de registros históricos exigidos, el COES definirá un número de arranque de acuerdo a los registros históricos de una unidad semejante, considerando el tipo de tecnología, rango de potencia y/o régimen de operación.

10.2 Determinación de los escenarios de horas de operación de las unidades termoeléctricas del SEIN

Los escenarios de operación que serán considerados son los siguientes:

- i) Cero horas de operación anual, para obtener el costo fijo de mantenimiento.
- ii) Mínimo horas de operación anual, que corresponde al mínimo horas de operación anual de la información histórica de los últimos cuatro (4) años. Para las unidades que no tengan registro histórico de 4 años, por ejemplo unidades nuevas, se podrá aceptar como mínimos dos (2) años de registro histórico.
- iii) Promedio de horas de operación anual, que corresponde la media aritmética (promedio) de la información histórica de los últimos cuatro (4) años. Para las unidades que no tengan registro histórico de cuatro (4) años, por ejemplo unidades nuevas, se podrá aceptar como mínimos dos (2) años de registro histórico.
- iv) Máximo horas de operación anual, que corresponde a una operación extrema es igual a las 8760 horas del año, menos las indisponibilidades. Las indisponibilidades se determinan como la suma del promedio de número de horas de indisponibilidad por salidas programadas y el promedio de número de horas de indisponibilidad por salidas forzadas. Esta información será tomada de la información histórica de los últimos cuatro (4) años.

Si las horas de operación históricas por año es igual a cero o no se tiene la cantidad mínima de años de registros históricos exigidos, el COES definirá los

escenarios de operación de acuerdo a los registros históricos de una unidad semejante considerando el tipo de tecnología, rango de potencia y/o régimen de operación.

10.3 Determinación de los Costos Variables de Mantenimiento y de los Costos de Mantenimiento por Arranque

10.3.1 Metodología de Desagregación de Costos

Se deberán simular escenarios de operación posibles de efectuar, de acuerdo al numeral 10.2, durante la vida útil de la unidad termoeléctrica, inmersa en el sistema eléctrico interconectado. Para el efecto, se aceptará la simplificación de que en cada cálculo, la unidad operará durante toda su vida útil sólo bajo una condición de operación anual (un escenario posible). La variedad de condiciones de operación anuales con las que operará en la realidad se toma en cuenta (al menos al nivel teórico) al promediar los resultados de cada una de las condiciones teóricas evaluadas.

Para cada diversa tecnología, los escenarios de operación deberán basarse en lo siguiente:

- i) Turbinas a gas y ciclo combinados: familias de operación en función del número de arranques por año (S_{anual}) y del número de horas de operación.
- ii) Motores reciprocantes: familias de operación de horas de operación anuales.
- iii) Turbinas a vapor: familias de operación de horas de operación anuales.

Cada escenario de operación anual deberá extenderse para la vida útil de la unidad de generación. Para el efecto se considerará en todos los casos una vida útil de 20 años, es decir, la operación deberá elaborarse suponiendo que la unidad fuera nueva, no importando la antigüedad real de la unidad.

Todos los escenarios de operación se efectuarán suponiendo que la unidad de generación operará siempre al nivel de la Potencia Efectiva vigente reconocida por el COES. De esta manera, las horas de operación anuales se determinan como el cociente de la producción anual y la potencia efectiva de la unidad. De la misma manera, si la simulación se efectuara a partir de horas de operación anuales, la producción anual se determinará considerando un nivel de potencia igual al de potencia efectiva.

En los escenarios de operación no se considerarán operaciones de tipo especial, como arranques y tomas de carga rápidas, generación a potencias mayores a la potencia efectiva reconocida, etc.

Para cada escenario de operación considerado (o familias de operación), el flujo de mantenimiento y el correspondiente flujo de costos asociados (hasta ahora expresados en función del contador), deberán ser reexpresados en función de horas calendario, producto del propio escenario de operación simulado.

Luego de lo cual, se deberá calcular el costo total actualizado del mantenimiento a lo largo de la vida útil de la unidad, así como la anualidad representativa de dicho costo total también a lo largo de la vida útil de la unidad. La tasa de actualización deberá ser la fijada en el Artículo 79° de la Ley de Concesiones Eléctricas.

La anualidad de los costos totales de mantenimiento de la unidad se expresará también en función de la producción anual de energía de cada escenario de la operación.

10.3.2 Costo Variable de Mantenimiento (CVM)

La pendiente de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para todos los escenarios de las operaciones consideradas, será considerada como el costo variable de mantenimiento CVM de la unidad.

En el caso de unidades de generación donde el contador considera “número de arranques”, el CVM será determinado con la pendiente de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para el número de arranques por año (S_{anual}).

10.3.3 Costo Fijo Anual de Mantenimiento (CFAM) y Costo de Mantenimiento por Arranque (CMarr)

El intercepto con las ordenadas de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para todos los escenarios de las operaciones consideradas, será considerado como el costo fijo anual de mantenimiento (CFAM) de la unidad.

En el caso de unidades de generación donde el contador considera “número de arranques”, el CFAM será determinado con el intercepto con las ordenadas de la regresión lineal de las anualidades del costo total de mantenimiento en función de la producción anual de energía de la unidad para el número de arranques por año (S_{anual}).

En este último caso, el cociente de CFAM determinado y el número de arranques por año (S_{anual}), será considerado como el costo de mantenimiento por arranque (CMarr) de la unidad.

En el Anexo 2, se muestran ejemplos prácticos para una mejor comprensión.

11. FORMATOS

El COES establecerá los formatos impresos y/o digitales para la entrega de información por parte de los Integrantes del COES en conformidad con el presente procedimiento.

ANEXO 1

TURBINAS A GAS O CICLO COMBINADO

Contador : Horas Equivalentes de Operación HEO (función de horas de operación, número de arranques, etc.)

Categoría de Mantenimiento	Periodos HEO
Menor de la Sección de Combustores	2 000
Mayor de la Sección de Combustores	8 000
De la Sección de Turbina (Ruta de Gases Calientes)	24 000
Mayor	48 000

MOTORES RECIPROCANTES

Contador : Horas de Operación HO

Categoría de Mantenimiento	Periodos HO
Menor	4 000
Intermedio	16 000
Mayor	64 000

TURBINAS DE VAPOR

Contador : Horas de Operación HO

Categoría de Mantenimiento	Periodos HO
Inspección	4 000
Menor	8 000
Intermedio	16 000
Mayor	32 000

ANEXO 2

EJEMPLO PRÁCTICO DE DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES TERMOELÉCTRICAS DEL SEIN

A continuación se muestra un ejemplo práctico de cálculo para la determinación de los costos de mantenimiento de las unidades termoeléctricas del SEIN, siguiendo la metodología explicada en el Procedimiento N° 34.

A) TURBINA A GAS

En el caso de las turbinas a gas, utilizaremos como ejemplo una unidad con una potencia efectiva de 36,7 MW, y un Costo Fijo de Mantenimiento por año de 11,900 US\$. Asimismo, la tasa de actualización a usar será de 12%

1. Costo Variable de Mantenimiento (CVM)

a) Definición de la Política de Mantenimiento

En el Cuadro N° 1 se muestra la política de mantenimiento adoptada para una operación de la unidad en base a combustible Petróleo Diesel N° 2. Tanto las categorías de mantenimiento, como los períodos de mantenimiento medidos en horas equivalentes de operación (HEO), han sido tomados de las recomendaciones del fabricante para este tipo de unidad.

Cuadro N° 1		
POLITICA DE MANTENIMIENTO		
Categoría de mantenimiento	Código	Periodo de Mantenimiento (HEO)
Menor de la Sección de Combustores	M2000	2 000
Mayor de la Sección de Combustores	M8000	8 000
De la Sección de Turbina (Ruta de Gases Calientes)	M24000	24 000
Mayor	M48000	48 000

b) Determinación del Contador

Siguiendo lo establecido en el Procedimiento N° 34, es necesario establecer un Contador que permita determinar el tiempo recomendado para las intervenciones de mantenimiento. En el caso de la unidad que tratamos, el fabricante recomienda el uso de las Horas Equivalentes de Operación (HEO), determinado en base a las horas de operación y el número de arranques de la unidad medido través de la siguiente fórmula:

$$HEO = HO + 20 * Narr$$

Donde:

HEO: Horas Equivalentes de Operación

HO: Horas de Operación
 Narr: Número de arranques

c) Determinación de los costos de mantenimiento

En el Cuadro N° 2 que continua, se muestran las principales actividades de mantenimiento asociadas a las categorías de mantenimiento, así como los costos estimados de cada una de ellas.

Cuadro N° 2		
COSTOS ASOCIADOS A LAS CATEGORIAS DE MANTENIMIENTO		
Tipo	Intervalo HEO	Costo (US\$)
M2000	2 000	18 500
M8000	8 000	83 000
M24000	24 000	410 000
M48000	48 000	1 840 000

d) Determinación del número de arranques

Conforme se indica en el Procedimiento N° 34, para la determinación del número de arranques a considerar, se ha utilizado la información histórica de arranques de los últimos cuatro (4) años, según se muestra en el Cuadro N°3.

Cuadro N° 3			
NÚMERO DE ARRANQUES ANUALES			
2005	2006	2007	2008
18	40	65	36

El número de arranques a considerar en el cálculo, será igual a la media aritmética (promedio) del número de arranques histórico de los últimos cuatro (04) años, tal como se muestra en el Cuadro N°4.

Cuadro N° 4				
NÚMERO DE ARRANQUES ANUALES				
2005	2006	2007	2008	Promedio
18	40	65	36	40

e) Determinación de los escenarios de operación

En forma similar, la información histórica utilizada para la formación de escenarios de operación corresponde al período histórico de los últimos cuatro (04) años. Conforme se

propone, los escenarios de horas de operación considerados para el presente ejemplo de cálculo son los siguientes:

- Escenario 1: 0 horas de operación anual, para apreciar mejor la influencia de los arranques.
- Escenario 2: 100 horas de operación anual, que corresponde al mínimo de horas de operación anual de la información histórica.
- Escenario 3: 250 horas de operación anual, que corresponde a la media aritmética (promedio) de la información histórica.
- Escenario 4: 1600 horas de operación anual, que corresponde a una operación extrema.

f) Flujo de Categorías de Mantenimiento y Costos Asociados

Con la información de la política de mantenimiento, horas de operación, HEO, número de arranques y escenarios de operación, se han elaborado los distintos flujos de mantenimiento y de costos asociados, mostrados desde el Cuadro N°5 al Cuadro N°8.

Cuadro N° 5													
Flujo de Categorías y Costos de Mantenimiento										Total (US\$)	Valor Presente (US\$)		
Caso: 0 Horas de Operación Anual													
N°	AÑO	HO			HEO			M2000	M8000			M24000	M48000
								18 500	83 000	410 000	1 840 000		
1	2006	0	-	0	0	-	0					0	0
2	2007	0	-	0	0	-	0					0	0
3	2008	0	-	0	0	-	0					0	0
4	2009	0	-	0	0	-	0					0	0
5	2010	0	-	0	0	-	0					0	0
6	2011	0	-	0	0	-	0					0	0
7	2012	0	-	0	0	-	0					0	0
8	2013	0	-	0	0	-	0					0	0
9	2014	0	-	0	0	-	0					0	0
10	2015	0	-	0	0	-	0					0	0
11	2016	0	-	0	0	-	0					0	0
12	2017	0	-	0	0	-	0					0	0
13	2018	0	-	0	0	-	0					0	0
14	2019	0	-	0	0	-	0					0	0
15	2020	0	-	0	0	-	0					0	0
16	2021	0	-	0	0	-	0					0	0
17	2022	0	-	0	0	-	0					0	0
18	2023	0	-	0	0	-	0					0	0
19	2024	0	-	0	0	-	0					0	0
20	2025	0	-	0	0	-	0					0	0
											Total	0	
											Anualidad	0	

Cuadro N° 6												
Flujo de Categorías de Mantenimiento Caso: 100 Horas de Operación Anual										Total (US\$)	Valor Presente (US\$)	
Nº	AÑO	HO		HEO		M2000	M8000	M24000	M48000			
						18 500	83 000	410 000	1 840 000			
1	2006	0	-	100	0	-	900				0	0
2	2007	100	-	200	900	-	1 800				0	0
3	2008	200	-	300	1 800	-	2 700	1			18 500	13 168
4	2009	300	-	400	2 700	-	3 600				0	0
5	2010	400	-	500	3 600	-	4 500	1			18 500	10 497
6	2011	500	-	600	4 500	-	5 400				0	0
7	2012	600	-	700	5 400	-	6 300	1			18 500	8 368
8	2013	700	-	800	6 300	-	7 200				0	0
9	2014	800	-	900	7 200	-	8 100		1		83 000	29 931
10	2015	900	-	1 000	8 100	-	9 000				0	0
11	2016	1 000	-	1 100	9 000	-	9 900				0	0
12	2017	1 100	-	1 200	9 900	-	10 800	1			18 500	4 748
13	2018	1 200	-	1 300	10 800	-	11 700				0	0
14	2019	1 300	-	1 400	11 700	-	12 600	1			18 500	3 785
15	2020	1 400	-	1 500	12 600	-	13 500				0	0
16	2021	1 500	-	1 600	13 500	-	14 400	1			18 500	3 018
17	2022	1 600	-	1 700	14 400	-	15 300				0	0
18	2023	1 700	-	1 800	15 300	-	16 200		1		83 000	10 793
19	2024	1 800	-	1 900	16 200	-	17 100				0	0
20	2025	1 900	-	2 000	17 100	-	18 000	1			18 500	1 918
										Total	86 227	
										Anualidad	11 544	

Cuadro N° 7												
Flujo de Categorías de Mantenimiento Caso: 250 Horas de Operación Anual										Total (US\$)	Valor Presente (US\$)	
Nº	AÑO	HO		HEO		M2000	M8000	M24000	M48000			
						18 500	83 000	410 000	1 840 000			
1	2006	0	-	250	0	-	1 050				0	0
2	2007	250	-	500	1 050	-	2 100	1			18 500	14 748
3	2008	500	-	750	2 100	-	3 150				0	0
4	2009	750	-	1 000	3 150	-	4 200	1			18 500	11 757
5	2010	1 000	-	1 250	4 200	-	5 250				0	0
6	2011	1 250	-	1 500	5 250	-	6 300	1			18 500	9 373
7	2012	1 500	-	1 750	6 300	-	7 350				0	0
8	2013	1 750	-	2 000	7 350	-	8 400		1		83 000	33 522
9	2014	2 000	-	2 250	8 400	-	9 450				0	0
10	2015	2 250	-	2 500	9 450	-	10 500	1			18 500	5 957
11	2016	2 500	-	2 750	10 500	-	11 550				0	0
12	2017	2 750	-	3 000	11 550	-	12 600	1			18 500	4 748
13	2018	3 000	-	3 250	12 600	-	13 650				0	0
14	2019	3 250	-	3 500	13 650	-	14 700	1			18 500	3 785
15	2020	3 500	-	3 750	14 700	-	15 750				0	0
16	2021	3 750	-	4 000	15 750	-	16 800		1		83 000	13 539
17	2022	4 000	-	4 250	16 800	-	17 850				0	0
18	2023	4 250	-	4 500	17 850	-	18 900	1			18 500	2 406
19	2024	4 500	-	4 750	18 900	-	19 950				0	0
20	2025	4 750	-	5 000	19 950	-	21 000	1			18 500	1 918
										Total	101 753	
										Anualidad	13 623	

Cuadro N° 8													
Flujo de Categorías de Mantenimiento Caso: 1600 Horas de Operación Anual												Total (US\$)	Valor Presente (US\$)
N°	AÑO	HO		HEO			M2000	M8000	M24000	M48000	Total (US\$)		
							18 500	83 000	410 000	1 840 000			
1	2006	0	-	1 600	0	-	2 400	1				18 500	16 518
2	2007	1 600	-	3 200	2 400	-	4 800	1				18 500	14 748
3	2008	3 200	-	4 800	4 800	-	7 200	1				18 500	13 168
4	2009	4 800	-	6 400	7 200	-	9 600		1			83 000	52 748
5	2010	6 400	-	8 000	9 600	-	12 000	2				37 000	20 995
6	2011	8 000	-	9 600	12 000	-	14 400	1				18 500	9 373
7	2012	9 600	-	11 200	14 400	-	16 800		1			83 000	37 545
8	2013	11 200	-	12 800	16 800	-	19 200	1				18 500	7 472
9	2014	12 800	-	14 400	19 200	-	21 600	1				18 500	6 671
10	2015	14 400	-	16 000	21 600	-	24 000			1		410 000	132 009
11	2016	16 000	-	17 600	24 000	-	26 400	1				18 500	5 318
12	2017	17 600	-	19 200	26 400	-	28 800	1				18 500	4 748
13	2018	19 200	-	20 800	28 800	-	31 200	1				18 500	4 240
14	2019	20 800	-	22 400	31 200	-	33 600		1			83 000	16 983
15	2020	22 400	-	24 000	33 600	-	36 000	2				37 000	6 760
16	2021	24 000	-	25 600	36 000	-	38 400	1				18 500	3 018
17	2022	25 600	-	27 200	38 400	-	40 800		1			83 000	12 088
18	2023	27 200	-	28 800	40 800	-	43 200	1				18 500	2 406
19	2024	28 800	-	30 400	43 200	-	45 600	1				18 500	2 148
20	2025	30 400	-	32 000	45 600	-	48 000			1		1 840 000	190 747
												Total	559 703
												Anualidad	74 932

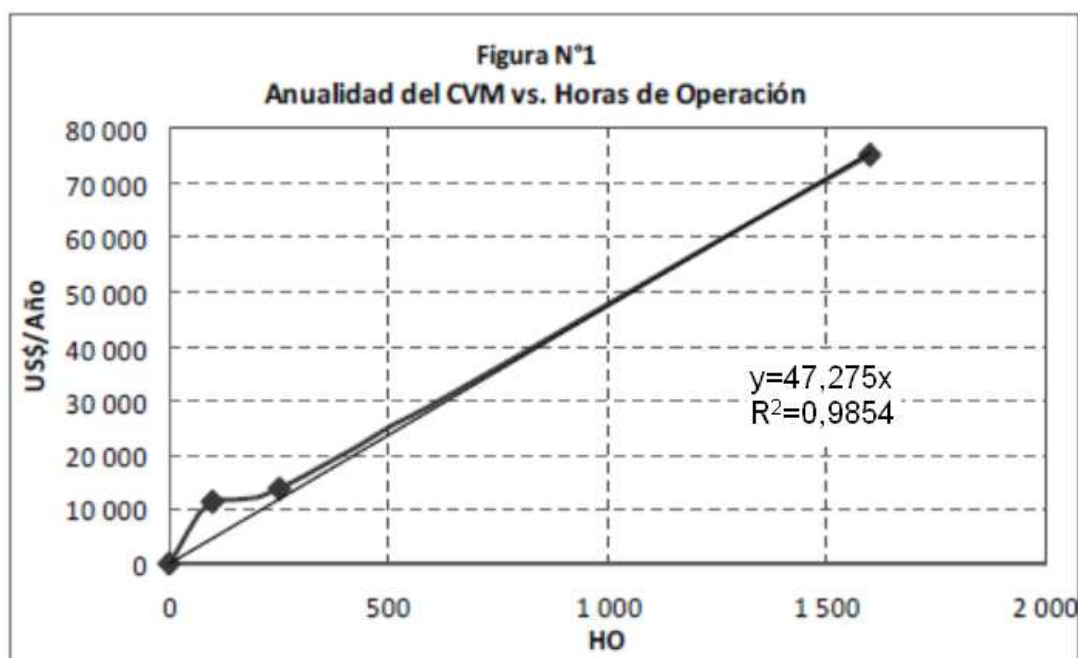
g) Determinación del Valor Actual y la Anualidad de los Costos Variables de Mantenimiento

De la información de los flujos de mantenimiento y sus costos asociados, se calcularon los costos totales actualizados del mantenimiento, a lo largo del período evaluado, para cada uno de los escenarios de operación. Asimismo, se calcularon las anualidades representativas de dichos costos también a lo largo del mismo período. El Cuadro N° 9 muestra los resultados.

Cuadro N° 9				
	Horas Anuales de Operación	Energía Generada (MWh/Año)	Costo Total Actualizado Manto (US\$)	Anualidad del CVM (US\$/Año)
Escenario 1	0	0	0	0
Escenario 2	100	3 670	86 227	11 544
Escenario 3	250	9 175	101 753	13 623
Escenario 4	1 600	58 720	559 703	74 932

Los valores de anualidad obtenidos se pueden ajustar según los valores de horas de operación. Los resultados se muestran en el Cuadro N° 10 y Figura N° 1.

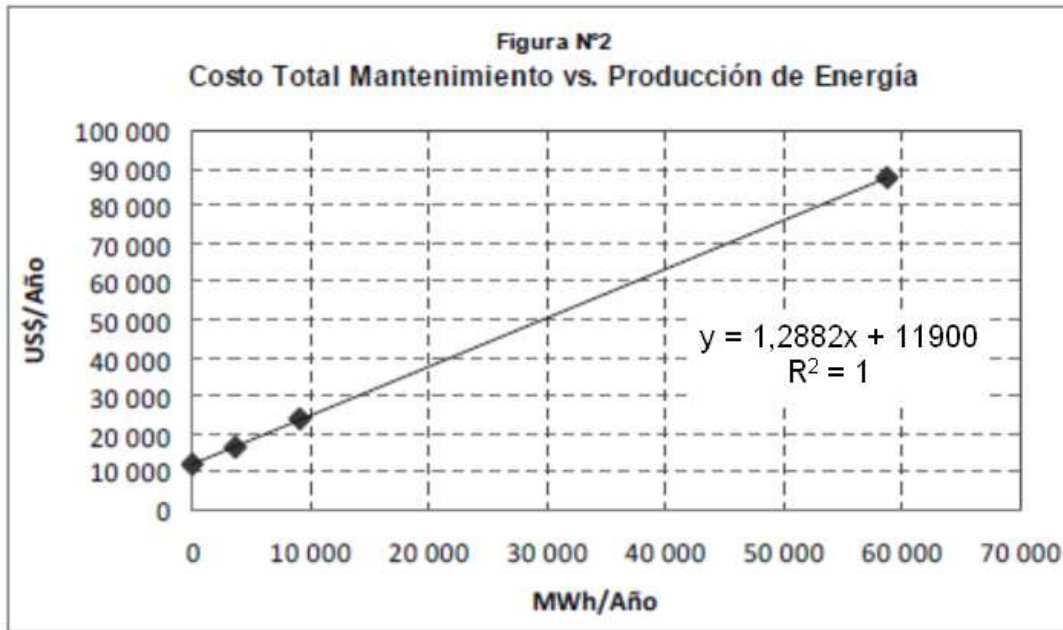
Cuadro N° 10			
	Horas Anuales de Operación	Anualidad CVM (US\$/Año)	Anualidad CVM Ajust (US\$/Año)
Escenario 1	0	0	0
Escenario 2	100	11 544	4 728
Escenario 3	250	13 623	11 819
Escenario 4	1 600	74 932	75 640



h) Determinación del Costo Variable de Mantenimiento

En el Cuadro N° 11 se aprecia los Costos Totales de Mantenimiento como la suma de los costos fijos de mantenimiento por año más la anualidad de los costos variables de mantenimiento, así como la Producción de Energía.

Cuadro N° 11						
	Horas Anuales de Operación	Energía Generada (MWh/Año)	Costo Fijo de Manto (US\$/Año)	Costo Total Actualizado Manto (US\$)	Anualidad CVM Ajust (US\$/Año)	Costo Total Manto (US\$/Año)
Escenario 1	0	0	11 900	0	0	11 900
Escenario 2	100	3 670	11 900	86 227	4 728	16 628
Escenario 3	250	9 175	11 900	101 753	11 819	23 719
Escenario 4	1 600	58 720	11 900	559 703	75 640	87 540



En la Figura N° 2 se ha graficado la función del Costo Total de Mantenimiento vs. Producción de Energía por año. Como se sabe la pendiente de la regresión lineal de dicha función nos da el Costo Variable de Mantenimiento de la unidad. El Cuadro N° 12 nos muestra el valor resultante.

Cuadro N° 12	
COSTO VARIABLE DE MANTENIMIENTO (CVM)	
CVM (US\$/MWh)	1.2882

2. Costo Fijo Anual de Mantenimiento (CFAM).

De igual manera, el Costo Fijo Anual de Mantenimiento resulta del intercepto de la regresión lineal con el eje de las ordenadas (Costo Total de Mantenimiento). Así, el CFAM de la unidad evaluada se muestra en el Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13	
COSTO FIJO ANUAL DE MANTENIMIENTO (CFAM)	
CFAM (US\$/Año)	11 900

3. Costo de Mantenimiento por Arranques (CMarr).

De acuerdo a la definición dada en el Procedimiento N° 34, este costo se ha obtenido como el cociente entre CFAM y el número de arranques por año, resultando el valor que se indica en el Cuadro N° 14.

Cuadro N° 14	
COSTO DE MANTENIMIENTO POR ARRANQUE (CMarr)	
CMarr (US\$/Arr)	297,5

B) TURBINAS A VAPOR y GRUPOS DIESEL

Dado que comúnmente en el caso de las turbinas a vapor y los grupos diesel el contador utilizado son las horas de operación (HO), utilizaremos un mismo ejemplo para ambas.

Para el ejemplo, se utilizará una unidad de una potencia efectiva de 22 MW con un Costo Fijo de Mantenimiento por año de US\$ 15,200. La tasa de actualización será de 12%. En forma similar al caso anterior, los valores y resultados mostrados son únicamente para fines de exponer la metodología.

1. Costo Variable de Mantenimiento (CVM)

a) Definición de la Política de Mantenimiento

En el Cuadro N° 15 se indica la política de mantenimiento adoptada para la operación de la unidad. En él se observan las distintas categorías de mantenimiento, los períodos de mantenimiento y el contador utilizado, en este caso horas de operación (HO).

Cuadro N° 15		
POLITICA DE MANTENIMIENTO		
Categoría de mantenimiento	Código Código	Periodo de Mantenimiento (HO)
Inspección	M4000	4 000
Menor	M8000	8 000
Intermedio	M16000	16 000
Mayor	M32000	32 000

b) Determinación de los costos de mantenimiento

En el Cuadro N° 16, se muestran los costos asociados a las categorías de mantenimiento.

Cuadro N° 16		
COSTOS ASOCIADOS A LAS CATEGORIAS DE MANTENIMIENTO		
Tipo	Intervalo (HO)	Costo (US\$)
M4000	4 000	8 000
M8000	8 000	14 000
M16000	16 000	366 000
M32000	32 000	1 230 000

c) Determinación de los escenarios de operación

La información histórica utilizada para la formación de escenarios de operación corresponde al período histórico de los últimos cuatro (04) años. Conforme se propone,

los escenarios de horas de operación considerados para el presente ejemplo de cálculo son los siguientes:

- Escenario 1: 0 horas de operación anual.
- Escenario 2: 400 horas de operación anual, que corresponde al mínimo de horas de operación anual de la información histórica.
- Escenario 3: 1800 horas de operación anual, que corresponde a la media aritmética (promedio) de la información histórica.
- Escenario 4: 3750 horas de operación anual, que corresponde a una operación extrema.

d) Flujo de Categorías de Mantenimiento y Costos Asociados

Con la información de la política de mantenimiento, horas de operación y escenarios de operación, se han elaborado los distintos flujos de mantenimiento y de costos asociados, mostrados desde el Cuadro N° 17 al Cuadro N° 20.

Cuadro N° 17										
Flujo de Categorías y Costos de Mantenimiento								Total (US\$)	Valor Presente (US\$)	
Caso: 0 Horas de Operación Anual										
N°	AÑO	HO			M4000	M8000	M16000	M32000		
					8 000	14 000	366 000	1 230 000		
1	2006	0	-	0					0	0
2	2007	0	-	0					0	0
3	2008	0	-	0					0	0
4	2009	0	-	0					0	0
5	2010	0	-	0					0	0
6	2011	0	-	0					0	0
7	2012	0	-	0					0	0
8	2013	0	-	0					0	0
9	2014	0	-	0					0	0
10	2015	0	-	0					0	0
11	2016	0	-	0					0	0
12	2017	0	-	0					0	0
13	2018	0	-	0					0	0
14	2019	0	-	0					0	0
15	2020	0	-	0					0	0
16	2021	0	-	0					0	0
17	2022	0	-	0					0	0
18	2023	0	-	0					0	0
19	2024	0	-	0					0	0
20	2025	0	-	0					0	0
								Total	0	0
								Anualidad	0	0

Cuadro N° 18									
Flujo de Categorías de Mantenimiento Caso: 400 Horas de Operación Anual								Total (US\$)	Valor Presente (US\$)
N°	AÑO	HO		M4000	M8000	M16000	M32000		
				8 000	14 000	366 000	1 230 000		
1	2006	0	-	400				0	0
2	2007	400	-	800				0	0
3	2008	800	-	1 200				0	0
4	2009	1 200	-	1 600				0	0
5	2010	1 600	-	2 000				0	0
6	2011	2 000	-	2 400				0	0
7	2012	2 400	-	2 800				0	0
8	2013	2 800	-	3 200				0	0
9	2014	3 200	-	3 600				0	0
10	2015	3 600	-	4 000	1			8 000	2 576
11	2016	4 000	-	4 400				0	0
12	2017	4 400	-	4 800				0	0
13	2018	4 800	-	5 200				0	0
14	2019	5 200	-	5 600				0	0
15	2020	5 600	-	6 000				0	0
16	2021	6 000	-	6 400				0	0
17	2022	6 400	-	6 800				0	0
18	2023	6 800	-	7 200				0	0
19	2024	7 200	-	7 600				0	0
20	2025	7 600	-	8 000		1		14 000	1 451
								Total	4 027
								Anualidad	539

Cuadro N° 19									
Flujo de Categorías de Mantenimiento Caso: 1800 Horas de Operación Anual								Total (US\$)	Valor Presente (US\$)
N°	AÑO	HO		M4000	M8000	M16000	M32000		
				8 000	14 000	366 000	1 230 000		
1	2006	0	-	1 800				0	0
2	2007	1 800	-	3 600				0	0
3	2008	3 600	-	5 400	1			8 000	5 694
4	2009	5 400	-	7 200				0	0
5	2010	7 200	-	9 000		1		14 000	7 944
6	2011	9 000	-	10 800				0	0
7	2012	10 800	-	12 600	1			8 000	3 619
8	2013	12 600	-	14 400				0	0
9	2014	14 400	-	16 200		1		366 000	131 983
10	2015	16 200	-	18 000				0	0
11	2016	18 000	-	19 800				0	0
12	2017	19 800	-	21 600	1			8 000	2 053
13	2018	21 600	-	23 400				0	0
14	2019	23 400	-	25 200		1		14 000	2 865
15	2020	25 200	-	27 000				0	0
16	2021	27 000	-	28 800	1			8 000	1 305
17	2022	28 800	-	30 600				0	0
18	2023	30 600	-	32 400			1	1 230 000	159 949
19	2024	32 400	-	34 200				0	0
20	2025	34 200	-	36 000	1			8 000	829
								Total	316 241
								Anualidad	42 338

Cuadro N° 20									
Flujo de Categorías de Mantenimiento Caso: 3750 Horas de Operación Anual								Total (US\$)	Valor Presente (US\$)
N°	AÑO	HO		M4000	M8000	M16000	M32000		
				8 000	14 000	366 000	1 230 000		
1	2006	0	-	3 750				0	0
2	2007	3 750	-	7 500	1			8 000	6 378
3	2008	7 500	-	11 250		1		14 000	9 965
4	2009	11 250	-	15 000	1			8 000	5 084
5	2010	15 000	-	18 750			1	366 000	207 678
6	2011	18 750	-	22 500	1			8 000	4 053
7	2012	22 500	-	26 250		1		14 000	6 333
8	2013	26 250	-	30 000	1			8 000	3 231
9	2014	30 000	-	33 750				1 230 000	443 550
10	2015	33 750	-	37 500	1		1	8 000	2 576
11	2016	37 500	-	41 250		1		14 000	4 025
12	2017	41 250	-	45 000	1			8 000	2 053
13	2018	45 000	-	48 750			1	366 000	83 878
14	2019	48 750	-	52 500	1			8 000	1 637

Cuadro N° 20									
Flujo de Categorías de Mantenimiento Caso: 3750 Horas de Operación Anual								Total (US\$)	Valor Presente (US\$)
N°	AÑO	HO		M4000	M8000	M16000	M32000		
				8 000	14 000	366 000	1 230 000		
15	2020	52 500	-	56 250				14 000	2 558
16	2021	56 250	-	60 000	1	1		8 000	1 305
17	2022	60 000	-	63 750				0	0
18	2023	63 750	-	67 500			1	1 230 000	159 949
19	2024	67 500	-	71 250	1			8 000	929
20	2025	71 250	-	75 000		1		14 000	1 451
								Total	946 632
								Anualidad	126 734

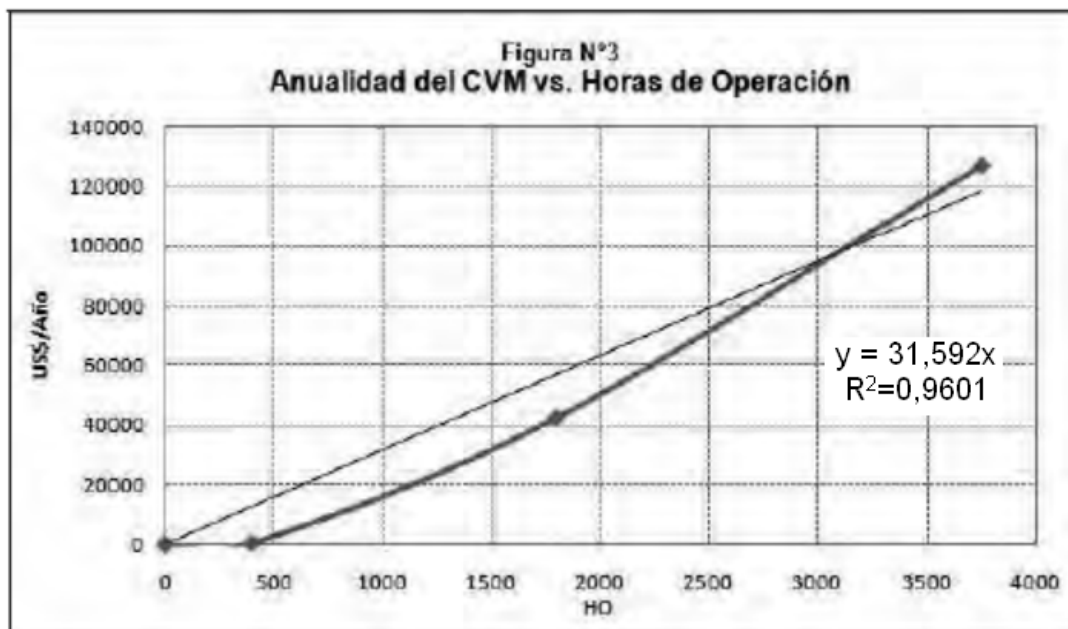
e) Determinación del Valor Actual y la Anualidad de los Costos Variables de Mantenimiento

De la información de los flujos de mantenimiento y sus costos asociados, se calcularon los costos totales actualizados del mantenimiento, a lo largo del período evaluado, para cada uno de los escenarios de operación. Asimismo, se calcularon las anualidades representativas de dichos costos también a lo largo del mismo período. El Cuadro N°21 muestra los resultados.

Cuadro N° 21				
	Horas Anuales de Operación	Energía Generada (MWh/Año)	Costo Total Actualizado Manto (US\$)	Anualidad del CVM (US\$/Año)
Escenario 1	0	0	0	0
Escenario 2	400	8 800	4 027	539
Escenario 3	1 800	39 600	316 241	42 338
Escenario 4	3 750	82 500	946 632	126 734

Los valores de anualidad obtenidos se pueden ajustar según los valores de horas de operación. Los resultados se muestran en el Cuadro N°22 y Figura N°3.

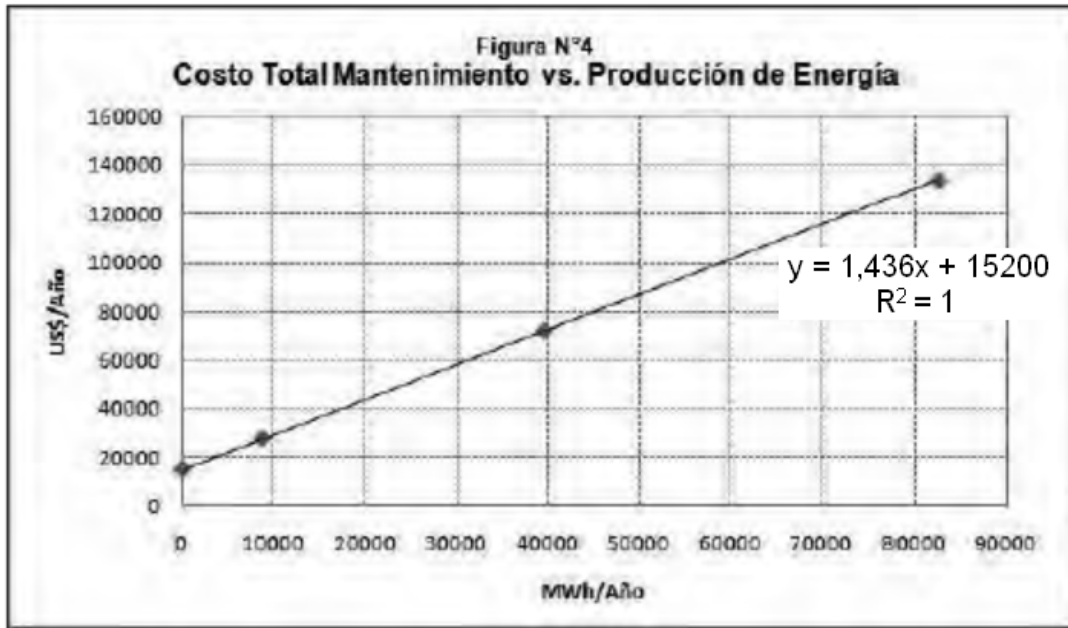
Cuadro N° 22			
	Horas Anuales de Operación	Anualidad del CVM (US\$/Año)	Anualidad CVM Ajust (US\$/Año)
Escenario 1	0	0	0
Escenario 2	400	539	12 637
Escenario 3	1 800	42 338	56 866
Escenario 4	3 750	126 734	118 470



f) Determinación del Costo Variable de Mantenimiento

En el Cuadro N° 23 se aprecia los Costos Totales de Mantenimiento como la suma de los costos fijos de mantenimiento por año más los valores ajustados de la anualidad de los costos variables de mantenimiento, así como la Producción de Energía.

Cuadro N° 23						
	Horas Anuales de Operación	Energía Generada (MWh/Año)	Costo Fijo de Manto (US\$/Año)	Costo Total Actualizado Manto (US\$)	Anualidad CVM Ajust (US\$/Año)	Costo Total Manto (US\$/Año)
Escenario 1	0	0	15 200	0	0	15 200
Escenario 2	400	8 800	15 200	4 027	12 637	27 837
Escenario 3	1 800	39 600	15 200	316 241	56 866	72 066
Escenario 4	3 750	82 500	15 200	946 632	118 470	133 670



En la Figura N° 4 se ha graficado la función del Costo Total de Mantenimiento vs. Producción de Energía por año. Como se sabe la pendiente de la regresión lineal de dicha función nos da el Costo Variable de Mantenimiento de la unidad. El Cuadro N° 24 nos muestra el valor resultante.

Cuadro N° 24	
COSTO VARIABLE DE MANTENIMIENTO (CVM)	
CVM (US\$/MWh)	1.4360

2. Costo Fijo Anual de Mantenimiento (CFAM).

De igual manera, el Costo Fijo Anual de Mantenimiento resulta del intercepto de la regresión lineal con el eje de las ordenadas (Costo Total de Mantenimiento). Así, el CFAM de la unidad evaluada se muestra en el Cuadro N° 25.

Cuadro N° 25	
COSTO FIJO ANUAL DE MANTENIMIENTO (CFAM)	
CFAM (US\$/Año)	15 200

¹ HEO = Horas Equivalentes de Operación