



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### DISEÑO DE SISTEMA DE COGENERACIÓN PARA CENTRO COMERCIAL UTILIZANDO GAS NATURAL

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

**DENNYS JESÚS SANTANA CANCHANYA**

**ASESOR: Ing. Fernando Octavio Jiménez Ugarte**

Lima, Agosto del 2009

## RESUMEN

El tema de tesis desarrollado tiene como objetivo diseñar un sistema de cogeneración para satisfacer los requerimientos de electricidad y aire acondicionado en un Centro Comercial de la ciudad de Lima, que en la actualidad cubre sus requerimientos exclusivamente con energía eléctrica proveniente de una empresa generadora.

Para diseñar la Instalación de Cogeneración, primero se evaluó la situación actual energética del Centro Comercial basado en información técnica y estadística de los últimos años. Se logró establecer que la demanda de potencia máxima de electricidad requerido para cubrir cargas de iluminación y fuerza motriz durante todo el año es de 7,7 MW, mientras la carga térmica máxima para climatización a cubrir en los meses de altas temperaturas (estación de verano) es de 6,6 MW. Definido los requerimientos energéticos se realizó un estudio comparativo entre motores de combustión interna y turbinas a gas natural con el objetivo de seleccionar la mejor tecnología que se adapte a los requerimientos técnicos y económicos del Centro Comercial. La selección de la tecnología adecuada se realizó mediante una simulación de la instalación operando con ambas tecnologías, realizando una evaluación basado en criterios técnicos, económicos y ambientales, se optó por seleccionar a los motores de combustión interna que presentan mejor comportamiento frente a las turbinas a gas natural. Para cubrir la demanda térmica por climatización elegimos máquinas de absorción, de ciclo de doble efecto a vapor, que permiten aprovechar las energías residuales de forma más eficiente que el ciclo de simple efecto. La recuperación de energías residuales de los motores se logra con intercambiadores de calor y calderas de recuperación, esta última cada una con su respectivo economizador que van conectadas a un motor de combustión. La Instalación de Cogeneración diseñada, cubre de forma total los requerimientos de electricidad y aire acondicionado demandados por el Centro Comercial, por ende es viable técnicamente.

A efectos de realizar el estudio económico se realizó la evaluación que involucra la inversión inicial y costo de operación de la planta durante todo el año, que engloba los costos por combustible, mantenimientos de equipos e instalaciones, costo de personal encargado de la operación de la instalación. La inversión inicial requerida para la instalación de cogeneración asciende a la suma de US\$ 10,384,871.

Diseñada la instalación de Cogeneración se realizó la identificación y evaluación de los potenciales impactos positivos y negativos del proyecto sobre el medio ambiente, utilizando la técnica de encadenamiento secuencial o diagrama de redes. Se desarrolló programas para prevenir, mitigar y/o eliminar los impactos negativos, y maximizar los positivos, en las etapas de construcción operación y cierre.

Por último se realizó la evaluación económica del proyecto, mediante el análisis de viabilidad económica de la Instalación de Cogeneración en las condiciones actuales que operaría para cubrir los requerimientos del Centro Comercial. Los resultados de los indicadores de rentabilidad económica muestran un VAN negativo, y un TIR muy inferior al valor de la tasa de descuento considerada. Estos resultados muestran que en condiciones actuales no es viable económicamente el proyecto de instalación de cogeneración. Realizando un análisis de sensibilidad el proyecto es viable económicamente si los requerimientos térmicos del Centro Comercial aumentan de tal manera que se pueda aprovechar al máximo las energías residuales mediante la venta de energía en forma de vapor y agua caliente, se accedan a precios más competitivos de gas natural como el caso de generadores eléctricos y el precio del gas natural no sufra incrementos por encima del 4% anual.



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECANICO

TITULO : DISEÑO DE SISTEMA DE COGENERACIÓN PARA CENTRO COMERCIAL UTILIZANDO GAS NATURAL

AREA : Energía # 218

PROPUESTO POR: Ing. Fernando Jiménez

ASESOR : Ing. Fernando Jiménez

ALUMNO : Dennys Jesús Santana Canchanya

CODIGO : 1999.2716.6 -12

FECHA : 8 de marzo del 2006

### DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS

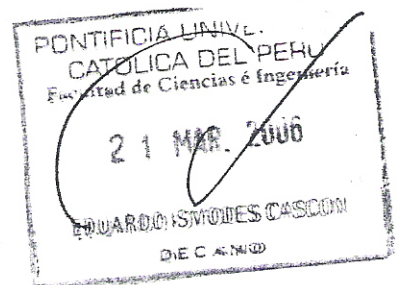
Los Centros Comerciales de la Ciudad de Lima en la actualidad cubren sus requerimientos de iluminación, fuerza motriz y climatización con electricidad tomada de las empresas distribuidoras.

La disponibilidad del gas natural como nueva fuente de energía abre la posibilidad de evaluar y utilizar sistemas de mayor eficiencia térmica y menor costo de operación, como es el caso de cogenerar electricidad y calor, que mediante un sistema de refrigeración por absorción, cubra los requerimientos de aire acondicionado en los centros comerciales.

El presente tema de tesis tiene como objetivo diseñar un sistema de cogeneración, para satisfacer los requerimientos de electricidad y aire acondicionado, en un Centro Comercial de la Ciudad de Lima.



20/03/06





# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECANICO

DISEÑO DE SISTEMA DE COGENERACIÓN PARA CENTRO COMERCIAL  
UTILIZANDO GAS NATURAL

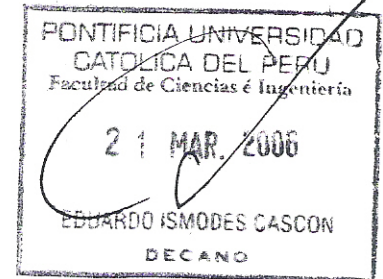
### INTRODUCCIÓN

1. Evaluación energética del Centro Comercial.
2. Diseño del sistema de cogeneración.
3. Evaluación del impacto ambiental del proyecto.
4. Evaluación económica del proyecto.

### CONCLUSIONES

### ANEXOS

MÁXIMO 100 PÁGINAS



ASESOR: \_\_\_\_\_

*[Handwritten signature]*



*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*  
20/03/06  
DANTE ERAS



## DEDICATORIA

La presente tesis es dedicada a mis señores padres y hermanos que siempre me brindan su apoyo en cada momento para lograr alcanzar mis sueños.

## AGRADECIMIENTOS

La presente tesis, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación, no hubiese sido posible sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citare y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de dificultad.

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar siempre conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante el desarrollo de la presente tesis.

Agradecer hoy y siempre a mi familia, a mi querido padre, a mi linda y hermosa madre, a mis mejores amigos que son mis hermanos, por el apoyo y la paciencia que han tenido conmigo, por creer en mi y animarme en momentos difíciles en todo este período.

De igual manera mi más sincero agradecimiento a mi asesor el Ingeniero Fernando Octavio Jiménez Ugarte, por guiarme en la ejecución del presente trabajo y sacarlo adelante, así como también por la paciencia brindada a mi persona por las demoras.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde los más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	i
APROBACIÓN DEL TEMARIO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL CENTRO COMERCIAL.</b>	<b>3</b>
1.1 Situación Actual del Centro Comercial	3
1.1.1 Generalidades	3
1.1.2 Descripción del Centro Comercial	4
1.1.3 Requerimientos Energéticos	4
1.1.4 Suministro Principal de Energía	4
1.1.5 Suministro de Emergencia	5
1.1.6 Sistema de Precios del Mercado de Energía Eléctrica	5
1.1.7 Tarifa de Energía y Potencia Eléctrica Del Centro Comercial	6
1.1.8 Análisis del Costo Operativo de Energía	7
1.2 Demanda Energética	7
1.2.1 Análisis de Diagrama de Cargas	7
1.2.1.1 Características de la Demanda Diaria	7
1.2.1.2 Características de la Demanda Mensual	11
1.2.1.3 Determinación de Energía Requerida	12
1.2.1.4 Cálculo del Costo Operativo de Energía	15
1.3 Alternativa de Solución	18
1.3.1 Generalidades	18
1.3.2 Tecnología Propuesta	19
<b>2. DISEÑO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN CON GAS NATURAL.</b>	<b>21</b>
2.1 Generalidades	21

2.2 Tipos de Sistema de Cogeneración	22
2.3 Tecnología Utilizadas en sistemas de Cogeneración	23
2.3.1 Tecnología para Generación de Electricidad y Calor	23
2.3.2 Tecnología de Refrigeración para Climatización	28
2.3.3 Tecnología para Recuperación de Energías	31
2.4 Selección de Tecnología para Generador Principal	33
2.4.1 Tecnología a Evaluar	33
2.4.2 Características Energéticas a Cubrir	34
2.4.2.1 Demanda de Potencia Eléctrica	34
2.4.2.2 Demanda de Potencia Térmica	34
2.4.2.3 Cálculo de Parámetros Requeridos	35
2.4.3 Evaluación y Selección de Tecnología Adecuada	37
2.4.3.1 Criterios de Selección	37
2.4.3.2 Equipos Pre-Seleccionados	38
2.4.3.3 Cálculo de Potencia Efectiva de Equipos	39
2.4.3.4 Evaluación de Tecnologías	42
2.4.3.5 Selección optima de Tecnología	51
2.5 Cálculo y Selección de Equipos para Generación de Vapor y Frío	52
2.5.1 Calderas de Recuperación	52
2.5.2 Economizadores	53
2.5.3 Intercambiadores de Calor	54
2.5.4 Equipos de Refrigeración por Absorción	55
2.5.5 Estación de Regulación de Presión y Medición	57
2.6 Diseño de Instalación de Cogeneración	61
2.6.1 Descripción de Instalación	61
2.6.2 Equipos Seleccionados	62
2.6.3 Planos y Esquemas de Instalación	63
2.6.4 Cálculo de Eficiencias de Instalación	63
2.6.5 Cálculo de Costos Operativos de Instalación	67
2.6.6 Inversión de Instalación	69
<b>3 . EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.</b>	<b>70</b>
3.1 Identificación de Impactos	70
3.1.1 Generalidades	70
3.1.2 Métodos de identificación de impactos Ambientales	71
3.1.3 Técnicas de Identificación de Impactos Ambientales	71

3.1.4 Identificación de impactos Ambientales	73
3.2 Evaluación de Impactos Ambientales	79
3.2.1 Etapa de Construcción	79
3.2.2 Etapa de Operación y Mantenimiento	83
3.3 Plan de Manejo Ambiental	84
3.3.1 Programa de Prevención y/o mitigación	85
3.3.1.1 Etapa de Construcción	85
3.3.1.2 Etapa de Operación y Mantenimiento	86
3.3.2 Programa de Monitoreo Ambiental	87
3.3.3 Programa de Cierre de Operaciones	88
<b>4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO</b>	<b>89</b>
4.1. Inversión Inicial Fija	89
4.2. Gastos	89
4.3. Ingresos	89
4.4. Costo de Oportunidad	90
4.5. Depreciación	90
4.6. Ahorro Anual	90
4.7. Flujo de caja de Proyecto	91
4.7.1 Generalidades	91
4.7.2 Flujo de caja Proyectado	91
4.8 Análisis de Sensibilidad	93
4.8.1 Identificar Variables Sensibles	93
4.8.2 Análisis de Escenarios	93
4.8.3 Resultados de Sensibilidad	97
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $P_{EF}$  : Potencia Eléctrica efectiva [kW]  
 $P_{ISO}$  : Potencia Eléctrica en condiciones ISO [kW]  
 $h_E$  : Entalpía del fluido de trabajo, tomada al ingreso [kJ/kg]  
 $h_S$  : Entalpía del fluido de trabajo, tomada a la salida [kJ/kg]  
 $\Delta h$  : Cambio de entalpía del fluido [kJ/kg]  
 $T_E$  : Temperatura del fluido de trabajo, tomada a la entrada [°C]  
 $T_S$  : Temperatura del fluido de trabajo, tomada a la salida [°C]  
 $T_{BH}$  : Temperatura de bulbo húmedo [°C]  
 $Cp_G$  : Calor específico de gases de combustión [kJ/kg-K]  
 $m_{GC}$  : Flujo de masa de gases de Combustión [kg /s]  
 $m_V$  : Flujo de masa de vapor que sale de la caldera de combustión [kg/s]  
 $m_{ag}$  : Flujo de masa de agua que ingresa a la caldera de recuperación [kg/s]  
 $m_N$  : Flujo de masa de agua necesario para enfriamiento de motor [kg/s]  
 $m_{VR}$  : Flujo de masa de vapor requerido por el equipo de absorción [kg/s]  
 $m_{A-COOLING}$  : Flujo de masa de agua de torre de enfriamiento [kg/s]  
 $m_{A-CHILLED}$  : Flujo de masa de agua proveniente del Chilled [Kg/s]  
 $Q_{Refrigeración}$  : Potencia Nominal de refrigeración del equipo de absorción [kW]  
 $Q_{T-Enfriamiento}$  : Potencia Nominal de la torre de refrigeración [kW]  
 $Q_{E-Suministrado}$  : Potencia suministrado por gases residuales al economizador [kW]  
 $Q_{G-Suministrado}$  : Potencia térmica suministrado por gases a la caldera [kW]  
 $Q_{Útil-C}$  : Calor de transmisión en la caldera de recuperación [kW]  
 $Q_{Útil-E}$  : Calor de transmisión en el economizador [kW]  
 $Q_{Útil-IC}$  : Calor de transmisión en el Intercambiador de Placas [kW]  
 $Q_{M-Disipar}$  : Calor de transmisión en el sistema de refrigeración del motor [kW]  
 $Q_{Útil-G}$  : Calor de transmisión en el generador del equipo de absorción [kW]  
 $\eta_C$  : Eficiencia térmica de la caldera de recuperación [%]  
 $\eta_E$  : Eficiencia térmica del economizador [%]  
 $\eta_G$  : Eficiencia térmica del generador perteneciente al equipo de absorción [%]  
 $E_{FG\lambda}$  : Eficiencia energética global de la planta de Cogeneración [%]  
 $V$  : Cantidad de energía térmica útil, proveniente de la central [MW.h]  
 $E = GE$  : Energía eléctrica generadas en bornes de alternador [MW.h]  
 $Q_C$  : Energía suministrada por el combustible utilizado [MW.h]  
 $C$  : Relación entre energía eléctrica y térmica útil  
 $CV$  : Entrega de energía térmica en forma de vapor [MW.h]  
 $CA$  : Entrega de energía térmica en forma de agua caliente [MW.h]

## INTRODUCCIÓN

El mercado de centros comerciales en el Perú esta teniendo una rápida extensión respondiendo al incremento de la demanda interna (el consumo privado creció en el año 2007 en aproximadamente 7,5% respecto al ejercicio del año 2006), respaldado por el mayor acceso al crédito de la población, lo cual ha incentivado el ingreso de negocios formales que ofrezcan, entre otros aspectos comodidad, seguridad, modernidad, variedad, limpieza y buen orden, desplazando la tradicional compra en mercados y galerías. En el año 2006, el conjunto de empresas que forman parte de la Asociación de Centros Comerciales y de Entretenimiento del Perú (ACCEP), genero ingresos por alrededor de US\$ 1 200 millones, suma mayor en 20% con relación al año 2005. Dicha organización esta integrada por los centros comerciales: Jockey Plaza, Larcomar, Mega Plaza, Plaza San Miguel, Minka, Primavera Park Plaza, Sur Plaza Boulevard, Boulevard Caminos del Inca y Marina Park. Esta Tendencia continuo durante el ejercicio del año 2007, donde los tres principales centros comerciales de Lima Metropolitana: Jockey Plaza, Plaza San Miguel y Mega Plaza registraron ventas por aproximadamente US\$ 950 millones, cifra 15% superior a la alcanzada en el período del año 2006. Es de resaltar que estos tres centros comerciales representaron el 70% de las ventas de los principales 10 Centros Comerciales que operaron durante el ejercicio del año 2007. El potencial de crecimiento de los centros comerciales en el Perú es aun mayor, considerando que el nivel de penetración es de solo el 8%, mientras que en países vecinos como Chile se bordea el 30%.

Los centros comerciales en la ciudad de Lima presentan perspectivas favorables para los siguientes períodos de acuerdo con el dinamismo que vienen registrando los negocios relacionados a este rubro, tanto con un rápido crecimiento tanto en Lima como en provincias, respaldado por la creciente mayor capacidad de consumo del publico y por el creciente acceso por su parte de nuevos consumidores. Se espera en el futuro, flujos adicionales de ingresos en base al desarrollo de nuevos proyectos como en el caso de uno de los más grandes centros comerciales de la ciudad de Lima con una inversión proyectada de US\$ 100 millones en los próximos tres años.

La disponibilidad del gas natural como nueva fuente de energía abre la posibilidad de evaluar y utilizar sistemas de mayor eficiencia térmica y menor

costo de operación, como es el caso de cogenerar electricidad y calor, que mediante un sistema de refrigeración por absorción, cubra los requerimientos de aire acondicionado en los centros comerciales.

Por esta razón se plantea el estudio de un Diseño de Sistema de Cogeneración para Centro Comercial utilizando Gas Natural, teniendo como objetivo principal un aumento significativo en su margen de utilidad, lo que mejorará su flujo de caja y le posibilita capitalizar para invertir. Una mayor eficiencia energética se traduce inmediatamente en incremento en la capacidad de producción para cumplir con los incrementos en la demanda, mayor confiabilidad y reducción en el costo. Para ello primero se evaluará la situación actual energética para un centro comercial en particular de la ciudad de Lima, donde los requerimientos energéticos a cubrir son de iluminación, fuerza motriz y climatización. Esto se realizará con información estadística de los años 2002; 2003; 2004 y 2005 proporcionada por el mismo Centro Comercial.

Luego se evaluará la tecnología existente en el mercado y se seleccionara la mas adecuada para el diseño de la instalación de Cogeneración, para ello se realizara una evaluación técnica, económica y ambiental. El análisis se basara en información proporcionada por las principales empresas existentes en el mercado de las diferentes tecnologías, así también en estudios anteriores realizados por otros países como Chile, México y EE.UU que han desarrollado sistemas de cogeneración para diversos tipos de aplicaciones, viendo la posibilidad de aplicabilidad en nuestro centro comercial en estudio.

Seleccionada las tecnologías adecuadas, se procederá a diseñar la instalación de cogeneración, diseñando instalaciones de fuerza, sistemas de suministro de combustible, sistemas de recuperación de energías residuales, etcétera.

Luego se desarrollara un estudio de impacto ambiental de la instalación diseñada, en las etapas de construcción, operación y cierre, que es un punto de gran importancia en la realización de cualquier proyecto.

Como punto final se realizara una análisis de factibilidad económica del proyecto, realizando un análisis de sensibilidad a diferentes escenarios posibles en el futuro que puedan afectar de forma importante al proyecto.

## CAPÍTULO 1

### EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL CENTRO COMERCIAL

#### ANTECEDENTES

El capítulo comprende la descripción de la situación actual energética del centro comercial en estudio, que engloba requerimientos energéticos, tecnologías con las que cuenta, costos energéticos y alternativas de mejora a la situación actual.

#### 1.1 Situación Actual del Centro Comercial

##### 1.1.1 Generalidades

El centro comercial en estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Lima a una altitud de 133 msnm, que ofrece las cuatro estaciones habituales, el verano de enero a marzo, el otoño de abril a junio, el invierno de julio a septiembre, y la primavera de octubre a diciembre. Estas estaciones no se hallan bien definidas debido a las condiciones climáticas que impone la corriente de Humboldt, que es responsable de que exista en práctica solo dos estaciones durante un año, una estación invernal de mayo a noviembre y otra veraniega de diciembre a marzo. En ellas se mantienen temperaturas promedio que varían entre los 18 °C a 22 °C aunque no faltan inviernos en que la temperatura descienda hasta los 12 °C, mientras en verano los termómetros marcan de 25 °C a 30 °C. Estas temperaturas van acompañadas de humedad del 40% a 50% en el periodo de verano y de 98% de humedad máxima en periodo de invierno.

### 1.1.2 Descripción del Centro Comercial

El Centro Comercial se dedica a la prestación de servicios inmobiliarios, así como también a la administración y organización de eventos culturales, musicales y deportivos, obteniendo sus ingresos por los alquileres cobrados a los locatarios. En la actualidad el centro comercial cuenta con tiendas menores, intermedias y por departamentos, hipermercados, supermercados, grandes ferreterías, multicines, food court, centros médicos, auditorios y otros.

El Centro Comercial esta teniendo una rápida expansión respondiendo al crecimiento en la capacidad de consumo de la población, debido al acceso al crédito, lo cual a incentivado el ingreso de más negocios formales que ofrezcan: comodidad, seguridad, modernidad, variedad, limpieza y buen orden, desplazando la tradicional compra en mercados y galerías.

### 1.1.3 Requerimientos Energéticos

Los locales de los clientes necesitan ser iluminados en todo lugar que sea necesario, así como también las áreas comunes, lugares de estacionamientos, paneles publicitarios y otros, todo esto genera una carga de iluminación que cubre el centro comercial. Además también cubre las cargas de fuerza motriz para colocar en operación diversos equipos (ascensores, sistemas de bombeo de agua y desagüe, escaleras eléctricas, equipos eléctricos, etcétera).

Durante el período de verano el centro comercial cubre una demanda de energía térmica para climatización de locales y áreas comunes, con el objetivo de brindar confort a los clientes durante los meses donde la temperatura son mas altas. Para ello el centro comercial cuenta con equipos de refrigeración por compresión mecánica que generan una demanda de energía eléctrica.

Por lo mencionado anteriormente se concluye que el centro comercial cubre las cargas por iluminación, fuerza motriz y aire acondicionado exclusivamente con energía eléctrica.

### 1.1.4 Suministro Principal de Energía

La demanda energética del centro comercial, es suministrada en su totalidad por una compañía eléctrica generadora, a través de una línea de transmisión que viene de una barra de 220 kV hacia una subestación principal con una tensión

de 22,9 kV siendo reducida a 460 V y 230 V en las distintas subestaciones secundarias, para luego ser derivadas a los puntos de consumo.

El consumo real de energía eléctrica del centro comercial debido a las cargas que requiere cubrir se ven reflejadas en las lecturas registradas en la subestación principal que se encuentra muy cerca al centro comercial. Para lograr los niveles de tensión indicados se cuentan con subestaciones de transformación ubicadas en distintos ambientes del centro comercial (véase anexo N° 1). A continuación se describirá las subestaciones con las que cuenta el centro comercial.

#### 1.1.5 Suministro de Emergencia

El centro Comercial cuenta con grupos electrógenos que entran en operación en caso de un corte del suministro principal de energía eléctrica, para dar funcionamiento a equipos de seguridad y iluminación de emergencia. También algunos locatarios cuentan con grupos electrógenos propios. Los grupos electrógenos a diesel con los que cuenta el centro comercial tienen las siguientes características:

- ❖ G. E. N° 1 : 350 KW / 220 V - 438 kVA
- ❖ G. E. N° 2 : 125 KW / 220 V – 157 kVA
- ❖ G. E. N° 3 : 240 KW / 220 V - 300 kVA

#### 1.1.6 Sistema de Precios del Mercado de Energía Eléctrica

La LCE (Ley de Concesiones Eléctricas del Ministerio de Energía y Minas) distingue entre clientes regulados y los clientes libres, estos últimos son grandes consumidores con una potencia contratada superior a 1 MW. Estos clientes pueden negociar directamente la tarifa de precios con las compañías generadoras o distribuidoras. Por su parte las empresas de generación cobran tarifas en barra, determinada por Osinergmin (Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería), por potencia y energía entregada a las compañías de distribución. Estas tarifas en barra son determinadas en base a los costos de generación y transmisión de alto voltaje. Para la transmisión, los generadores abonan mensualmente al propietario del sistema principal una compensación para cubrir el costo total de transmisión. Esta compensación será abonada a través de dos conceptos: el ingreso tarifario (calculado en función a la

potencia y energía entregada y retirada en barras) y el peaje por conexión a la red principal (diferencia entre costo total de transmisión y el ingreso tarifario).

### 1.1.7 Tarifa de Energía y Potencia Eléctrica del Centro Comercial

El centro comercial es un cliente libre debido a que la potencia contratada es superior a 1 MW, que permite tener una tarifa propia pactada con la empresa generadora de energía eléctrica de acuerdo al LCE (Ley de Concesiones Eléctricas del Ministerio de Energía y Minas). La tarifa de energía y potencia eléctrica, esta compuesto por la tarifa por generación y transmisión. La tarifa por generación es debida a la potencia y energía suministrada por la empresa generadora, mientras la tarifa por transmisión es debido al uso de la red interconectada del concesionario. Esto comprende el pago de un peaje de conexión al sistema principal y un costo por compensación a la empresa distribuidora.

La facturación por consumo de energía eléctrica del centro comercial se realiza con las lecturas registradas en la barra de 220 kV, que se obtienen afectando las lecturas registradas en la subestación principal de 22,9 kV por un factor de pérdidas de energía y potencia eléctrica debido a las pérdidas de transmisión. Se muestra en el cuadro N° 1.1 la tarifa de energía y potencia eléctrica que el centro comercial tuvo en el año 2005 ( véase anexo N° 2 y N° 3)

**Cuadro N° 1.1**

<b>TARIFA DE ENERGÍA Y POTENCIA ELÉCTRICA AÑO 2005</b>		
<b>BARRA 220 KV</b>		
<b>GENERACIÓN</b>		
<b>Tarifa de Energía Activa</b>		
Horas Punta	US\$/kW.h	0,03905
Horas Fuera de Punta	US\$/kW.h	0,02911
<b>Tarifa de Potencia</b>		
Potencia Contratada	US\$/kW-mes	5,67
Excesos en Horas Punta	US\$/kW-mes	7,09
Excesos en Horas Fuera de Punta	US\$/kW-mes	1,42
<b>TRANSMISIÓN</b>		
Peaje de Conexión al sistema Principal de Transmisión	S/./kW-mes	15,28
Exceso de energía reactiva sobre el 30% de Energía Activa	S/./kVAR.h	0,04
Compensación a la Empresa Distribuidora	S/./kW-mes	0,013216

**Fuente : Centro Comercial**

### 1.1.8 Análisis del costo Operativo de Energía

La facturación que tiene que pagar el centro comercial por el consumo energético se calcula de acuerdo a la estructura y tarifa establecidas en el punto anterior.

La facturación esta compuesta de dos partes: Facturación por generación y transmisión. Para calcular la facturación se toma en cuenta las siguientes consideraciones según los anexos N° 1, N° 2 y N° 3:

- ❖ Para la facturación se tomara en cuenta las lecturas registradas en la barra de 220 kV, que se obtiene afectando las lecturas registradas en la subestación principal de 22,9 kV por los siguientes factores de pérdidas.
  - a) Factor de pérdidas medias de potencia (fpp) es 1,0191
  - b) Factor de pérdidas medias de energía (fpe) es 1,0145
- ❖ El período de horas punta se considera todos los días de 18:00 horas a 21:00 horas.
- ❖ La potencia máxima contratada y convenida en la subestación de 22,9 kV en horas fuera y dentro de hora punta es de 9 747 kW.
- ❖ Para la medición de la demanda de potencia, se toma el valor máximo registrado durante el mes.
- ❖ Si se sobrepasa la potencia máxima contratada dentro o fuera de horas punta, hay una penalización sobre la tarifa.
- ❖ Si el consumo de energía reactiva es mayor al 30% de la energía activa total, se considera para la facturación.
- ❖ El tipo de cambio de moneda considerada para el cambio de moneda es de S/. 3,345 / US\$.

## 1.2 Demanda Energética

### 1.2.1 Análisis de Diagrama de Cargas

#### 1.2.1.1 Determinación de las Características de la Demanda Diaria

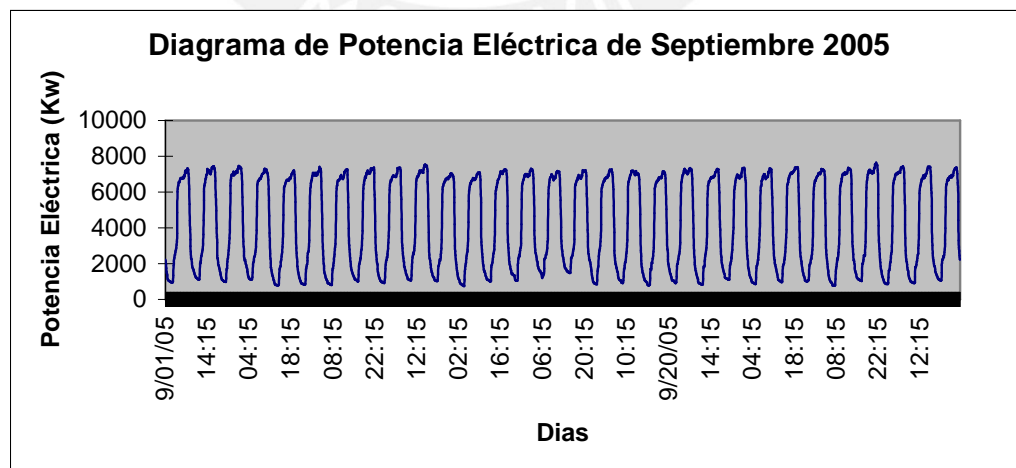
Es muy importante definir la característica de la demanda de potencia diaria durante los diferentes días del mes (días laborables, festivos y fines de semana). Esto permitirá conocer el funcionamiento del centro comercial, de manera de identificar si la demanda de potencia presenta cambios bruscos a lo largo de los días de un mes determinado.

Debemos recordar que la demanda de potencia y energía eléctrica del centro comercial debido a las cargas que requiere cubrir se ven reflejadas en las lecturas registradas en la subestación de 22,9 kV.

A continuación presentamos el diagrama de potencias del centro comercial en un determinado mes que se puede apreciar en la gráfico N° 1.1. Como se observa el comportamiento de la curva de demanda de potencia diaria es la misma en los diferentes días del mes, esto nos permite realizar una simplificación en el análisis y evaluar el comportamiento de la demanda en un determinado día del mes, y saber el comportamiento mensual del centro comercial.

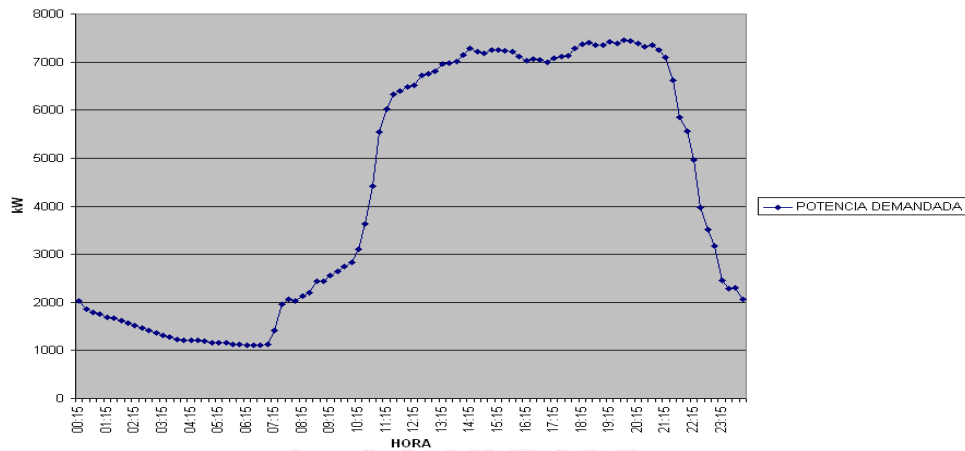
Realizaremos el análisis de la curva de demanda diaria para identificar en que momentos se producen las demandas máximas y mínimas de potencia para el centro comercial. A continuación se muestran el comportamiento de la demanda de potencia del centro comercial en algunos días del mes de septiembre del año 2005 (Véase Gráficos N° 1.2 y 1.3)

Gráfico N° 1.1



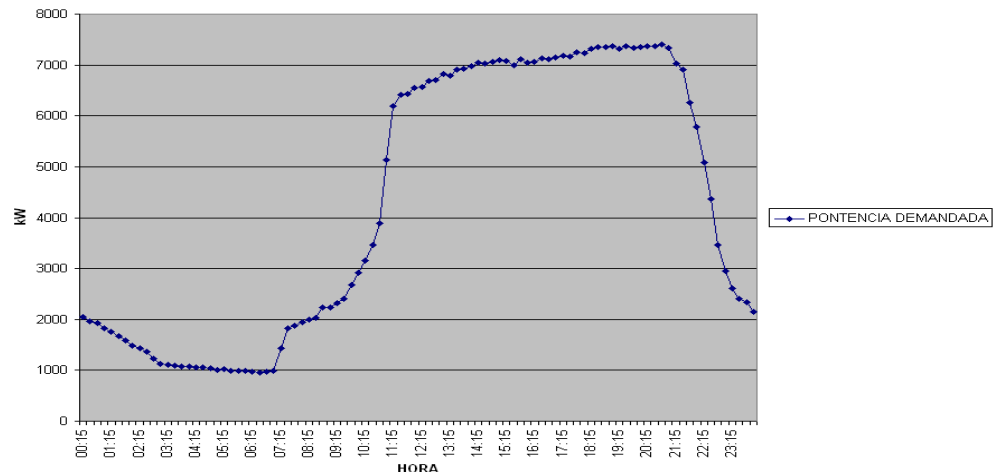
**Fuente : Centro Comercial**  
**Elaboración :Propia**

**Gráfico N° 1.2**  
**Viernes 02.09.05, Demanda máxima: 7447 kW**  
POTENCIA DEMANDADA



**Fuente : Centro Comercial**  
**Elaboración : Propia**

**Gráfico N° 1.3**  
**Sábado 24.09.05, Demanda máxima: 7395 kW**  
POTENCIA DEMANDADA



**Fuente : Centro Comercial**  
**Elaboración : Propia**

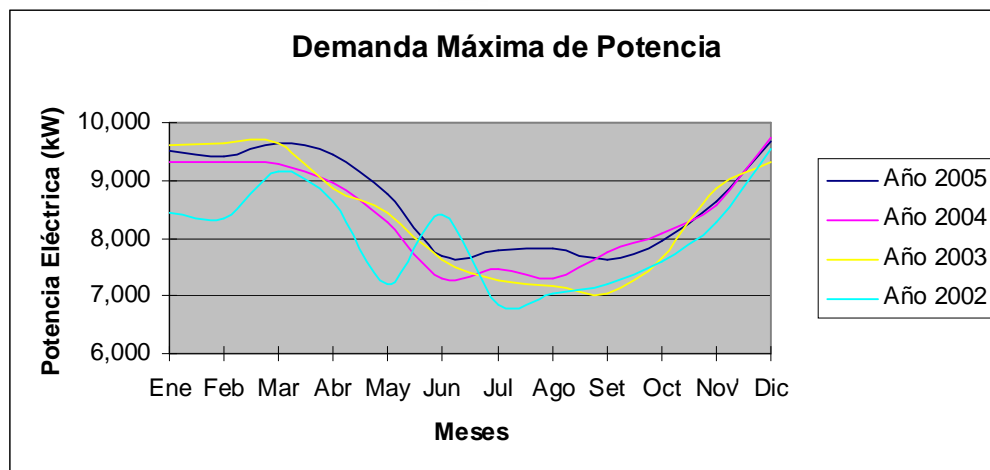
De las curvas de demanda de potencia mostradas se puede sacar las siguientes conclusiones:

- ❖ La máxima demanda de potencia se da dentro de las 10:00 horas a 22:00 horas del día. En este periodo se da también el máximo consumo de energía eléctrica, representado en el área bajo la curva.

- ❖ Durante las 03:00 horas a 07:00 horas del día la demanda de potencia se mantiene constante, y se registra la demanda de potencia mínima. Durante este período el Centro Comercial se encuentra cerrado y se requiere cubrir cargas mínimas.
- ❖ Durante las 22:00 horas a 03:00 horas del día siguiente, la demanda de potencia presenta una caída con una pendiente muy pronunciada a consecuencia del cierre de operación diaria de los locales.
- ❖ Durante las 07:00 horas a 10:00 horas del día la demanda de potencia presenta un crecimiento muy pronunciado. El centro Comercial se encuentra en el período de puesta en marcha de operaciones.

El comportamiento de la curva de demanda de potencia diaria es la misma en los diferentes días de un mes, así como también ocurre en los diferentes meses del año, con la particularidad que en los meses de verano la curva de demanda se encuentra desplazada hacia arriba, al mayor consumo de energía eléctrica por el funcionamiento de los compresores de refrigeración para climatización de los locales debido a las altas temperaturas. El gráfico N° 1.4 nos permite ver el comportamiento de la demanda máxima de potencia eléctrica durante el año, que son afectados por los periodos de estación que presenta la ciudad en donde se encuentra el centro comercial. En el siguiente punto se analizará el comportamiento de la demanda de potencia durante el período de un año, para evaluar la influencia de las estaciones climáticas sobre la demanda de potencia eléctrica.

**Gráfico N° 1.4**

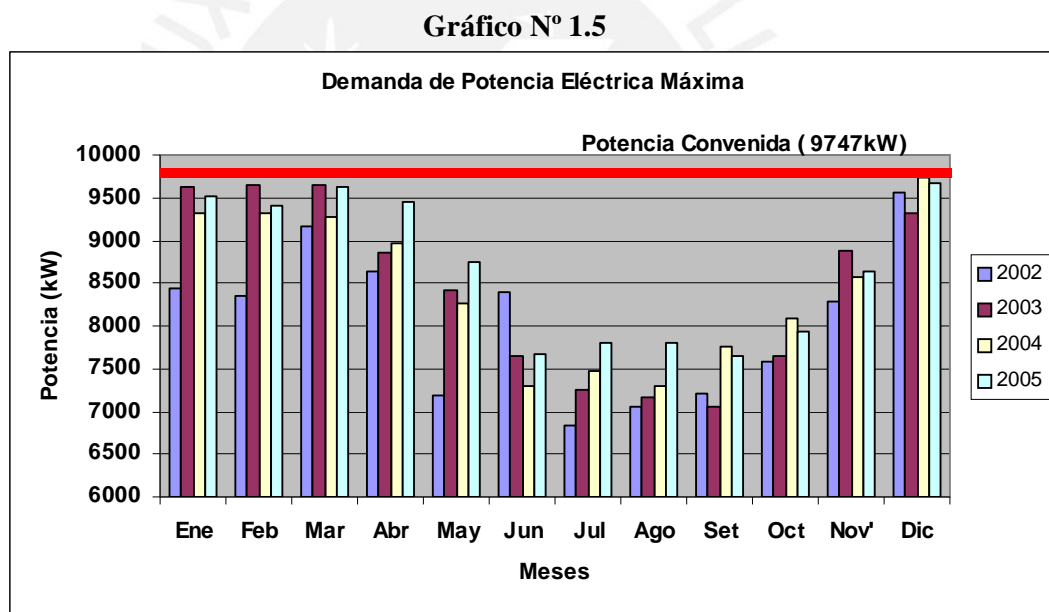


**Fuente : Centro Comercial**

### 1.2.1.2. Determinación de las características de la demanda Mensual

Sabemos que la curva de demanda de potencia en los diferentes días del año es similar, con la variante que en algunos meses la curva de demanda de potencia se desplaza hacia arriba (mayor demanda de potencia) y otros hacia abajo (menor demanda de potencia). Esta variación es debido a las diversas estaciones que se presentan durante el año.

Analizaremos la demanda de potencia y energía eléctrica mensual del centro comercial en los años 2002; 2003; 2004 y 2005 (véase anexo N° 4 y N° 5), para evaluar el comportamiento de la demanda en las diversas estaciones del año. Así como también identificar en que meses se dan las demandas de potencia máximas y mínimas. El gráfico N° 1.5 nos muestra las estadísticas del consumo energético perteneciente al centro comercial:



**Fuente : Centro Comercial**

Del gráfico estadístico podemos sacar las siguientes conclusiones:

- ❖ La demanda máxima de potencia se da en el período de diciembre a abril en donde el centro comercial tiene que cubrir las cargas de iluminación, fuerza motriz y climatización debido a las altas temperaturas en la ciudad por la estación de verano.
- ❖ Durante los meses de mayo a noviembre la demanda de potencia es menor, a razón que el centro Comercial solo tiene que cubrir las cargas

por iluminación y fuerza motriz para mantener la operación diaria. Esto debido a que los sistemas de climatización no están operativos o operan a cargas pequeñas. Se debe resaltar que el centro comercial no cubre cargas por calefacción en los periodos de invierno.

- ❖ En los meses de junio, julio y agosto se tienen las mínimas demandas de potencia. Esta demanda exclusivamente se debe a las cargas de iluminación y fuerza motriz a consecuencia que los equipos de climatización no operan.

### 1.2.1.3 Determinación de la Forma de Energía Requerida

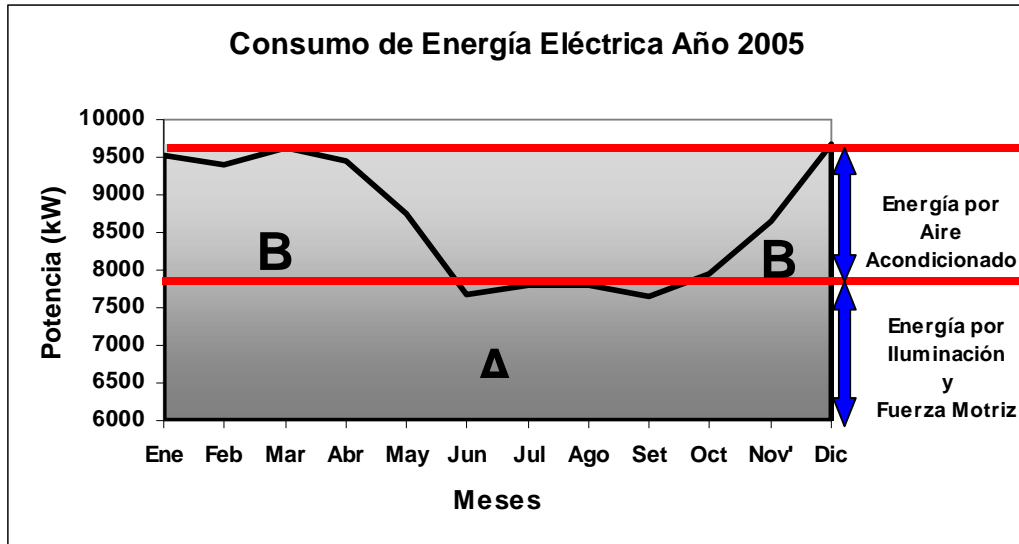
Es muy importante cuantificar la carga por energía eléctrica y térmica de forma independiente, esto permitirá tener claro cuales son los requerimientos energéticos y poder plantear nuevas alternativas de solución que puedan cubrir la demanda requerida por el centro comercial con sistemas energéticos más eficientes y de menor costo.

#### ➤ Determinación de Potencias Máximas

De las conclusiones establecidas en el punto anterior y tomando como base la información estadística del centro comercial en el año 2005, la demanda de energía en los meses de junio, julio y agosto, es en su totalidad por energía eléctrica generada por las cargas de iluminación y fuerza motriz de los diversos equipos. Esta carga esta representada aproximadamente por una demanda de potencia máxima de 7 700 kW, que se presenta en todos los meses del año con una pequeña variación como se muestra en el gráfico N° 1.6.

La demanda de potencia eléctrica máxima en la estación de verano es de aproximadamente 9 747 kW, esta carga representa el consumo por iluminación, fuerza motriz y aire acondicionado. La demanda de potencia eléctrica máxima mensual por iluminación y fuerza motriz durante el año es considerado de 7 700 kW como se mencionó en el punto anterior, lo cual la demanda máxima de potencia eléctrica restante del total es por los sistemas de climatización aproximadamente de 2 000 kW a 2 200 kW. El consumo de energía eléctrica debido a las cargas de iluminación y fuerza motriz estará representado por el área con denominación "A" que se muestra en el gráfico N° 1.6, mientras la energía eléctrica consumida por los compresores para cubrir los requerimiento de energía térmica esta representada en el área con denominación "B".

Gráfico 1.6

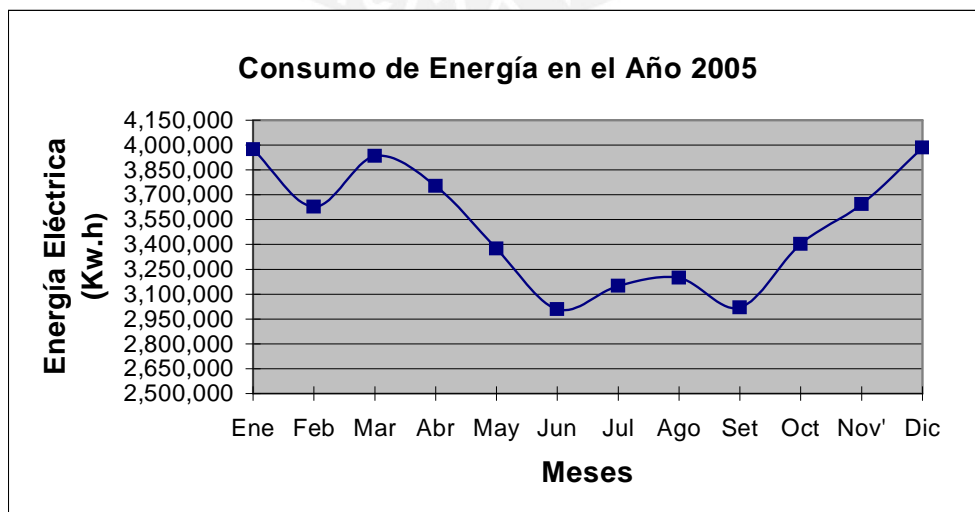


Fuente : Centro Comercial  
Elaboración : Propia

➤ **Determinación de la Cantidad de Energía**

Es muy importante establecer la cantidad de energía eléctrica consumida por los compresores pertenecientes a los sistemas de refrigeración, para lograr saber cuanto es la demanda de energía térmica final del centro comercial. Para discernir que proporción de consumo proviene de compresores, partiremos de la cantidad de energía activa total que consume el centro comercial durante cada mes del año (véase anexo N° 4 y N° 5), luego establecer el consumo de energía eléctrica por iluminación y fuerza motriz el cual se mantiene constante a lo largo del año.

Gráfico N° 1.7



Fuente : Centro Comercial

Como se mencionó anteriormente, en los meses de junio, julio y agosto, se presenta exclusivamente consumo por cargas de iluminación y fuerza motriz, lo cual consideramos de 3 200 000 kW.h de energía eléctrica constante durante todo el año (véase gráfico N° 1.7).

De este modo el consumo de energía por parte de los compresores se obtiene mediante la diferencia entre el consumo total de energía y la energía consumida por iluminación y fuerza motriz (véase cuadro N° 1.2)

Cuadro N° 1.2

Año 2005			
Consumo de Energía Eléctrica Activa ( kW.h)			
Meses	Total	Por Iluminación y Fuerza Motriz	Por Climatización
Ene	3 974 753	3 200 000	774 753
Feb	3 626 587	3 200 000	426 587
Mar	3 934 800	3 200 000	734 800
Abr	3 752 742	3 200 000	552 742
May	3 374 250	3 200 000	174 250
Jun	3 008 979	3 008 979	0
Jul	3 149 154	3 149 154	0
Ago	3 198 472	3 198 472	0
Set	3 018 501	3 018 501	0
Oct	3 402 765	3 200 000	202 765
Nov'	3 642 513	3 200 000	442 513
Dic	3 984 047	3 200 000	784 047

**Elaboración : Propia**

Observando el cuadro anterior nos podemos dar cuenta que los consumos de energía por los sistemas de climatización son altos en los períodos de diciembre a abril debido a la estación de verano, mientras en los meses de mayo, octubre y noviembre presentan consumos menores debido a que son meses de transición donde la demanda disminuye o aumenta paulatinamente debido al cambio de estación, siendo el consumo nulo en el período de junio a septiembre debido a las bajas temperaturas del clima. Es necesario conocer cual es la demanda de potencia térmica del centro comercial, para ello calcularemos primero la demanda máxima de potencia eléctrica requerida por los compresores, utilizando la cantidad de energía eléctrica que consume los sistemas, y la estimación de horas mensuales que funcionan los equipos.

Los requerimientos por equipos de climatización se dan a partir de las 10 horas a las 22 horas en el período de verano, a consecuencia se considera que los equipos trabajaran 360 horas al mes durante este período, esto nos permite saber de forma

aproximada la demanda máxima de potencia eléctrica en los diferentes meses (véase cuadro N° 1.3). Los sistemas de refrigeración por compresión mecánica del centro comercial, en global generan un coeficiente de rendimiento de COP= 3.0, que ocasiona que los requerimientos térmicos máximos en los diferentes meses sean los siguientes:

**Cuadro N° 1.3**

<b>Cálculo de Demanda de Potencia Térmica</b>				
<b>Meses</b>	<b>Energía Eléctrica por Climatización (kW.h)</b>	<b>Horas de Operación (h)</b>	<b>Potencia Eléctrica Máxima por Compresores (kW)</b>	<b>Potencia Térmica Máxima (kW)</b>
<b>Ene</b>	774 753	360	2 152	6 456
<b>Feb</b>	426 587	360	1 185	3 555
<b>Mar</b>	734 800	360	2 041	6 123
<b>Abr</b>	552 742	360	1 535	4 606
<b>May</b>	174 250	360	484	1 452
<b>Jun</b>	0	0	0	-
<b>Jul</b>	0	0	0	-
<b>Ago</b>	0	0	0	-
<b>Set</b>	0	0	0	-
<b>Oct</b>	202 765	360	563	1 690
<b>Nov'</b>	442 513	360	1 229	3 688
<b>Dic</b>	784 047	360	2 178	6 534

**Elaboración : Propia**

Del cuadro anterior podemos apreciar que la demanda térmica es alta durante los meses de verano llegando a una demanda térmica máxima de 6 534 kW

#### 1.2.1.4 Cálculo del Costo Operativo de Energía

Con las tarifas de generación y distribución de energía eléctrica mostrados en el cuadro N° 1.1 podemos calcular la facturación total, que representa el costo operativo de energía que tiene el centro comercial para cubrir sus operaciones durante el año. Calcularemos cual es el costo operativo energético del centro comercial en el año 2005. Para poder calcular la facturación por consumo de energía necesitamos saber el consumo de potencia y energía eléctrica durante el año 2005, lo cual se presenta en el cuadro N° 1.4 Para realizar los cálculos se consideran los periodos de horas punta (HP) y horas fuera de punta(HFP).

**Cuadro N° 1.4**

<b>Lecturas Registradas en Subestación de 22,9 kW</b>					
<b>Consumo de Potencia y Energía Eléctrica</b>					
<b>Mes</b>	<b>Energía Activa (kW.h)</b>		<b>Energía Reactiva (KVar.h)</b>		<b>Potencia Máxima (kW)</b>
	<b>HP.</b>	<b>HFP.</b>	<b>KVar.h</b>	<b>%</b>	
<b>Ene</b>	1 011 929	2 962 824	1 182 988	30%	9 514
<b>Feb</b>	945 632	2 680 955	1 039 162	29%	9 409
<b>Mar</b>	977 057	2 957 743	1 047 770	27%	9 630
<b>Abr</b>	940 932	2 811 809	985 718	26%	9 457
<b>May</b>	883 280	2 490 970	777 389	23%	8 754
<b>Jun</b>	800 318	2 208 661	605 349	20%	7 679
<b>Jul</b>	775 840	2 373 315	619 100	20%	7 802
<b>Ago</b>	847 833	2 350 639	662 455	21%	7 810
<b>Set</b>	826 123	2 192 378	587 338	19%	7 639
<b>Oct</b>	890 345	2 512 420	714 588	21%	7 945
<b>Nov'</b>	925 182	2 717 331	874 205	24%	8 642
<b>Dic</b>	1 007 858	2 976 189	1 035 856	26%	9 675

**Fuente : Centro Comercial**

**Elaboración : Propia**

Con los consumos de potencia y energía eléctrica se calcula la facturación por generación y transmisión, en base a las consideraciones y tarifas que tiene el centro comercial con la empresa eléctrica que fueron desarrollados en puntos anteriores. La facturación por generación y transmisión se presentan en las cuadro N° 1.5 y N° 1.6.

**Cuadro N° 1.5**

<b>FACTURACIÓN POR GENERACIÓN</b>					
<b>Mes</b>	<b>Costo de Energía Activa (US\$)</b>			<b>Costo de Potencia (US\$)</b>	<b>Costo Total (US\$)</b>
	<b>HP.</b>	<b>HFP.</b>	<b>Total</b>		
<b>Ene</b>	40,089	87,498	127,587	54,977	182,564
<b>Feb</b>	37,462	79,174	116,637	54,370	171,007
<b>Mar</b>	38,707	87,348	126,056	55,648	181,703
<b>Abr</b>	37,276	83,039	120,315	54,644	174,959
<b>May</b>	34,992	73,564	108,556	50,583	159,139
<b>Jun</b>	31,706	65,226	96,932	44,372	141,304
<b>Jul</b>	30,736	70,089	100,825	45,082	145,907
<b>Ago</b>	33,588	69,419	103,007	45,126	148,133
<b>Set</b>	32,728	64,746	97,473	44,141	141,614
<b>Oct</b>	35,272	74,197	109,469	45,909	155,378
<b>Nov'</b>	36,652	80,248	116,901	49,936	166,837
<b>Dic</b>	39,928	87,893	127,821	55,905	183,726

**Fuente : Centro Comercial**

**Elaboración : Propia**

Cuadro N° 1.6

FACTURACIÓN POR DISTRIBUCIÓN					
Mes	Costo por Peaje de Conexión al Sistema (US\$)			Costo por Compensación (US\$)	Costo Total (US\$)
	HP.	HFP.	Total (US\$)		
Ene	4,056.07	11,875.77	15,931.84	45,132.26	61,064.10
Feb	3,790.34	10,745.97	14,536.30	44,634.56	59,170.86
Mar	3,916.30	11,855.40	15,771.70	45,683.27	61,454.98
Abr	3,771.50	11,270.47	15,041.97	44,859.31	59,901.28
May	3,540.42	9,984.46	13,524.87	41,525.59	55,050.47
Jun	3,207.88	8,852.89	12,060.77	36,426.54	48,487.31
Jul	3,109.77	9,512.86	12,622.63	37,009.29	49,631.92
Ago	3,398.33	9,421.97	12,820.31	37,045.63	49,865.94
Set	3,311.32	8,787.62	12,098.94	36,237.03	48,335.97
Oct	3,568.73	10,070.43	13,639.17	37,688.01	51,327.18
Nov'	3,708.37	10,891.77	14,600.14	40,994.31	55,594.45
Dic	4,039.76	11,929.34	15,969.10	45,894.46	61,863.56

Fuente : Centro Comercial

Elaboración : Propia

La facturación total que tiene que pagar el centro comercial en cada mes se representa en el cuadro N° 1.7.

Cuadro N° 1.7

FACTURACION TOTAL DE ENERGIA					
Mes	Costo por Generación (US\$)	Costo por Distribución (US\$)	Total Sin IGV. (US\$)	IGV. (19%) (US\$)	Costo Total (US\$)
Ene	182,563.76	61,064.10	243,627.86	46,289.29	289,917.15
Feb	171,006.88	59,170.86	230,177.74	43,733.77	273,911.51
Mar	181,703.43	61,454.98	243,158.40	46,200.10	289,358.50
Abr	174,958.90	59,901.28	234,860.18	44,623.43	279,483.61
May	159,138.99	55,050.47	214,189.46	40,696.00	254,885.45
Jun	141,303.90	48,487.31	189,791.21	36,060.33	225,851.54
Jul	145,906.59	49,631.92	195,538.52	37,152.32	232,690.84
Ago	148,133.29	49,865.94	197,999.23	37,619.85	235,619.08
Set	141,614.50	48,335.97	189,950.47	36,090.59	226,041.06
Oct	155,377.70	51,327.18	206,704.88	39,273.93	245,978.81
Nov'	166,836.74	55,594.45	222,431.19	42,261.93	264,693.11
Dic	183,725.65	61,863.56	245,589.21	46,661.95	292,251.16
<b>FACTURACIÓN ANUAL DE ENERGÍA ( US\$)</b>					<b>3,110,681.82</b>

Fuente : Centro Comercial

Elaboración : Propia

El costo operativo energético anual que paga el Centro Comercial es de aproximadamente US\$ 3,110,681.8

### 1.3 Alternativa de Solución

#### 1.3.1 Generalidades

El centro comercial tiene un costo energético que representa un gran porcentaje del costo operativo, sumado al crecimiento del centro comercial, requerirá mayor energía para cubrir las demandas energéticas que influyen incrementando el costo de operación. Para poder lograr ser más competitivo en el mercado y lograr aprovechar de forma eficiente los recursos y obtener mayor rentabilidad, se debe buscar controlar los costos energéticos. Hay 2 posibles opciones: Controlar el consumo de Energía o el costo.

En el centro comercial es muy difícil reducir en forma significativa el consumo de energía, esto debido a que el consumo máximo de energía se da en un período en donde el centro comercial necesita la mayor demanda de energía para el confort de los clientes. A esto se suma que la máxima demanda se da dentro de horas punta donde la tarifa es mucho más costosa. La búsqueda de nuevas alternativas tecnológicas que permitan cubrir las demandas de energía eléctrica y térmica del centro comercial con un menor costo energético será la alternativa a optar para alcanzar reducir los costos energéticos.

La tecnología de los sistemas de cogeneración es una alternativa eficiente que permite generar simultáneamente electricidad y calor, obtenida mediante la energía calorífica de un determinado combustible. Los sistemas de cogeneración con gas natural son una alternativa muy atractiva para cubrir los requerimientos energéticos, obteniendo eficiencias globales altas y aprovechando al máximo los recursos. Así como también por muchas ventajas en los diferentes aspectos que engloban el uso de esta tecnología con gas natural como se describe a continuación:

- ❖ En los diversos sistemas de cogeneración el combustible empleado para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor que el utilizado en los sistemas convencionales que existen en el mercado para generar energía eléctrica y térmica por separado. Esto significa que el 100% de energía que suministra el combustible, en una termoeléctrica convencional solo el 33% se convierte en energía eléctrica, el resto de energía no es aprovechado, debido a que se pierde por los gases de escape, sistema de refrigeración, pérdidas mecánicas y otras. En los sistemas de cogeneración se aprovecha hasta un 84% de la energía proporcionada por el combustible para producir energía eléctrica y calor (25% a 30% eléctricos y de 50% a

54% térmicos) para un proceso determinado aprovechando el calor residual que permite obtener estos rendimientos globales altos.

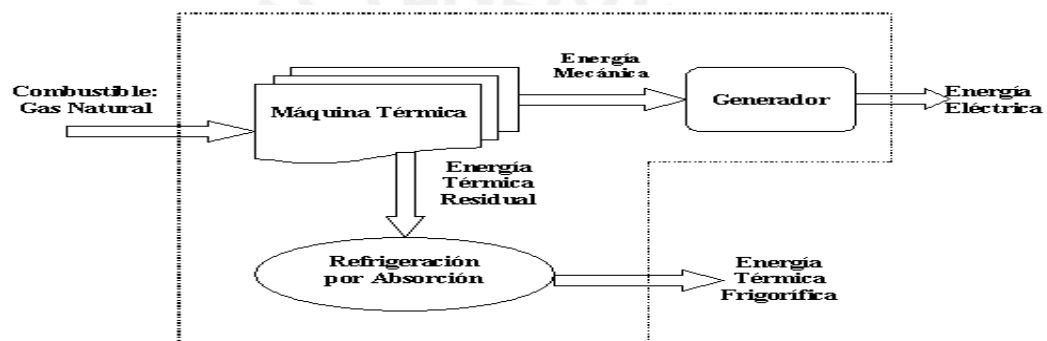
- ❖ En el sector industrial los sistemas de cogeneración permiten la reducción de la facturación energética lo cual disminuyen los costos operativos totales que permiten aumentar la competitividad de las empresas.
- ❖ Los sistemas de cogeneración permiten reducir en gran medida la emisión de contaminantes debido a que es menor la cantidad de energía primaria (combustibles) que se suministra para poder obtener la misma cantidad de energía útil, así como también los sistemas de cogeneración utilizan tecnologías avanzadas y combustibles más limpios como el gas natural.
- ❖ El gas natural dentro de la variedad de combustibles que se utilizan para suministrar energía primaria a los sistemas de cogeneración, es el más conveniente, debido a que contamina menos y permite disponer de sistemas de generación más modernos y eficientes y permite la viabilidad de su operación al ser un combustible con precios muy competitivos en el mercado.
- ❖ Los sistemas de cogeneración instaladas en las diversas industrias permiten asegurar una óptima calidad de la energía eléctrica generada, tanto en tensión como en frecuencia, esto permite superar los muchos problemas que se originan por la influencia de armónicos y desequilibrios de carga originadas por industrias vecinas que se transfieren por a red convencional de energía eléctrica.

### 1.3.2 Tecnología Propuesta

La alternativa de solución para cubrir los requerimientos energéticos para el centro comercial será con la utilización de un sistema de cogeneración con gas natural, que permita cubrir en el primer escalón del proceso la demanda de energía eléctrica, y en el segundo escalón la demanda de energía térmica con el calor residual. La tecnología a emplear para generar energía eléctrica en el primer escalón, será con la utilización de una máquina térmica que utilizará gas natural como combustible. Las tecnologías probables son mediante la utilización de motores alternativos de combustión interna o turbinas a gas.

Para cubrir los requerimientos térmicos por climatización se empleará un sistema de refrigeración por absorción, que utilizara como energía primaria para su funcionamiento, vapor o agua caliente que se logra obtener en una caldera de recuperación de calor gracias a la energía térmica proporcionada por los gases de escape de las maquinas térmicas. Este sistema de refrigeración a diferencia de la refrigeración mecánica, solo utiliza una pequeña cantidad de energía eléctrica para accionamiento de algunas pequeñas bombas que representa un 10% del consumo del compresor que se utiliza en el sistema de refrigeración por compresión mecánica tradicional. A continuación se presenta el esquema del sistema de cogeneración a implementar.

Gráfico N° 1.8



**Elaboración : Propia**

Con esta tecnología se busca obtener energía eléctrica a menor costo que la tarifa que se paga a la empresa eléctrica, debido a los bajos costos de gas natural. Así como también un ahorro de energía que se produce gracias a la utilización del sistema de refrigeración por absorción que utiliza el calor residual como energía primaria. Este último produce un ahorro en el costo energético.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN A GAS NATURAL

#### ANTECEDENTES

La unidad comprende el desarrollo del diseño del Sistema de Cogeneración del Centro Comercial, pasando por la evaluación de tecnología existente, selección de tecnología adecuada, selección de equipos, suministros requeridos, consumos de gas natural, diseño de instalaciones, inversión y costos operativos.

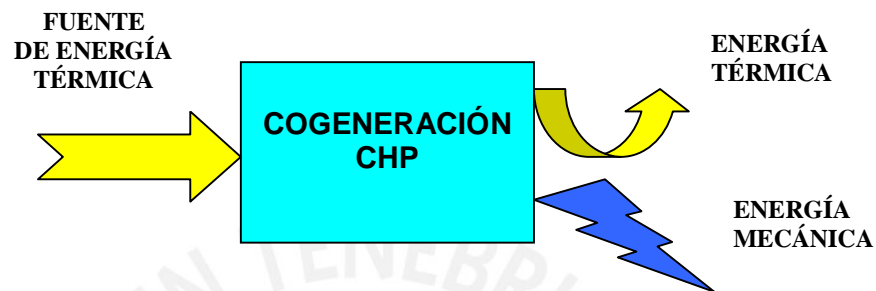
#### 2.1 Generalidades

COGENERAR es una palabra compuesta del prefijo co y del verbo GENERAR, generar se define, en el Diccionario de uso del Español de *Doña. Maria Moliner* como “ Producir una cosa “ y el prefijo co- viene del Latín CUM preposición que rige por lo que, en una interpretación técnica, la palabra COGENERAR significa producir mas de una cosa, como mínimo dos. Desde el punto de vista técnico, según referencia [Villares, 2000, p.13] producir una cosa será producir energía, sea del tipo que sea, como para producir cualquier cosa es necesario una materia prima, la materia prima será también la energía y esto basado en la ley termodinámica “ la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma “.

La cogeneración es la producción simultánea de energía mecánica y térmica (gráfico N° 2.1), ambas utilizadas a partir de una sola fuente de energía primaria (poder calorífico de un combustible). Su uso mas común es la producción de electricidad y calor en diversas formas (gases calientes, vapor y agua caliente) lo

cual se conoce también como CHP (Combined Heat and Power). Debemos tener en cuenta que la energía térmica puede presentarse subdivida en energía calorífica y frigorífica, en este caso entramos en el concepto de la Trigeneración.

Gráfico N° 2.1



La energía mecánica obtenida con la cogeneración también puede usarse directamente para el accionamiento de bombas, compresores y otros equipos mecánicos, del mismo modo que se acciona un generador eléctrico.

## 2.2 Tipos de Sistemas de Cogeneración

Uno de los criterios para clasificar los sistemas de cogeneración más utilizados es según el tipo de energía que se cubre en el primer escalón del proceso, que puede ser energía eléctrica o térmica, que se obtiene directamente de la energía primaria del combustible mediante una máquina térmica. Según [Gamma, 2004, pp.1-2] este criterio se clasifica en sistemas de Cogeneración Superior o de cabeza y de Inferior o de cola.

### A ) Cogeneración Superior o de Cabeza (TOPPING SYSTEM)

Los sistemas superiores de cogeneración, son aquellos en los que la fuente de energía primaria (diesel, gas natural, carbón, etcétera) se utiliza directamente para colocar en operación equipos tipo motores o turbinas para la generación de energía eléctrica en el primer escalón del proceso. A partir de la energía química del combustible se producen fluidos a altas temperaturas que se destinan para generar la energía térmica resultante, que se denomina calor residual en forma de vapor, agua caliente o gases calientes. Esta energía térmica es suministrada a los diversos procesos requeridos en la industria, como para secado, cocimiento o calentamiento que constituyen el segundo escalón del proceso. Este tipo de

sistemas es aplicado en la industria alimenticia, azucarera, del papel, cervecera, textil y centros comerciales, en donde los requerimientos de calor son moderados o bajos con temperaturas entre 250 °C a 600 °C.

## **B) Cogeneración Inferior o de Cola (BOTTOMING SYSTEM)**

En los sistemas de cogeneración inferior la energía primaria se utiliza directamente para satisfacer en primer lugar los requerimientos térmicos del proceso del primer escalón, mientras la energía térmica residual se usa para la generación de energía eléctrica en el segundo escalón del proceso. Los sistemas inferiores son aplicados frecuentemente en la industria en los que se presentan altas temperaturas como el cemento, vidriaría, siderúrgicas y química. En tales procesos se utilizan calores residuales del orden de 300 °C a 900 °C en los que pueden ser utilizados para la producción de electricidad y vapor.

### **2.3 Tecnologías Utilizadas en los Sistemas de Cogeneración**

Los sistemas de cogeneración utilizan diversas tecnologías para cubrir los requerimientos energéticos de las diferentes aplicaciones en los sectores residenciales, comerciales, industriales y otros. Entre estas tecnologías se encuentran equipamientos para generación de electricidad, calefacción y refrigeración. A continuación se describirá aquellas tecnologías que nos permitan generar energía eléctrica y térmica para climatización, para luego poder seleccionar cual de estas tecnologías nos permitirá tener un sistema de cogeneración que cubra satisfactoriamente los aspectos técnicos y económicos.

#### **2.3.1 Tecnología para Generación de Electricidad y Calor**

Las tecnologías mas utilizadas en los sistemas de cogeneración para la producción de electricidad y calor son las siguientes:

##### **A) Sistema con Motor alternativo de Combustión Interna**

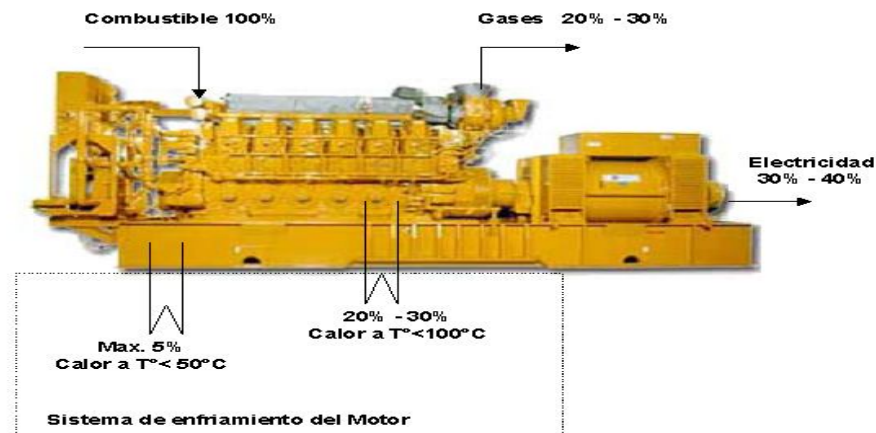
###### **1. Generalidades**

Según las referencias [Gamma, 2004, pp.4-5] y [Villares,2000, pp.94-96] la utilización de motores de combustión interna (MCI) en los sistemas de cogeneración, permiten alcanzar eficiencias globales entre un 60% a 80%. En estos motores del 100% de energía que se le suministra por medio del poder calorífico de un combustible, solo se transforma en energía eléctrica un 30% a 40% a través de un generador acoplado al eje motor accionado por el desplazamiento de los

pistones en los cilindros acoplados a un cigüeñal rotatorio. Los gases de escape, producto de la explosión que se lleva a cabo en los cilindros del motor, salen a una temperatura entre 350 °C y 550 °C. Esta energía es posible de utilizar instalando diversos equipos a la salida de los gases del motor y representa entre un 20% a 35% de la energía suministrada por el combustible. Los motores para que operen en condiciones óptimas, requieren de dos sistemas de enfriamiento. Uno de ellos opera en un rango de temperaturas entre 85 °C y 99 °C, mientras el otro entre 70 °C a 40 °C dependiendo del diseño del motor. Estos sistemas de refrigeración enfrían los cilindros del motor, el aceite lubricante (LO) y el aire comprimido de entrada (After Cooler). Esta energía que es disipada del motor hacia el ambiente, se utiliza en la cogeneración mediante intercambiadores de calor y representa entre un 25% a 35% de la energía suministrada por el combustible al motor. Los motores de combustión interna a gas natural es una máquina térmica alternativa de 4 tiempos que opera en un ciclo Otto. Se muestra en la Gráfico N° 2.2 el balance energético de un sistema de cogeneración con motor alternativo de combustión interna.

Gráfico N° 2.2

### Balance Energético del Motor de Combustión



Elaboración : Propia

## B) Sistema con Turbina a gas

### 1. Generalidades

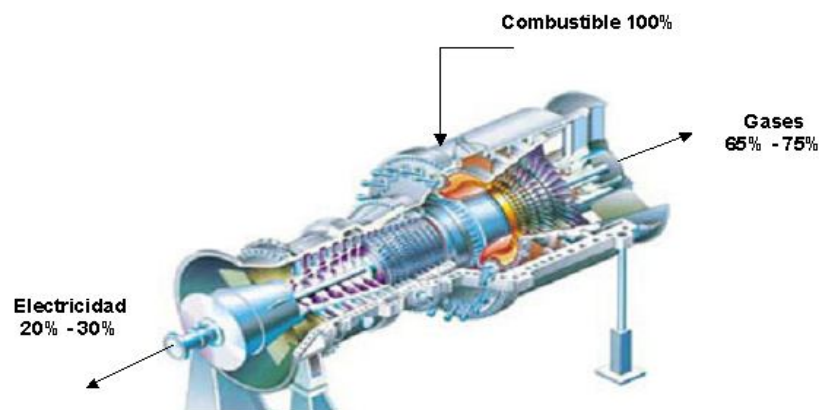
Es una máquina térmica rotatoria que opera en un ciclo Brayton. Este equipo está constituido por un compresor para el aire comburente, varias cámaras de combustión y una turbina que es accionada por gases calientes que son suministrados por la o las cámaras de combustión. Este sistema nos permite

alimentar aire a alta presión a una cámara de combustión en el que se inyecta el combustible, que al quemarse genera gases a alta presión y temperatura que luego alimenta una turbina donde se expanden generando energía mecánica que se transforma en energía eléctrica al ser acoplada a un generador. El compresor que puede ser de flujo axial o radial dependiendo del diseño del equipo, es accionado con una parte de la energía mecánica generada por la turbina por el paso de los gases provenientes de las cámaras de combustión, el resto queda como potencia mecánica utilizable por el par motor en el eje de la turbina.

Según referencia [Gamma, 2004, p.6], la generación eléctrica constituye entre un 20% a 30% de la energía suministrada por el combustible, según cada turbina. Entre un 65% a 75% de esta energía sale por los gases de combustión de la turbina, que después de su expansión se encuentra a temperaturas entre 400 °C a 600 °C. Esta energía es posible utilizarla a través de equipos de recuperación.

A diferencia de los motores alternativos de combustión interna, en las turbinas no existe entrega de calor como agua caliente. En algunas aplicaciones industriales también es posible el uso directo de los gases de escape de los equipos. La cogeneración con turbinas a gas permite alcanzar eficiencias globales entre un 65% a 80%. El gráfico N° 2.3 muestra el balance de energía de un sistema de cogeneración con turbina a gas.

**Gráfico N° 2.3**  
**Balance Energético de la Turbina a Gas**



### C) Cuadro Comparativo entre Tecnologías

En los puntos anteriores se realizó la descripción de las principales tecnologías que se utilizan en un sistema de cogeneración, con hincapié en aquellas tecnologías que se adaptan a los requerimientos en estudio para el centro comercial, que debe cubrir en el primer escalón del proceso la demanda de energía eléctrica, y con la energía térmica residual, la demanda térmica para climatización.

A continuación el cuadro N° 2.1, que presenta el resumen de las características de diseño de las principales tecnologías descritas en puntos anteriores y otros, que permitirá tener una idea clara de cada tecnología:



Cuadro N° 2.1

Cuadro Comparativo de Características Técnicas, Funcionamiento y Costos en Tecnologías para Sistema de Cogeneración					
Descripción	Turbina a Vapor	Motor - Diesel	Motor - Gas Nat.	Turbina a Gas	Micro turbina
Eficiencia Eléctrica (HHV)	15 - 38%	27 - 45%	22 - 40%	22 - 36%	18 - 27%
Eficiencia Global (HHV)	80%	70 - 80%	70 - 80%	70 - 75%	65 - 75%
Capacidad Típica (MWe)	0.2 - 800	0.03 - 5	0.05 - 5	1 - 500	0.03 - 0.35
Relación Calor / Electricidad	0.1 - 0.3	0.5 - 1	0.5 - 1	0.5 - 2	0.4 - 0.7
Trabajo a Cargas Parciales	ok	bueno	ok	pobre	ok
Costo de Instalación de CHP (\$/kWe)	300 - 900	900 - 1 500	900 - 1 500	800 - 1 800	1 300 - 2 500
Costo de O&M (\$/kWh)	< 0.004	0.005 - 0.015	0.007 - 0.02	0.003 - 0.0096	0.01
Disponibilidad	Cerca 100%	90 - 95%	92 - 97%	90 - 98%	90 - 98%
Horas para Overhauls	> 50 000	25 000 - 30 000	24 000 - 60 000	30 000 - 50 000	5 000 - 40 000
Tiempo de Arranque	1 hr - 1 día	10 s	10 s	10 min. - 1 hr.	60 s
Presión de Combustible (psi)	n/a	< 5 psi	1 - 45 psi	120 - 500 psi (compresor)	40 - 100 psi (compresor)
Combustible	Todos	Diesel, Residual	Gas Natural, Biogás, Propano	Gas Natural, Biogás, Propano	Gas Natural, Biogás, Propano
Ruido	Alto	Alto	Alto	Moderado	Moderado
Usos para Producción Térmica					
Densidad de Potencia ( kW/m <sup>2</sup> )	> 100	35 - 50	35 - 50	200 - 500	5 - 70.
NO <sub>x</sub> <sup>2</sup> , lb/Mmbtu	0.03 - 0.3	1 - 1.8	0.18	0.05	0.03
lb/MWh <sub>Total</sub> - Output	0.13 - 1.3	4.3 - 8.2	0.8	0.25	0.15

**Fuente: U.S Environmental Protection Agency Combined Heat a Power Partnership**

## 2.3.2 Tecnología de Refrigeración para Climatización

### A) Refrigeración por Absorción

#### 1. Ciclo de Refrigeración

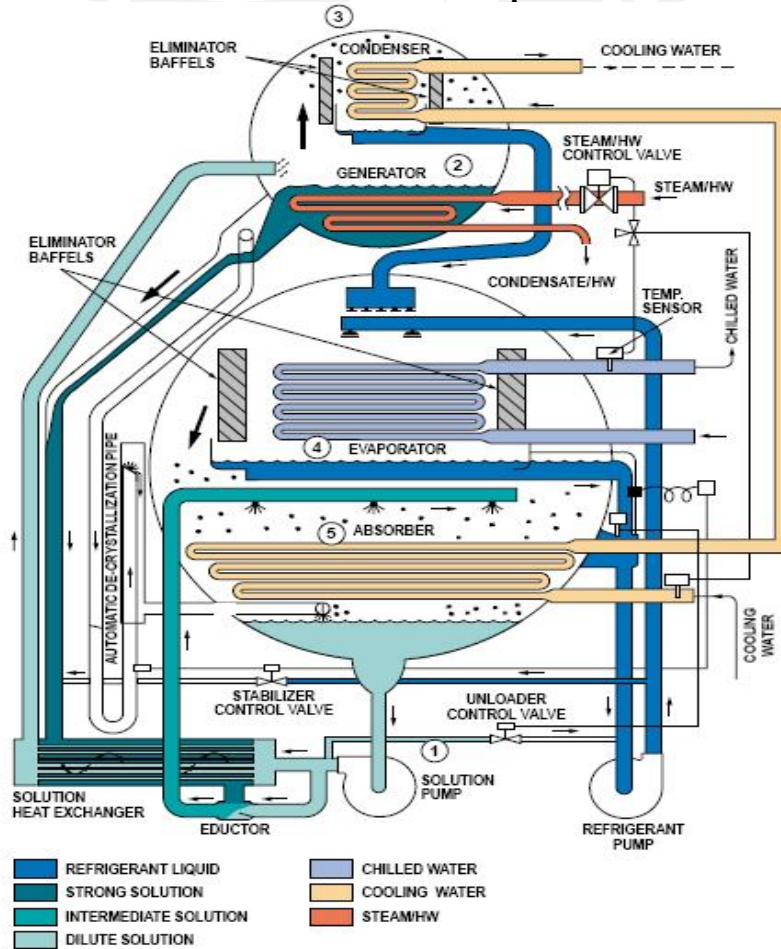
En este punto se describirá el ciclo completo que realiza una máquina de absorción de simple efecto que trabaja con agua como refrigerante y con bromuro de litio como absorbedor, con el objetivo de ilustrar el funcionamiento de esa tecnología. El ciclo de absorción de simple efecto usa principalmente agua como refrigerante y bromuro de litio como agente absorbedor, la afinidad fuerte que hay entre estas 2 sustancias permite realizar el ciclo de trabajo. Todo el proceso ocurre en casi un completo vacío. A continuación se describirá el ciclo completo que realiza el equipo de absorción según referencia [Jutglar, 1996 pp.89-90] y catalogo del equipo de absorción de la empresa York.

- **Bomba de Solución (1) .-** La solución diluida de bromuro de litio es reunida en la parte inferior del recipiente del absorbedor, de allí la bomba mueve la solución hacia el intercambiador de calor para un precalentamiento antes de ser llevado al generador del equipo.
- **Generador (2) .-** A la salida del intercambiador de calor, la solución se dirige al generador. En el generador en donde se encuentra reunida la solución diluida de bromuro de litio, hay un conjunto de tubos que llevan vapor o agua caliente, mediante transferencia de calor entre la solución diluida que rodea los tubos, la solución diluida de bromuro de litio hierve y a consecuencia envía el vapor del refrigerante a la parte superior del condensador, mientras la solución concentrada de bromuro de litio es movido hacia el intercambiador de calor para ser enfriado y luego llevado hacia la parte superior del generador.
- **Condensador (3) .-** El vapor del refrigerante obtenido en el generador migra a través de la niebla al condensador, este último cuenta con un haz de tubos que llevan en su interior agua a bajas temperaturas que producen la condensación del vapor del refrigerante.
- **Evaporador (4) .-** El líquido refrigerante obtenido en el condensador se mueve hacia el evaporador y es rociado sobre el haz de tubos que tiene el evaporador donde en el interior pasa agua a baja temperatura. El refrigerante al ser rociado sobre el haz de tubos del evaporador y debido al extremo vacío que existe de aproximadamente 6 mmHg (0,8 kPa) de presión absoluta, el

refrigerante rociado hierva a unos 39 °F (3,9 °C) que crea el efecto refrigerante (este vacío es producido por la acción higroscópica debido a la fuerte afinidad que tiene el bromuro de litio con el agua.

- **Absorbedor (5)** .- El vapor del refrigerante obtenido en el evaporador migra hacia el absorbedor, en donde la solución concentrada de bromuro de litio proveniente del generador es rociada sobre el haz de tubos del absorbedor. La solución concentrada de bromuro de litio actúa sobre el vapor del refrigerante creando el extremo vacío en el evaporador (acción higroscópica). La absorción del vapor del refrigerante dentro de la solución del bromuro de litio también genera calor que es removido por el agua a baja temperatura que pasa por el haz de tubos. La solución diluida de bromuro de litio obtenida es nuevamente llevado al intercambiador de calor por la bomba de solución, con esto el ciclo de refrigeración a finalizado y el proceso comienza de nuevo (Véase gráfico N° 2.4)

**Gráfico N° 2.4**  
**Ciclo de Absorción de Simple Efecto**



Fuente : Empresa York

## 2. Equipos de Absorción en el Mercado

Los equipos de absorción se aplican cuando existe una demanda de frío, bien sea para un proceso de congelación, fabricación o climatización. Según referencia [Villares, 2000, pp.122-123] existen en el mercado principalmente equipos de absorción de:

❖ **Bromuro de Litio – Agua:** Equipos que utilizan una solución compuesta de bromuro de litio (BrLi) como sustancia absorbente, y agua como refrigerante. Estas son utilizadas principalmente en aplicaciones de climatización donde la demanda frigorífica no esta por debajo de los 5,5 °C, ya que esta sal tiene el inconveniente de cristalizarse a temperaturas inferiores.

❖ **Agua – Amoniac:** En estos equipos se utilizan una solución compuesta de amoniac ( $\text{NH}_3$ ) como sustancia refrigerante, y el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) como sustancia absorbente. Estas son utilizadas en aplicaciones de refrigeración industrial, donde la demanda requerida se encuentra por debajo de los 0 °C.

## 3. Características de Equipos de Absorción de Simple y Doble Efecto

Los equipos de absorción de bromuro de litio y agua se encuentran en el mercado disponible primordialmente para el mercado de la climatización debido a sus características de diseño. A continuación describiremos las principales características de los equipos de absorción con bromuro de litio de simple y doble efecto, basándonos en información de los fabricantes y la guía de refrigeración desarrollada por ASHRAE (Application guide for absorption cooling/refrigeration using recovered heat, Am. Soc. Heat. Ref Air-Cond. Engrs (ASHRAE), Atlanta, GA. y la referencia [European commision –Directorate General for Energy, 2001, pp. 8 -10].

### Absorción - Simple Efecto

- Los equipos de absorción de bromuro de litio de simple efecto están disponibles en el mercado en la gama de capacidades de 100 TR a 1500 TR es decir de 350 kW a unos 5,2 MW.

- El suministro de vapor a los equipos es de 1 bar a 2,5 bar que corresponde a una temperatura de 110 °C a 120 °C. En el caso de equipos a agua caliente se realiza a una temperatura de 115 °C a 150 °C a una presión máxima de 9 bares.
- Para los equipos de absorción de bromuro de litio de simple efecto el coeficiente de rendimiento (COP) se sitúa en el rango de 0,6 a 0,7.
- El consumo de la fuente de calor en los equipos de absorción a vapor es aproximadamente de 2,3 Kg/h por cada kW. En el caso de los equipos a agua caliente el consumo esta en el rango de 30 kg/h a 72 Kg/h por kW dependiendo de la temperatura de trabajo.

### Absorción Doble-Efecto

- Los equipos de absorción de bromuro de litio de doble efecto están disponibles en el mercado en la gama de capacidades de 100 TR a 1500 TR es decir de 350 kW a unos 5.2 MW.
- El suministro de vapor a los equipos es de 8 bar a 11 bar que corresponde a una temperatura de 175 °C a 185 °C. En el caso de equipos a agua caliente se realiza a una temperatura de 155 °C a 205 °C.
- Para los equipos de absorción de bromuro de litio de doble efecto el coeficiente de rendimiento (COP) se sitúa en el rango de 0,9 a 1,2.
- El consumo de la fuente de calor en los equipos de absorción a vapor es aproximadamente de 1,4 Kg/h por cada kW.

### 2.3.3 Tecnología para Recuperación de Energías

#### A. Generalidades

En los sistemas de cogeneración se recuperan las energías residuales proporcionados por las maquinas térmicas y se utilizan en diferentes procesos requeridos de forma directa en procesos de secado o de forma indirecta para la generación de vapor o agua caliente. Esto permite cubrir las demandas simultaneas de electricidad, calor o climatización con mayores eficiencias que con

sistemas de producción separada. Esto se logra con la utilización de diferentes equipos que permiten recuperar las energías remanentes mencionadas para ser utilizadas de forma útil en procesos finales. Los equipos más utilizados son los intercambiadores de calor que permiten la recuperación mediante la transferencia de calor entre un fluido de mayor temperatura a otro de menor. Los intercambiadores más usados en las plantas de cogeneración son:

### **B. Calderas de Recuperación (Heat Recovery Steam Generator, HRSG)**

Las calderas de recuperación aprovechan la entalpía de los gases calientes para generar primordialmente vapor o agua caliente, por lo que se pueden describir de forma sencilla diciendo que consiste en una serie de intercambiadores de calor que utilizan un gas como fluido caliente y como fluido frío un líquido, habitualmente es agua.

#### **Parámetro de Diseño y Rendimiento:**

Según la referencia [Villares, 2000, pp.69-76], la utilización de las calderas de recuperación (HRSG) en los sistemas de cogeneración son muy importantes debido al gran ahorro de energía que se logra con esta tecnología. La eficiencia total de un sistema de cogeneración esta en función a la cantidad de energía recuperada, en este caso por las calderas de recuperación, que son utilizadas en sistemas con motores de combustión y turbinas a gas. En el caso de las turbinas se puede apreciar de forma más clara debido a que las calderas de recuperación son la tecnología principal para la recuperación de la única fuente de energía térmica suministrada por las turbinas mediante los gases de escape. Los dos factores mas importantes que influyen en la cantidad de energía recuperable para la generación de vapor o agua caliente en las caldera de recuperación, asumiendo un flujo de gases constante al ingreso de la caldera es:

- Temperatura de salida de los gases de escape de las maquinas térmicas (turbinas a gas o motores a combustión).
- Temperatura de salida de los gases de escape de la caldera de recuperación.

Para las mismas temperaturas de salida de gases de la caldera de recuperación, a mayor temperatura de salida de los gases de escape de las maquinas térmicas (mayor temperatura de gas a la entrada del HRSG) se traduce en mayor cantidad de energía térmica disponible a recuperar. Del mismo modo cuanto más baja sea

la temperatura de salida de gases del HRSG, mayor será la cantidad de energía recuperada, por lo cual es más alto la eficiencia total del sistema de cogeneración. Los combustibles que contienen azufre, como los fósiles y la mayoría de los combustibles (ligeros y pesados), producen residuos de combustión que contienen dióxido de azufre y vapor de agua. A temperaturas por debajo de la temperatura de rocío (148,8°C), según referencias [U.S. Environmental Protection Agency, 2001, p.12] y [Villares, 2000, pp.96,109] estos vapores y gases se condensan y forman ácido sulfuroso y sulfúrico, que atacan a los metales de la caldera en lo que se ha denominado corrosión ácida. Si la temperatura de los gases salientes puede mantenerse por encima de la temperatura de rocío, este ataque sobre los componentes de la caldera puede reducirse al mínimo. En general como se mencionó en los puntos anteriores, la temperatura promedio recomendado de salida para los gases en las calderas de recuperación esta por encima de 300 °F (148,8 °C) para los combustibles con azufre, mientras para el gas natural las temperaturas pueden llegar hasta los 90 °C [Villares, 2000, p.96], debido a no existencia o poca cantidad de presencia de azufre en su composición, logrando tener mayor cantidad de energía a recuperar.

## 2.4 Selección de Tecnología para Generador Principal

### 2.4.1 Tecnología a Evaluar

En este punto se evaluará y seleccionará la tecnología que mejor se adapta a las características requeridas por el centro comercial en el aspecto técnico y económico. Para ello se evaluará las dos tecnologías propuestas para el sistema de cogeneración a instalar:

**A) Motor Alternativo + Equipos de Absorción:** La utilización de esta tecnología permitirá generar en el primer escalón del proceso, energía eléctrica mediante motores de combustión interna acopladas a un generador. A la vez con la energía residual proveniente de los gases de escape y los sistemas de refrigeración del motor, lograr generar vapor o agua caliente mediante una caldera de recuperación y suministrar la energía térmica requerida por los equipos de absorción.

**B) Turbina Gas Natural + Equipos de Absorción:** Esta tecnología permite generar energía eléctrica mediante turbinas a gas natural acopladas a un

generador y la energía térmica requerida por los sistemas de absorción se obtienen exclusivamente de los gases de escape de la turbina mediante una caldera de recuperación de calor.

## 2.4.2 Características Energéticas a Cubrir

### 2.4.2.1 Demanda de Potencia Eléctrica

La demanda de potencia eléctrica máxima que se tiene que cubrir durante todos los meses del año es considerada de 7,7 MW, que pertenece a las cargas por iluminación y fuerza motriz del centro comercial. La demanda de potencia eléctrica requerida en el centro comercial durante un día normal de operación es variable como se ilustra en los gráficos de las curvas de demanda eléctrica en el capítulo 1 y que se resumen en la Cuadro N° 2.2

**Cuadro N° 2.2**

Requerimiento de Potencia Eléctrica Diaria			
Horas	Duración (h)	Rango de Potencia (MW)	Tendencia
03 a 07	4	1,0	Constante
07 a 11	4	1,0 – 6,0	Creciente
11 a 21	10	6,0 – 7,7	Creciente – Constante
21 a 03	6	7,7 – 1,0	Decreciente

**Fuente : Propia**

A las características descritas anteriormente se considerará un factor de diseño para la planta de cogeneración de un 5% a 10% de la potencia máxima, esto permitirá salvaguardar contra eventuales sobrecargas en el sistema, y futuros crecimientos de la demanda de potencia.

### 2.4.2.2 Demanda de Potencia Térmica

Como se mencionó en el capítulo anterior el centro comercial durante los meses de diciembre a abril, tiene una demanda de potencia térmica que es cubierta con los sistemas de refrigeración por compresión con una demanda de potencia eléctrica máxima de 2 200 kW. Los sistemas de refrigeración por compresión mecánica del centro comercial, en global generan un coeficiente de rendimiento de 3.0 (COP = 3.0), esto con lleva a que la demanda máxima de potencia térmica del centro comercial es de 6 600 kW. La demanda de potencia térmica requerida por el centro comercial como se mencionó en la propuesta de solución se realizará con sistemas de refrigeración por absorción que utilizaran los gases residuales de las maquinas térmicas. Para seleccionar los equipos de absorción

se debe tener en cuenta que la carga térmica es variable durante el día y se necesitará equipos que funcionen de forma escalonada y se adapten a la demanda. El rango de potencias térmicas se ilustran en el cuadro N° 2.3

Cuadro N° 2.3

Período de Diciembre a Abril			
Requerimiento de Potencia Térmica Diaria			
Horas	Duración (h)	Rango de Potencia (MW)	Tendencia
08 a 12	4	0 – 4,0	Creciente
12 a 20	8	4,0 – 6,6	Creciente - Constante
20 a 22	2	6,6 - 0	Decreciente

Fuente : Propia

El equipo de refrigeración por absorción a seleccionar será aquel equipo que trabaje con el par de sustancias bromuro de litio y agua, estos equipos son utilizadas en aplicaciones de climatización debido a que la demanda de refrigeración no esta por debajo de los 5,5 °C. Se considera un factor de diseño para la instalación de refrigeración del 5% a 10% de la potencia máxima para salvaguardar contra eventuales sobrecargas y futuros crecimientos de la demanda.

#### 2.4.2.3. Cálculo de Parámetros Requeridos

Para la selección de tecnología requerida en la instalación de cogeneración aparte de las características técnicas y prestaciones de la tecnología generadora, es necesario también cuantificar la cantidad de energía térmica útil que se puede obtener con cada tecnología, para poder cubrir los requerimientos térmicos de la planta. La elección adecuada de uno de estos sistemas para una aplicación concreta se basan en cuatro parámetros fundamentales [Villares,2000, pp.37-41]:

- ❖ **Rango de Potencia.-** Como se describió en el punto anterior la demanda de potencia eléctrica del centro comercial es variable durante un día de operación, llegando a demandas de potencias máximas de 7 700 kW y se presenta durante todo el año. En el caso de la demanda máxima de potencia térmica es de 6 600 kW y se presenta solo durante 5 meses al año, debido a las altas temperaturas en los períodos de verano.
- ❖ **Horas de Funcionamiento.-** Las horas de funcionamiento de la instalación de cogeneración con requerimientos simultáneos de energía térmica y eléctrica se dan durante 5 meses al año, operando 12 horas

diarias durante 30 días al mes, que resulta 1800 horas por año. Cabe resaltar que esta cantidad de horas de operación, son considerando que el centro comercial trabaja a cargas medias máximas. Debemos resaltar que el suministro de energía eléctrica al centro comercial se da durante todo el año.

- ❖ **Nivel Térmico de Calor Necesario.-** El nivel térmico requerido para alimentar los equipos de absorción y cubrir una demanda máxima de 6 600 kW, tomando como base los equipos de absorción de bromuro de litio de simple efecto a vapor, con un ratio de producción de vapor de 2,3 kg/h a 2 bar por cada kW [European commission –Directorate General for Energy, 2001, pp. 8-10], se requerirá producir aproximadamente 15,18 Tn/h de vapor. Mientras en un equipo de doble efecto a vapor, el ratio es 1,4 kg/h a 8 bar [European commission –Directorate General for Energy, 2001, pp. 8-10], por cada kW requerido, necesitándose producir aproximadamente en total 9,24 Tn/h de vapor. Esto nos da un indicador del nivel térmico que se debe generar con la tecnología seleccionada para lograr producir la cantidad de vapor necesario, y lograr alimentar los equipos de absorción.
- ❖ **Relación Calor / Electricidad.-** La relación V/E permite visualizar la simultaneidad con que ocurren las demandas eléctricas y térmicas en una determinada instalación. Esto permite tener una clara idea de la magnitud de energía eléctrica y térmica que se debe generar con una determinada tecnología para cubrir las demandas simultáneas.

A continuación calculamos la relación V/E de la instalación, en donde:  
 $E = 7\,700 \times 1\,800 = 13\,860 \text{ MW.h}$ , para calcular el “V” requerido nos basamos en la referencia [Jutglar, 1996, p.91], asumiremos en el caso de equipos de absorción de simple efecto un COP = 0,65 y para un equipo de doble efecto un COP = 1,1 en donde  $\text{COP} = P_{\text{Refrigeración}} / P_{\text{Aporte}}$ , y el  $P_{\text{Refrigeración}} = 6\,600 \text{ kW}$ , que es la potencia de refrigeración que demanda la instalación, y el  $P_{\text{Aporte}}$  es la potencia térmica en forma de vapor o agua caliente requerido para los equipos de absorción. Aplicando la expresión anterior el  $P_{\text{Aporte}}$  para el caso de equipos de vapor de simple efecto es de 10 153 kW y para doble efecto es de 6 000 kW. Utilizando equipos de

doble efecto a vapor, al ser más eficientes, se logra obtener lo siguiente:

$$Q = 6\,000 \times 1\,800 = 10\,800 \text{ MW.h, por lo cual } V/E = 0,78.$$

### 2.4.3 Evaluación y Selección de Tecnología Adecuada

#### 2.4.3.1. Criterios de Selección

En este punto procederemos a evaluar y elegir la tecnología motriz principal de la instalación que permita cubrir los requerimientos energéticos requeridos por el centro comercial. Para ello se realizará una simulación de la instalación de cogeneración con ambas tecnologías con las denominaciones de alternativa “A” y “B”, y serán evaluadas según los siguientes criterios [Jutglar, 1996, pp.45-51]:

**A ) Características de Diseño:** La instalación de cogeneración como se mencionó en puntos anteriores, tendrá un funcionamiento escalonado, lo cual requerirá que los equipos trabajen a cargas parciales por varias horas, la tecnología escogida debe ser capaz de trabajar a cargas parciales con las menores pérdidas posibles (tecnología con mejores eficiencias a cargas parciales). Se debe tener como criterio importante que la tecnología trabaje con las menores pérdidas a consecuencia de cambios en las condiciones ambientales debido al cambio de estaciones.

**B) Números de Paros y Arranques:** Este criterio es muy importante al momento de seleccionar los equipos, porque debe tenerse en cuenta que cada arranque implica la existencia de un lapso de tiempo en que el régimen no es estacionario, lo cual equivale a pérdida de rendimiento del equipo, esfuerzos mecánicos mayores, mayor desgaste de algunas piezas y a consecuencia mayores costos de mantenimiento y disminución de la vida útil del equipo. En consecuencia se debe buscar que los equipos trabajen en un régimen lo más uniforme posible evitando paros y arranques demasiados frecuentes y/o equipos que tengan características de diseño que permitan trabajar con frecuentes arranques y paradas sin mermar su condición.

**C) Nivel térmico:** Se debe tener muy en cuenta que los equipos generadores de energía residual en el sistema de cogeneración (motores alternativos a combustión o turbinas a gas) proporcionen mediante el calor residual, el nivel térmico necesario para suministrar energía térmica (mediante agua caliente o vapor) a los equipos de refrigeración por absorción para cubrir la demanda de

energía térmica para climatización del centro comercial. Esto puede ser evaluado mediante el parámetro Calor /Electricidad

**D) Fiabilidad del Sistema:** Se debe evaluar también la disponibilidad del sistema para suministrar energía al centro comercial, evaluando el nivel de interrupciones circunstanciales, a lo largo del año, duración, frecuencia y su continuidad a medio y largo plazo, debido a que los clientes del centro comercial solicitan confiabilidad del sistema durante sus operaciones.

**E) Costos de Inversión y Mantenimiento:** Los costos de inversión es un parámetro muy importante a la hora de evaluar un proyecto, así como también los costos operativos que generan las instalaciones con las diferentes tecnologías, como costos de combustible, mantenimiento de equipos, personal de operaciones, etcétera.

**F) Aspecto Ambiental:** Se debe evaluar el grado de contaminación producida por las tecnologías, contaminación del aire, suelo y ruido, que son parámetros muy importantes a la hora de aprobar un proyecto.

#### 2.4.3.2 Equipos Pre-Seleccionados para Evaluación

Los equipos pre-seleccionados de cada tecnología tendrán la denominación de alternativa "A" para los moto generadores y "B" para los turbogeneradores. Los equipos pre-seleccionados se muestran en el cuadro N° 2.4

**Cuadro N° 2.4**

#### Características de Equipos Pre-Seleccionados

Características	Unidades	Alternativa "A"	Alternativa "B"
Tipo de Tecnología	-	Moto generadores	Turbogeneradores
Fabricante	-	Caterpillar	Solar Turbine
Modelo de Equipo	-	Cat G3520C	Centaur 40-700
Cantidad de equipos de cada Tecnología	Uni.	4	3
Potencia Eléctrica Según ISO	kW	2 055	3 515
Frecuencia	Hz	60	60
Combustible		Gas Natural	Gas Natural
Demanda Máxima de Instalación	kW	7 700	7 700

**Fuente :** Caterpillar y Solar Turbine

La capacidad y/o otras características de los equipos seleccionados que se muestran en el cuadro anterior son proporcionados por los fabricantes (véase

anexo N°6 y N°7) según condiciones establecidas por la Organización Internacional de Estándares (ISO) a las siguientes condiciones:

**Cuadro N° 2.5**

Condiciones Según Normas ISO			
Descripción	Unidades	Alternativa "A"	"Alternativa "B"
Tipo de Tecnología	-	Moto generadores	Turbogeneradores
Según	ISO	3046/1	2314
Temperatura Ambiente	°C	25	15
Altitud	msnm	A nivel del mar	A nivel del mar
Presión Barométrica	kPa	100	100
Humedad Relativa	%	30	60

**Fuente : Fabricante Caterpillar y Solar Turbine**

### 2.4.3.3 Cálculo de Potencia Efectiva de Equipos

#### A) Condiciones Ambientales de Instalación

Es necesario conocer las características de funcionamiento de los equipos pre seleccionados a condiciones de "situ" en donde estarán en operación o donde la planta será instalada, debido a que las condiciones ambientales afectan el rendimiento o performance de los equipos. Como primer paso para evaluar que tanto son afectados los equipos, definiremos las condiciones ambientales del sitio donde será instalada la planta de cogeneración en el cuadro N° 2.6:

**Cuadro N° 2.6**

Condiciones Ambientales en Sitio de Instalación		
Características	Unidades	Cantidad
Altitud	msnm	133
Presión Barométrica	kPa	100
Temperatura Anual media máxima	°C	21
Temperatura media Anual Mínima	°C	17
Humedad Relativa Media	%	60

**Fuente : SENAMHI**

#### B ) Metodología de cálculo de la Potencia Efectiva

La metodología a emplear para el cálculo de la potencia efectiva se basa en el Procedimiento Técnico del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional del Perú (COES-SINAC) que establece el procedimiento de medición y cálculo de la potencia efectiva de unidades termoeléctricas que integran el COES. La metodología considera a las plantas de cogeneración que utilizan gas natural como energía primaria, por lo que se podrá tratarse de motores a gas reciprocantes o turbinas a gas. La potencia neta en base a la

“Organización Internacional de Estándares “(ISO) deberá corregirse para las condiciones de temperatura media anual y de altura sobre el nivel del mar existente en el lugar de instalación, lo que nos permite conocer la potencia efectiva ( $P_{EF}$ ) mediante la siguiente expresión:

$$P_{EF} = P_{ISO} \times F_{CT} \times F_{CH} \dots\dots\dots (1)$$

$P_{EF}$  = Potencia Efectiva, que incluye correcciones por temperaturas y altura.

$P_{ISO}$  = Potencia a máxima carga de la planta en condiciones ISO (kW)

$F_{CT}$  = Factor de corrección por temperatura ambiente.

$F_{CH}$  = Factor de corrección por presión ambiente.

**C) Cálculo de Potencia Efectiva**

**Alternativa A: Moto generador “CAT G3520C en condiciones de Sitio**

Para definir la capacidad de los equipos en condiciones de situ, primero es necesario definir los factores de corrección por condiciones ambientales que se obtienen con información proporcionada por el fabricante, véase cuadro N° 2.7:

**Cuadro N° 2.7**

		Factor de Deration - Altitud y Refrigeración												
Temperatura de Aire al Turbo °C	50	1.00	1.00	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.8	0.77	0.74	0.71	0.69	0.66
	45	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.91	0.88	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73	0.7
	40	1.00	1.00	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.73
	35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.93	0.91	0.88	0.85	0.82	0.79	0.77	0.74
	30	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76
	25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.82	0.79	0.77
	20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.78
	15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.82	0.80
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	
Altitud (msnm)	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	

**Fuente : Moto generador Caterpillar G3520C**

De acuerdo a la tabla proporcionada por el catalogo del moto generador Caterpillar G3520C, se obtiene el factor de corrección o deration por altitud y temperatura para las condiciones de altitud de 133 msnm y temperatura media de 21 °C obteniéndose el siguiente factor:  $F_{CT} \times F_{CH} = 1$

Luego aplicando la expresión... (1) encontramos la capacidad del equipo en el sitio de instalación como se muestra a continuación:  $P_{EF} = 2\ 055 \times 1 = 2\ 055\ kW$ .

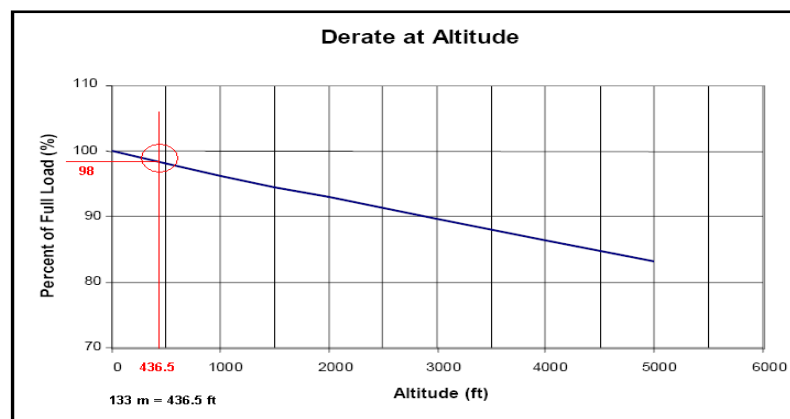
A las condiciones del sitio donde se instalara la planta de generación, los moto generadores no son afectados en su capacidad por los factores ambientales.

### Alternativa B: Turbogenerador “Centaur 40” en condiciones de Sitio

Para definir la capacidad de la planta en condiciones de sitio, primero es necesario definir los factores de corrección por condiciones ambientales que se obtienen con información proporcionada por el fabricante como se aprecia en el gráfico N° 2.5.

El gráfico N° 2.5 proporciona el factor de deration por altitud para las condiciones de 133 msnm, el factor de corrección es  $F_{CH} = 0,98$ . De la misma manera se obtiene el factor de corrección por temperatura mediante el grafico N° 2.6 a una condición de temperatura de 21 °C, resultando este valor  $F_{CT} = 0,965$ . Luego aplicando la expresión... (1) encontramos la capacidad del equipo en el sitio de instalación y por consecuencia la capacidad real del turbogenerador:  
 $P_{EF} = ( 3 515 ) \times ( 0,965 ) \times ( 0,98 ) = 3 324,13 \text{ kW}$

**Gráfico N° 2.5**  
**Factor de Deration por Altitud**

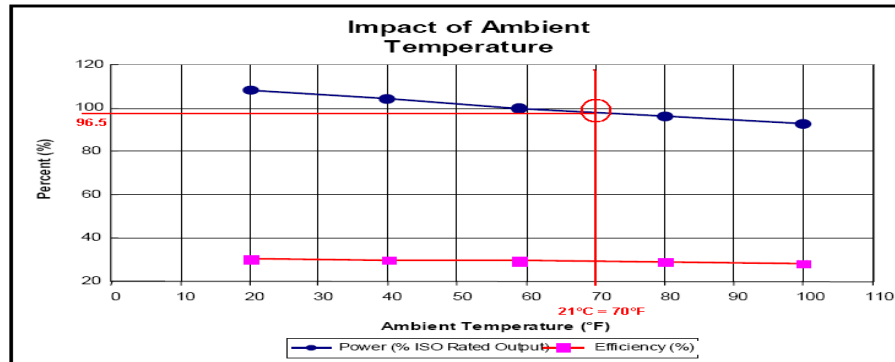


Source: Energy Nexus Group

**Fuente : Energy Nexus Group**

A las condiciones del sitio donde se instalara la planta de generación los turbogeneradores son afectados en su capacidad por los factores ambientales. Los turbogeneradores a diferencia de los moto generadores son mas sensibles a los condiciones ambientales, por lo cual tienen un efecto mayor sobre su capacidad de producción. Debido a lo mencionado anteriormente se solicitó mayor información al fabricante, lo cual se nos proporcionó una simulación del turbogenerador Centaur 40, operando a las condiciones ambientales del sitio de instalación, y variando los parámetros de temperatura ambiental y carga del turbogenerador (véase anexo N° 8 y N° 9). La simulación realizada considera todos los factores de corrección mencionados anteriormente.

**Gráfico N° 2.6**  
**Factor de Deration por Temperatura Ambiental**



Source: Energy Nexus Group

**Fuente : Energy Nexus Group**

#### 2.4.3.4 Evaluación de Tecnologías Pre-Seleccionados

Para seleccionar la tecnología adecuada se realizará una simulación de la instalación en operación con cada equipo pre-seleccionado, este análisis nos permitirá evaluar lo que implica seleccionar una de las tecnologías en estudio. La evaluación se llevará a cabo con los criterios de selección descritos en la sección anterior. Para realizar la simulación primero definimos las características de las instalaciones a condiciones de situ (véase cuadro N° 2.8):

**Cuadro N° 2.8**  
**Características de Instalaciones Pre –Seleccionadas**

Descripción	Unidades	Alternativa "A"	"Alternativa "B"
Tipo de Tecnología	-	Moto generadores	Turbogeneradores
Fabricante	-	Caterpillar	Solar Turbine
Modelo	-	G3520C	Centaur 40-700
Unidades Generadoras	Uni.	4	3
Capacidad Unitaria de Generadoras	kW	2 055	3 324
Capacidad instalada de Planta	kW	8 220	9 972

**Elaboración: Propia**

Se tomaran las siguientes consideraciones para realizar la simulación:

- La planta generadora de energía eléctrica solo cubrirá la demanda de potencia eléctrica debido a las cargas de iluminación y fuerza motriz del centro comercial, de forma modular y escalonada.
- Se considera las curvas de demanda de potencia eléctrica del período del mes de junio a septiembre como curvas modelo, debido a que

representan exclusivamente la demanda por iluminación y fuerza motriz y no por climatización como se mencionó en el capítulo 1.

- El centro comercial requiere energía eléctrica durante 360 días / año.
- La planta tendrá como criterio de control del sistema de cogeneración, seguir las curvas de demanda de potencia eléctrica de manera que siempre sea menor o igual a la demanda de potencia del centro comercial.

Realizada la simulación podemos realizar las siguientes comparaciones:

### **A) Características de Diseño**

Los equipos que conforman ambas instalaciones para cubrir la demanda del centro comercial, trabajan a cargas parciales en el rango del 100% al 50% de carga nominal, esto ocasiona que la instalación “A” opere a mejores condiciones de eficiencia debido a su característica de diseño [U.S. Environmental Protection Agency, 2001]. Esto se puede apreciar en el consumo de combustible (gas natural), la alternativa “A” cubre la demanda eléctrica con un consumo de combustible menor en un 35% al de la alternativa “B” (Véase los Cuadros N° 2.9 y N° 2.10).

### **B) Número de Paros y Arranques**

La instalación al tener un funcionamiento modular y escalonado debido a la demanda que tiene que cubrir, producirá continuos arranques y paradas en los equipos.

La alternativa “A” cuenta con equipos con características de diseño que permiten trabajar con sistemas de arranques y paradas continuas sin mermar considerablemente la vida útil de estos, a diferencia de la alternativa “B” que presenta una disminución de un tercio de su vida útil [Jutglar, 1996, pp.171-172] cuando presenta continuos arranques y paradas, a esto se agrega que la alternativa “A” presenta menores tiempos de arranque que la alternativa “B”. Como se muestra en los cuadros de comparación (véase cuadro N° 2.9 y N° 2.10).

### C) Fiabilidad de las Instalaciones

El centro comercial necesita asegurar operatividad durante todo el año, para ello la instalación de cogeneración debe poseer una confiabilidad alta para lograr satisfacer las necesidades del cliente en todo momento requerido, aun más si el objetivo principal es ser un centro autosuficiente energéticamente. A continuación calcularemos la fiabilidad de los sistemas propuestos por las 2 alternativas en análisis, para ello se aplicó la metodología estadística.

#### ❖ Metodología de Cálculo

Para ello utilizaremos el análisis estadístico mediante un modelo de distribución binomial que permitirá conocer cual es la probabilidad de falla de la instalación. Según referencia [ Flores, 2004, pp. 48-49 ] la distribución binomial está definida como  $B(n,p)$ , si en una experiencia aleatoria únicamente consideramos dos posibilidades, que ocurra el suceso "A" o que no ocurra ( $A^c$ , es el complemento de A), se trata de una experiencia dicotómica. Al suceso "A" se le denomina éxito y a la probabilidad de que ocurra se denomina "p", es decir  $p = P(A)$ . A la probabilidad de que no ocurra "A" ( $P(A^c)$ ) se le denomina "q", es decir  $q = 1-p$ , si repetimos "n" veces una experiencia dicotómica y llamamos "X" a la variable que cuenta el número de éxitos, resulta que: "X" es una variable discreta que puede tomar los valores 0;1;2;3;4;5.....n. Pues bien, a la distribución de probabilidad de la variable "X" se le llama Distribución Binomial  $B(n,p)$  y la probabilidad de que "X" tome el valor "k" es:

$$P[X = K] = \frac{n!}{k!(n-k)!} \times p^k \times q^{n-k} \dots\dots\dots(2)$$

Para el análisis se toman las siguientes consideraciones:

- "A"= Falla de una unidad generadora = Suceso de éxito.
- "p"=P(A)= Probabilidad de falla de una unidad generadora.
- "q"=1-p= Probabilidad de no falla de una unidad generadora.
- "n"= Número total de unidades generadoras instaladas.
- "K"= Número de unidades generadoras paradas por falla.

#### ❖ Cálculo de fiabilidad de Sistemas

Se describe las características y parámetros en los cuadros N° 2.11 y N° 2.12.

**Cuadro N° 2.11**

Descripción	Unidades	Alternativa "A"	"Alternativa "B"
Tipo de Tecnología	-	Moto generadores	Turbogeneradores
Fabricante	-	Caterpillar	Solar Turbine
Modelo	-	G3520	Centaur 40-700
Unidades Generadoras	Uni.	4	3
Capacidad Unitaria de Generadoras	kW	2 050	3 324
Disponibilidad de unidad Generadora	%	96	97
Capacidad Instalada de Planta	kW	8 220	9 972

**Fuente : Caterpillar y Solar Turbine**

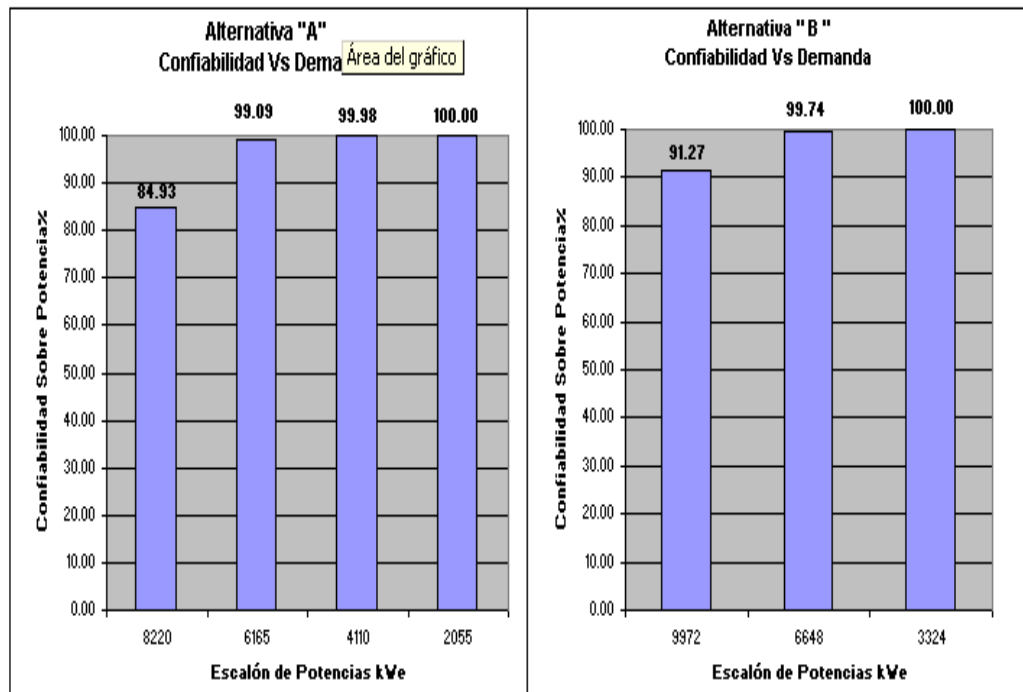
**Cuadro N° 2.12**

Identificación de Variables	Variables	Alternativa "A"	Alternativa "B"
Probabilidad de Falla de una Unidad Generadora	p	0.04	0.03
Confiabilidad de una Unidad Generadora q =1-p	q	0.96	0.97
Número Total de Unidades Generadoras Instaladas	n	4	3
Probabilidad de que una Instalación con "n" unidades generadoras "k" estén paradas por falla	P(X=K)	A calcular	A Calcular
Número de Unidades Generadoras Paradas por Falla	K	A definir	A definir

**Fuente : Caterpillar y Solar Turbine**

Al momento de tener todas las variables identificadas, procedemos al cálculo de la confiabilidad del sistema aplicando la ecuación... (2), y se obtienen los siguientes resultados que son mostrados en el gráfico N° 2.7. Evaluando los resultados obtenidos, la alternativa "B" es más confiable que la alternativa "A".

**Gráfico N° 2.7**



**Elaboración : Propia**

**D) Nivel Térmico**

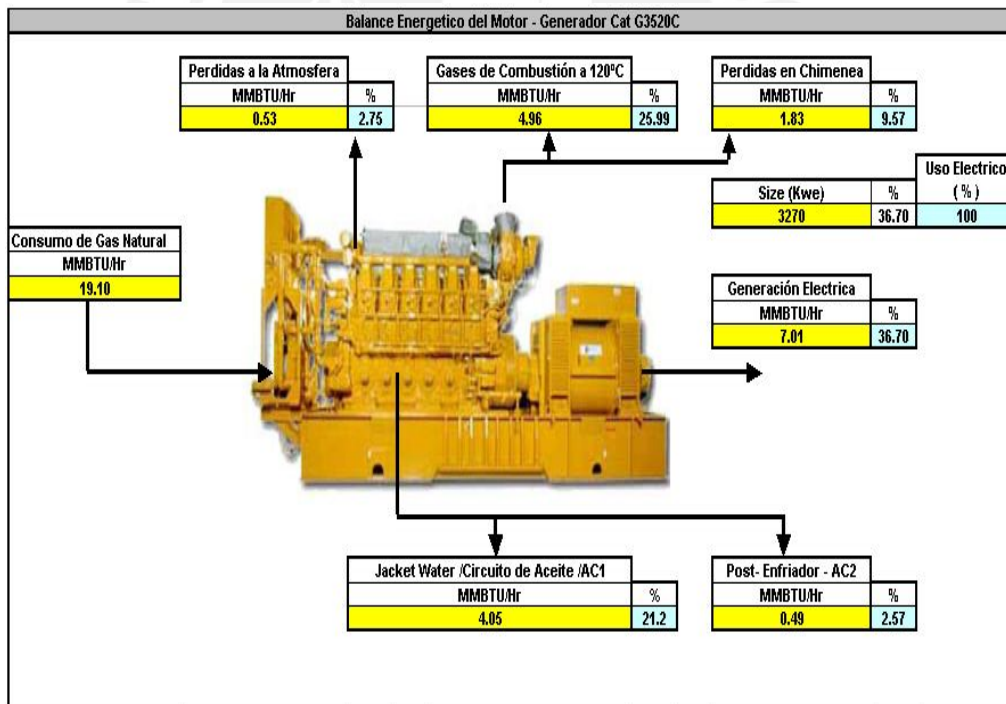
En este punto calcularemos la cantidad de energía térmica residual que proporciona los equipos en cada tecnología y que cantidad se puede recuperar y ser utilizados en la producción de vapor para la alimentación de los equipos de refrigeración por absorción como se describió en los puntos anteriores.

❖ **Balance Energético de Equipos**

**Alternativa “A”**

Primero realizaremos el balance energético del motor generador seleccionado para conocer las diferentes energías que proporciona este equipo, y que se aprovecharán para la producción de vapor. A continuación se presenta el balance energético del motor generador a gas natural G3520C (véase anexo N° 6):

**Gráfico N° 2.8**

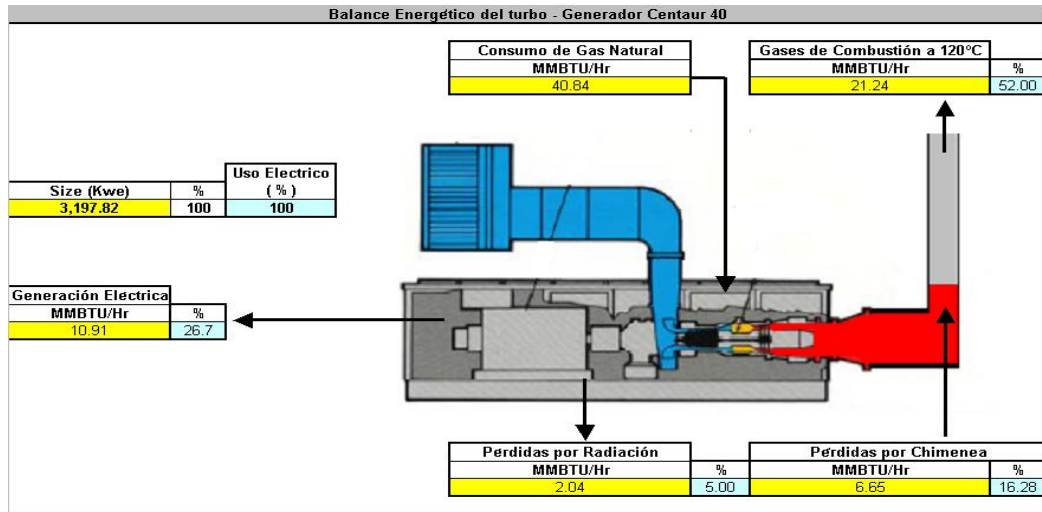


**Fuente : Caterpillar**  
**Elaboración :Propia**

**Alternativa “B”**

Para la turbina a gas de igual manera se realiza el balance energético de la turbina Centaur 40 para conocer las energías térmicas residuales:

Gráfico N° 2.9



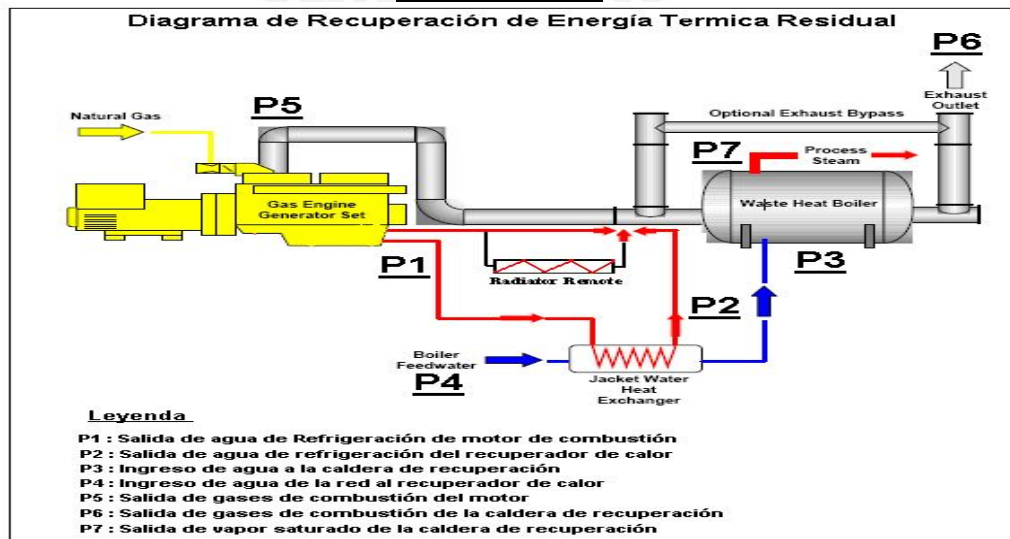
Elaboración : Propia

❖ Diagrama de Recuperación de Energías Térmicas

Luego de observar el balance energético de los equipos pre seleccionados, apreciamos que cuentan con energía residual que se aprovecharán para la generación de vapor. En este sección se realizará el cálculo de que cantidad de vapor se puede generar utilizando las energías térmicas residuales de los equipos preseleccionados para lo cual nos basaremos en diagramas de recuperación que se diseñaron, lo cual describen el proceso de recuperación de energía residual que permiten la obtención de vapor saturado a 10 bar (Gráfico N° 2.10 y N° 2.11).

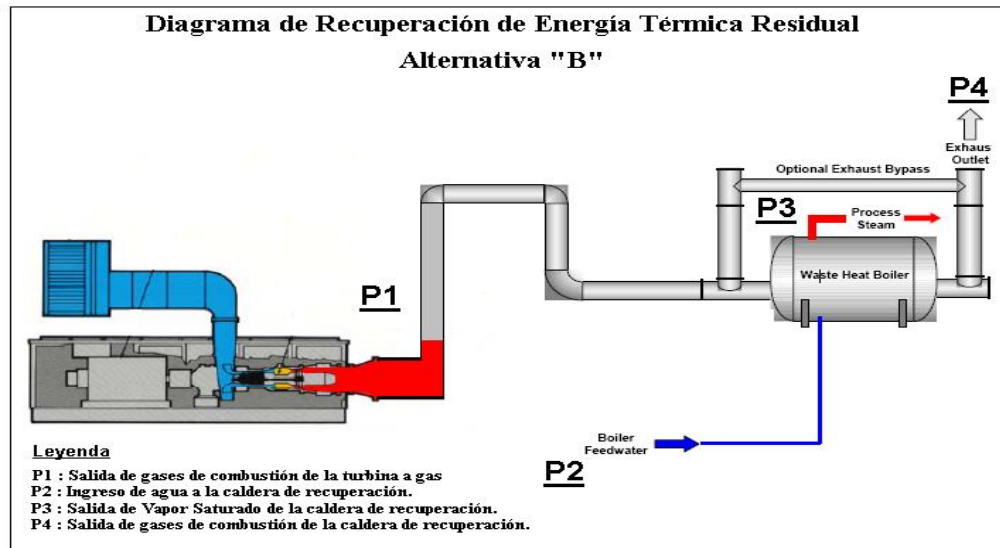
Gráfico N° 2.10

Alternativa "A"



Elaboración : Propia

Gráfico N° 2.11

Alternativa "B"

**Elaboración : Propia**

❖ **Cálculo de Producción de Vapor**

En este punto procederemos al cálculo de la cantidad de vapor saturado que se puede generar a 10 bar para lograr alimentar a los sistemas de absorción, para lo cual nos basamos en los diagramas de recuperación de energía térmica residual y en las siguientes consideraciones:

- Se usará para el cálculo los datos suministrados por los fabricantes de los equipos Pre-seleccionados (véase anexo N° 6;7;8 y 9)
- Para el análisis se aplicara el primer principio de la termodinámica, como herramienta fundamental en el cálculo:  $\dot{Q} = \dot{m} \times \Delta h$
- El análisis se realizara con los equipos trabajando a plena carga.
- La alimentación de agua para la producción de vapor se suministrara de la red a una temperatura de 15 °C que pasara por el intercambiador de calor del motor de combustión para luego ingresar a la caldera.
- Calor específico de los gases de combustión de ambos equipos se considera  $C_{pG} = 1,1 \text{ kJ /kg-K}$  [Jutglar, 1996, pp.76-82].
- La temperatura de salida de los gases de combustión de la caldera de recuperación se considerara 120 °C [Villares, 2000, p.96], debido al combustible empleado.

- El cálculo se realizará para cada alternativa de equipo pre seleccionado usando la siguiente nomenclatura que se muestran en el cuadro N° 2.13 .

Cuadro N° 2.13

Nomenclatura	
Calor específico de gases (kJ/kg-K)	$Cp_G$
Eficiencia Térmica de la caldera de recuperación (%)	$n_{cr}$
Eficiencia de recuperador de calor (%)	$n_r$
Temperatura en el punto "n" (°C)	$T_n$
Presión en el punto "n" (bar)	$p_n$
Entalpía específica en el punto "n" (kJ/kg)	$h_n$
Flujo másico en el punto "n" (kg/s)	$m_n$
Potencia térmica suministrada por gases de escape (kW)	$Q_{CR(Sumi)}$
Potencia térmica Útil a la salida de caldera de recuperación (kW)	$Q_{CR(Útil)}$
Potencia térmica suministrada por camisas del motor (kW)	$Q_R(Sumi)$
Potencia térmica Útil a la salida del recuperador de calor (kW)	$Q_R(Útil)$

Para realizar el cálculo de vapor saturado producido por la energía térmica recuperada en los equipos preseleccionados que conforman las instalaciones con denominación "A" y "B" se realiza de la siguiente manera:

Primero definir los parámetros en cada punto del sistema de recuperación de energía térmica para la producción de vapor. Los parámetros que se deben definir para realizar el análisis termodinámico son: temperatura, presión, entalpía específica, capacidad calorífica y flujo de masa en cada punto.

Luego establecidos los parámetros necesarios del sistema se procede al cálculo termodinámico para obtener el flujo de masa de vapor y eficiencias de equipos recuperadores. Al realizar los cálculos termodinámicos se obtiene la producción de vapor para cada tecnología preseleccionada como se muestra en los cuadros N° 2.14 y N° 2.15.

Para finalizar se calcula la cantidad máxima de vapor saturado que se obtiene para la instalación de denominación "A" y "B", esto se muestra en el cuadro N° 2.16

Cuadro N° 2.16

Producción de Vapor Saturado a 10 bar			
Descripción de Instalación	Unidades	Alternativa "A"	Alternativa "B"
Número de Módulos de Producción de Vapor	Uni.	4	3
Capacidad Máxima Unitaria por Modulo	Tn/h	2,13	9,0
Capacidad total de Producción de vapor	Tn/h	8,52	27

Elaboración : Propia

**Cuadro N° 2.14**  
**Alternativa “A”**

ANÁLISIS ENERGÉTICO MOTOR-G3520C					
<b>PUNTO 1 : P1</b>		<b>Unidades</b>	<b>PUNTO 2 : P2</b>		<b>Unidades</b>
T1	88	°C	T2	80	°C
p1	1.2	bar	p2	1.2	bar
h1	368.51	KJ/Kg	h2	334.91	KJ/Kg
m1	4.1	kg/seg	m2	4.1	kg/seg
<b>PUNTO 3 : P3</b>		<b>Unidades</b>	<b>PUNTO 4 : P4</b>		<b>Unidades</b>
T3	70	°C	T4	15	°C
p3	12	bar	p4	12	bar
h3	292.98	KJ/Kg	h4	62.99	KJ/Kg
m3	0.593	kg/seg	m4	0.593	kg/seg
<b>PUNTO 5 : P5</b>		<b>Unidades</b>	<b>PUNTO 6 : P6</b>		<b>Unidades</b>
T5	487	°C	T6	120	°C
p5	0.99	bar	p6	1.01	bar
h5	836.17	KJ/Kg	h6	432.47	KJ/Kg
m5	3.65	kg/seg	m6	3.65	kg/seg
<b>PUNTO 7 : P7</b>		<b>Unidades</b>	<b>Leyenda :</b>		<b>Parametros</b>
T7	170.43	°C			Conocidos
p7	10	bar			Asumidos
h7	2778.1	KJ/Kg			Calculo
m7	0.593	kg/seg			
Vapor	2.13	Tn/h			
<b>Análisis en caldera de recuperación</b>					
Por primera ley de la termodinámica					
$m_5 \times C_{p56} \times (T5-T6) = m_3 \times (h7-h3)$					
en donde : $m_5 = m_6, m_3 = m_7$					
$m_3 = (m_5 \times C_{p56} \times (T5-T6)) / (h7-h3)$					
$m_3 = 0.593$ kg/seg					
$Q_{CR(\dot{u}hl)} = m_3 \times (h7-h3)$					
$Q_{CR(\dot{u}hl)} = 1473.51$ Kwt					
$n_{CR} = Q_{CR(\dot{u}hl)} / Q_{CR(\dot{u}sumi)}$					
$n_{CR} = 73.35$ %					
<b>Análisis en Intercambiador de calor</b>					
Por primera ley de la termodinámica					
$m_1 \times (h2-h1) = m_3 \times (h3-h4)$					
en donde : $m_4 = m_3, m_1 = m_2$					
$m_1 = (m_3 \times (h3-h4)) / (h1-h2)$					
$m_1 = 4.1$ kg/seg					
$Q_{R(\dot{u}hl)} = m_3 \times (h3-h4)$					
$Q_{R(\dot{u}hl)} = 136.37$ Kwt					
$Q_{C(\dot{u}sumi)} = 134.63 / 0.96 = 140KWT$					

Elaboración :Propia

**Cuadro N° 2.15**  
**Alternativa “B”**

ANÁLISIS ENERGÉTICO TURBINA CENTAURUS 40					
<b>PUNTO 1 : P1</b>		<b>Unidades</b>	<b>PUNTO 2 : P2</b>		<b>Unidades</b>
T1	445	°C	T2	15	°C
p1	1.02	bar	p2	12	bar
h1	789.97	KJ/Kg	h2	62.99	KJ/Kg
m1	18.94	kg/s	m2	2.49	kg/s
<b>PUNTO 3 : P3</b>		<b>Unidades</b>	<b>PUNTO 4 : P4</b>		<b>Unidades</b>
T3	170.43	°C	T4	120	°C
p3	10	bar	p4	1.02	bar
h3	2778.1	KJ/Kg	h4	432.47	KJ/Kg
m3	2.49	kg/s	m4	18.94	kg/s
<b>Leyenda :</b>		<b>Parametros</b>			
		Conocidos			
		Asumidos			
		Resultado de Calculo			
Vapor	9.0	Tn/h			
<b>Análisis en caldera de recuperación</b>					
Por primera ley de la termodinámica					
$m_4 \times C_{p14} \times (T1-T4) = m_3 \times (h3-h2)$					
en donde : $m_1 = m_4, m_2 = m_3$					
$m_3 = (m_4 \times C_{p14} \times (T1-T4)) / (h3-h2)$					
$m_3 = 2.49$ Kg/seg					
$Q_{CR(\dot{u}hl)} = m_3 \times (h3-h2)$					
$Q_{CR(\dot{u}hl)} = 6771.05$ Kwt					
$n_{CR} = Q_{CR(\dot{u}hl)} / Q_{CR(\dot{u}sumi)}$					
$n_{CR} = 82.84$ %					

Elaboración :Propia

Se debe resaltar, que este cálculo es aproximado, y lo utilizamos solo para comparar ambas tecnologías, debido a que esta producción de vapor puede ser mayor o menor dependiendo de diferentes factores de diseño de los equipos.

Se puede concluir que la alternativa “B” permite generar mayor cantidad de vapor en una relación aproximadamente de 3 a 1. Según los ratios generados de equipos de absorción de doble efecto se requiere aproximadamente 9,2 Tn/h de vapor [European commission – Directorate General for Energy, 2001, pp.8-10] para cubrir la demanda deseada, lo cual la alternativa “B” cubre sin ningún problema, mientras la alternativa “A” genera una cantidad de vapor muy cercana a la requerida cubriendo un 90% - 95% de lo requerido, esto se evaluará de forma global con los otros factores importantes.

### **E) Costos de Inversión y Mantenimiento**

La inversión de capital para un sistema de cogeneración “CHP” con la tecnología de la alternativa “A” es menor que la alternativa “B”, evaluando para capacidades similares (véase anexo N° 10 y N° 11). El costo del mantenimiento de las tecnologías es mayor en la alternativa “A” que en “B”, esto incluye gastos de inspección, programas de mantenimiento menores y mayores. Se debe tener muy en cuenta en el caso de la instalación modular para el centro comercial el costo para la alternativa “B” se incrementa considerablemente debido a los constantes paradas y arranques que merman la vida útil del los equipos.

### **F) Aspecto Ambiental**

La utilización de gas natural como combustible más limpio, permite producir menos contaminación y lograr alcanzar los estándares ambientales establecidos. El rango de emisiones en la alternativa “A” es de  $\text{NO}_x < 300$  ppmv (ppmv = partes por millón de volumen) y  $\text{CO} < 500$  ppmv, mientras para la alternativa “B” están en el rango de  $\text{NO}_x : 20$  ppmv -150 ppmv y  $\text{CO}: 0$  ppmv - 50 ppmv, según referencia [U.S. Environmental Protection Agency, 2001].

#### **2.4.3.5 Selección Óptima de Tecnología**

Para la selección óptima de la tecnología realizaremos la asignación de puntajes que van de 0 a 5, siendo 0 el que menos satisface cada criterio y 5 el que mejor satisface. Además de asignar un puntaje a cada criterio, lo ponderaremos según el peso y la importancia de los criterios: Criterio Técnico 40%, Criterio Económico 40%, Criterio Ambiental 20% (véase cuadro N° 2.17).

De los resultados obtenidos en el cuadro N° 2.17 podemos concluir que la instalación con denominación "A" tiene mayor puntaje, lo cual se adapta mejor al trabajo requerido por el centro comercial.

**Cuadro N° 2.17**

Evaluación de Alternativas	Puntajes	
Criterios	Alternativas	
Criterios Técnicos	" A "	" B "
Eficiencia de Instalación / consumo de Combustible	4	1
Disminución de Vida Útil por Arranques y paradas continuas	4	1
Nivel Térmico Requerido	3	5
Fiabilidad de Instalación	4	4
Puntaje	3.75	2.75
Puntaje Total ( 40%)	1.5	1.1
Criterios Económicos	" A "	" B "
Costo de Instalación de Equipos	4	2
Costo de Mantenimiento de Equipos	3	4
Puntaje	3.5	3
Puntaje Total ( 40%)	1.4	1.2
Criterio Ambiental	" A "	" B "
Grado de contaminación Atmosférica	4	4
Nivel De Ruidos	3	4
Puntaje	3.5	4
Puntaje Total ( 20%)	0.7	0.8
<b>Puntaje Final</b>	<b>3.6</b>	<b>3.1</b>

**Elaboración : Propia**

## 2.5 Cálculo y Selección de Equipos para Generación de Vapor y Frío

El mercado ofrece equipos de refrigeración por absorción a agua caliente y a vapor como fuente de energía, de simple y doble efecto. Los equipos de absorción a agua caliente requieren mayor cantidad de energía que los equipos a vapor para cubrir una determinada carga térmica. Para el caso de la instalación de cogeneración, y utilizando la energía proveniente de los moto generadores, los equipos de absorción a agua caliente solo llegarían a cubrir entre el 50% a 60% de la demanda requerida. Por lo expuesto líneas atrás, se utilizará equipos de refrigeración por absorción a vapor para la Instalación de Cogeneración. A continuación se seleccionara calderas de recuperación, economizadores, intercambiadores y equipos de absorción a vapor.

### 2.5.1 Calderas de Recuperación del Calor de los Gases de Escape

La planta contara con 04 calderas de recuperación cada una con su respectivo economizador. La caldera de recuperación trabajará con un economizador que permita pre calentar el agua de alimentación proveniente del intercambiador de

las camisas de refrigeración del motor. A continuación se describirá los parámetros de la caldera y el economizador en trabajo a plena carga, basados en información técnica del fabricante (véase anexo N° 12 y N° 6).

➤ **Circuito Primario: Gases**

**Resumen de los Cálculos:**

- Flujo de masa de gases de Combustión:  $m_{GC} = 13\ 140\ \text{kg/h} \rightarrow 3,65\ \text{kg/s}$
- Calor introducido por gases:  $Q_{G\text{-Suministrado}} = 1\ 909\ \text{kW}$
- Restricción máxima en el motor: 60 mbar
- Temperatura de entrada de gases:  $T_E = 470\ \text{°C}$
- Temperatura de salida de gases:  $T_S = 205\ \text{°C}$
- Capacidad calorífica de gases:  $Cp_G = 1,114\ \text{kJ/kg-K}$
- $Q_{\text{Útil-C}} = m_{GC} \times Cp_G \times (T_E - T_S) = 3,65 \times 1,114 \times (470 - 205) = 1\ 077,51\ \text{kW}$
- $\eta_C = (100\% \times Q_{\text{Útil-C}}) / (Q_{G\text{-Suministrado}}) = (100\% \times 1\ 077) / 1\ 909 = 57\%$

➤ **Circuito Secundario: Vapor/Agua**

**Resumen de los Cálculos:**

- Temperatura de entrada de agua:  $T_E = 181\ \text{°C} \rightarrow h_E = 767,64\ \text{kJ/kg}$
- Presión de trabajo de vapor: 10 bar –11 bar
- Temperatura de salida de Vapor:  $T_S = 184,09\ \text{°C} \rightarrow h_S = 2781,7\ \text{kJ/kg}$
- Calor útil de circuito primario:  $Q_{\text{Útil-C}} = 1\ 077,51\ \text{kW}$
- $Q_{\text{Útil-C}} = m_V \times (h_E - h_S) \rightarrow m_V = 1\ 077,51 / (2\ 781,7 - 767,64) = 0,534\ \text{kg/s}$
- Producción de vapor:  $m_V = 0,534\ \text{kg/s} \rightarrow 1\ 922\ \text{kg/h} \rightarrow 1,922\ \text{Tn/h}$
- Producción de vapor Total a 8 bar  $\rightarrow 1,922\ \text{Tn/h} \times 4\text{uni.} = 7,688\ \text{Tn/h}$

## 2.5.2 Economizador

➤ **Circuito Primario: Agua**

**Resumen de los Cálculos:**

- Flujo de masa de agua:  $m_{ag} = 0,534\ \text{kg/s}$
- Temperatura de entrada de agua:  $T_E = 70\ \text{°C} \rightarrow h_E = 292,98\ \text{kJ/kg}$
- Temperatura de salida de agua:  $T_S = 181\ \text{°C} \rightarrow h_S = 767,64\ \text{kJ/kg}$
- Calor de útil:  $Q_{\text{Útil-E}} = m_{ag} \times (h_S - h_E) = 0,534 \times (767,64 - 292,98) = 253,46\ \text{kW}$

➤ **Circuito Secundario: Gases**

**Resumen de los Cálculos:**

- Flujo de masa de gases de combustión:  $13\ 140\ \text{kg/h} \rightarrow m_{GC} = 3,65\ \text{kg/s}$

- Temperatura de entrada de gases:  $T_E = 205 \text{ }^\circ\text{C}$
- Capacidad calorífica de gases:  $C_{pG} = 1,114 \text{ kJ/kg-K}$
- Calor útil:  $253,46 \text{ kWt} \rightarrow Q_{\text{útil-E}} = m_{GC} \times C_{pG} \times (T_E - T_S)$
- Temperatura de salida de gases:  $253,46 = 3,65 \times 1,114 \times (478,15 - T_S)$
- Temperatura de salida de gases:  $T_S = 415,81 \text{ K} \rightarrow 142,66 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\eta_E = (100\% \times Q_{\text{útil-E}}) / (Q_{E-\text{Suministrado}}) = (100\% \times 253,4) / 833 = 30\%$

### 2.5.3 Intercambiadores de calor

El motor para su correcto funcionamiento debe refrigerarse pero a la vez debe mantener una variación de temperatura de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  (recomendado por el fabricante) entre la entrada y salida de agua en el motor para que funcione de forma eficiente. A continuación se realizará el análisis térmico basados en la información proporcionada por el fabricante (véase anexo N° 6).

#### ➤ **Circuito Primario: Agua de Red para Alimentar la Caldera**

##### **Resumen de los Cálculos:**

- Temperatura de entrada de agua:  $T_E = 15 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_E = 62,99 \text{ kJ/kg}$
- Temperatura de salida de agua:  $T_S = 70 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_S = 292,98 \text{ kJ/kg}$
- Flujo de masa de agua:  $m_{ag} = 0,534 \text{ kg/s}$
- Calor Útil:  $Q_{\text{útil-IC}} = m_{ag} \times (h_E - h_S) = 0,534 \times (292,98 - 62,99) = 122,8 \text{ kW}$
- Notar que solo se esta aprovechando el 10% de la energía proporcionada por el sistema de refrigeración, esto limitada por la capacidad de generación de vapor de las calderas, pero la energía restante puede utilizarse para la producción de agua caliente para otros consumos.

#### ➤ **Circuito primario: Agua Caliente Proveniente de las camisas del motor**

##### **Resumen de los Cálculos:**

- Temperatura máxima a la salida de las camisas:  $90 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_S = 376,92 \text{ kJ/kg}$
- Temperatura máxima a la entrada de las camisas:  $82 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_E = 343,3 \text{ kJ/kg}$
- Calor a disipar en el motor:  $Q_{M-\text{Disipar}} = 1 \text{ 186 kW}$
- Flujo de masa de agua necesario:  $m_N = Q_{M-\text{Disipar}} / (h_S - h_E)$
- $m_N = (1 \text{ 186}) / (376,92 - 343,3) = 35,27 \text{ kg/s} \rightarrow 133 \text{ m}^3/\text{h}$

- **Equipo Remoto de Refrigeración:** Este intercambiador permitirá enfriar el agua caliente restante proveniente del motor, así como también trabajara cuando la Instalación de Cogeneración no requiera carga térmica o por

alguna eventualidad en los intercambiadores, logrando enfriar el agua hasta las condiciones óptimas para el funcionamiento del motor.

- Temperatura de salida:  $T_S = 82 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura de entrada:  $T_E = 90 \text{ }^\circ\text{C}$
- Calor a Disipar:  $Q_{M-Disipar} = 1\,186 \text{ kW}$
- Caudal de agua:  $133 \text{ m}^3/\text{h}$

#### 2.5.4 Selección de Equipos de Refrigeración por Absorción

La demanda térmica máxima para cubrir las cargas por climatización en la instalación de Cogeneración es de 6 600 kW, por ello se optó por seleccionar 02 máquinas de absorción de doble efecto a vapor de la marca Thermax de una capacidad nominal de 3 491 kW cada una (véase anexo N°13). La potencia térmica instalada es mayor que la requerida, esto nos permitirá cubrir futuros crecimientos de la demanda por lo cual se dimensionarán todo el sistema atendiendo a la capacidad de las máquinas. A continuación presentaremos los cálculos realizados para la máquina.

##### ➤ Generador

En el generador se produce la transferencia de energía aportada por la fuente de calor, en este caso vapor.

##### A) Datos

- Potencia nominal del equipo:  $Q_{\text{Refrigeración}} = 3\,491 \text{ kW}$
- Temperatura de entrada de vapor a 8 bar:  $170,43 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_E = 2\,769,1 \text{ kg/s}$
- Flujo de masa de Vapor:  $8\,453 \text{ lb/h} = 3\,833,4 \text{ kg/h} = m_{VR} = 1,065 \text{ kg/s}$
- Temperatura de salida de condensado:  $T_S = 90 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_S = 376,92 \text{ kg/s}$
- Calor Útil:  $Q_{\text{Útil-G}} = m_{VR} \times (h_E - h_S) = 1,065 \times (2\,769,1 - 376,92) = 2\,547,6 \text{ kW}$
- Eficiencia del Generador:  $\eta_G = (2\,547,6 \times 100\%) / (1,065 \times 2\,769,1) = 86\%$
- Coeficiente de Rendimiento: COP

##### B) Cálculo de parámetro “COP” para el caso de máxima Carga :

$$\text{COP} = Q_{\text{Refrigeración}} / Q_{\text{Útil-G}} = 3\,491 / 2\,548 = 1,37$$

##### C) Resumen de los Cálculos:

- Calor útil en el generador:  $Q_{\text{Útil-G}} = 2\,547,6 \text{ kW}$
- Flujo de masa de vapor:  $m_{VR} = 1,065 \text{ kg/s}$
- Temperatura de entrada al generador:  $T_E = 170,43 \text{ }^\circ\text{C}$

- Temperatura de salida al generador:  $T_S = 90 \text{ }^\circ\text{C}$
- COP : 1,37

### ➤ Condensador

Al realizar los cálculos del condensador, será necesario controlar que la temperatura del agua de condensación sea la que maximiza el rendimiento. Esto debido que al reducir la temperatura del agua de condensación, también se reduce la temperatura del agua de absorción. Al ocurrir lo último cabe la posibilidad de que al descender la temperatura de absorción, el salto de la temperatura de la solución concentrada en el regenerador la lleve a alcanzar la zona de cristalización.

El descenso de la temperatura de condensación provoca también que la presión de condensación se reduzca aumentando la concentración de sal Li-Br y por ende aumentando las probabilidades de cristalización. Por todo lo mencionado líneas atrás es necesario controlar que la temperatura del agua de condensación sea superior a los  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  (véase anexo N° 13).

Definiremos los parámetros, para el caso de máxima carga:

#### A) Datos

- Caudal de agua:  $4\ 372 \text{ GPM} \rightarrow 993 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow m_{A-\text{COOLING}} = 274,73 \text{ kg/s}$
- Presión Máxima de agua:  $8 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow 8 \text{ bar}$
- Temperatura de entrada del agua:  $T_E = 29,4 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow h_E = 123,28 \text{ kJ/kg}$
- Temperatura de salida del agua:  $T_S = 35,6^\circ\text{C} \rightarrow h_S = 146,93 \text{ kJ/kg}$
- Temperatura de bulbo húmedo:  $T_{BH} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$
- La potencia necesaria para la torre de refrigeración:  $Q_{T-\text{Enfriamiento}}$

#### B) Cálculo de parámetro “Q” para el caso de máxima Carga:

$$Q_{T-\text{Enfriamiento}} = m_{A-\text{COOLING}} \times (h_S - h_E) = 274,73 \times (146,93 - 123,28) = 6\ 497,6 \text{ kW}$$

#### C) Resumen de los Cálculos:

- Potencia a disipar en la torre de refrigeración:  $Q_{T-\text{Enfriamiento}} = 6\ 497,6 \text{ kW}$
- Caudal de agua:  $993 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura de entrada del agua:  $T_E = 29,4 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura de salida del agua:  $T_S = 35,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura de bulbo húmedo:  $T_{BH} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$

### ➤ Evaporador

El análisis de los cálculos en el evaporador se realizará para la capacidad del 100% del equipo en función de los parámetros de la máquina y no del consumo:

#### A) Datos

- Potencia térmica:  $Q_{\text{Refrigeración}} = 3\,491 \text{ kW}$
- Temperatura de entrada del agua:  $T_E = 12 \text{ °C} \rightarrow h_E = 50,40 \text{ kJ/kg}$ .
- Temperatura de salida del agua:  $T_S = 7 \text{ °C} \rightarrow h_S = 29,39 \text{ kJ/kg}$
- Flujo de masa:  $m_{A-\text{CHILLED}}$

#### B) Cálculo de parámetro “m” para el caso de máxima Carga:

$$Q_{\text{Refrigeración}} = m_{A-\text{CHILLED}} \times (h_E - h_S) \rightarrow m = 3\,491 / (50,40 - 29,39)$$

$$m_{A-\text{CHILLED}} = 166,15 \text{ kg/s} \rightarrow 598 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### C) Resumen de los Cálculos:

- Potencia requerida para refrigeración:  $Q_{\text{Refrigeración}} = 3\,491 \text{ kW}$
- Flujo de masa de agua:  $m_{A-\text{CHILLED}} = 166,15 \text{ Kg/s} \rightarrow 598 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura de entrada del agua al evaporador:  $T_E = 12 \text{ °C}$
- Temperatura de salida del agua del evaporador:  $T_S = 7 \text{ °C}$

El vapor total requerido a 8 bar es de  $3,833 \text{ Tn/h} \times 2 \text{ uni.} = 7,66 \text{ Tn/h}$ , lo cual es cubierto por las calderas de recuperación.

### 2.5.5 Estación de Regulación de Presión y Medición Primaria (ERPM)

#### A) Suministro de Gas Natural a Instalación de Cogeneración

El suministro de gas natural para la instalación de cogeneración, se realizará mediante la construcción de un gasoducto secundario, que derivara de la troncal principal de acero de alta presión de 50 barg. El gaseoducto que se derivara hacia la Instalación de Cogeneración comprenderá dos tramos, el primer tramo estará comprendido entre el punto de conexión a la troncal principal y la estación de Reducción y Medición (ERPM). El segundo tramo estará comprendido entre la primera estación ERPM y una segunda estación de tratamiento de gas natural que permitirá obtener la reducción y filtrado de gas natural final que requieren los equipos en la instalación de cogeneración. La presión en el primer tramo del gasoducto secundario será de 50 barg, para las condiciones de operación, sin

embargo será diseñado para una presión mayor de 50 barg. El ducto en este tramo ira enterrada, y se construirá con tubos de acero sin costura de 8" Sch 80, con protección catódica sobre la base de ánodos de sacrificio de Zinc.

Antes de la primera Estación de Tratamiento de Gas Natural se contara con una válvula de cierre automático y una válvula monolítica, que establece el límite entre el ducto de propiedad del cliente (Instalación de Cogeneración) y la empresa distribuidora. La válvula de cierre automático mencionada permitirá el aislamiento del ducto secundario a la Instalación de Cogeneración, una vez detecte una disminución significativa de la presión normal en la línea secundaria, lo que indicaría la interrupción del abastecimiento.

La primera Estación de Regulación de gas natural, permitirá la reducción de presión de 50 barg a 4 barg, esta estación contara con filtros, válvulas de conexión, válvulas reguladoras de presión y medidores que permitirán abastecer de gas natural a la segunda estación de regulación en condiciones adecuadas. La primera estación contara también con un calentador de gas natural para evitar el fenómeno de congelamiento (Efecto Joule Thompson), por la reducción de presión que se produce en la estación de reducción. Esto debido a que por cada 2 barg de reducción se disminuye 1°C en la temperatura del gas natural. Si la disminución de la temperatura de gas natural es significativa se puede llegar a temperatura cercana al punto de rocío en el gas natural, ocasionando problemas en los equipos. Adicionalmente se congelarían las líneas de suministro de combustible por consecuente la interrupción de la operación. Por lo mencionado este calentador operara si la temperatura del gas natural baja significativamente. Se debe resaltar que la empresa distribuidora de gas, será la encargada de realizar la inversión de esta primera estación.

Entre la primera estación de tratamiento ERPM y la segunda estación de tratamiento, se tendrá un ducto de una longitud determinada. Este ducto también ira enterrado y se construirá con tuberías de acero sin costura de 8"Sch 40 con revestimiento de polietileno y con protección catódica sobre la base de ánodos de sacrificio de zinc. Este ducto cumplirá adicionalmente la función de reservorio de almacenamiento de gas natural que permitirá dar el tiempo necesario para efectuar las maniobras de parada de los grupos electrógenos, debido a problemas en el abastecimiento de gas natural.

La segunda estación de tratamiento de gas natural contara también con válvulas de conexión, regulación, bloqueo, filtros y medidores que permitirán reducir la presión de gas natural de 4 barg a 1 barg. Todos estos elementos descritos estarán dispuestos sobre un skid de estructura de acero que será instalado sobre una plataforma de concreto. A partir de esta segunda estación, se tendrá los ductos de abastecimiento hacia los grupos electrógenos, que suministrarán el combustible en tuberías de acero sin costura de 8 " Sch 40 en la rama principal, y de 4" Sch 40 en las ramas secundarias.

### B) Base de Referencias para Diseño de Instalaciones

- **INDECOPI. NTP 111.010.2003:** Gas Natural Seco. Sistemas de Tuberías para Instalaciones Internas Industriales.
- **INDECOPI. NTP 111.011.2006:** Gas Natural Seco. Sistemas de Tuberías para instalaciones internas residenciales y Comerciales.
- **ASTM A-53 –1998:** Standard Specification for pipe, Steel , Black and Hot Dipped, Zinc-Coated Welded and Steamless.

### C) Características de Instalación de Cogeneración

#### ➤ Consumo de gas Natural

Para diseñar la instalación de regulación se requiere saber cual es la demanda máxima de consumo de gas natural simultanea requerida por la planta de cogeneración para cubrir todos sus requerimientos. A continuación mostramos en el cuadro N° 2.18, el consumo de gas natural de la planta de Cogeneración:

**Cuadro 2.18**

Equipos	Consumo
	Nm3/h
Grupos Electrónico	2176
Caldera Convencional	113
Consumos Futuros	544
<b>Total</b>	<b>2833</b>

**Elaboración : Propia**

#### ➤ Presiones de Operación

Los grupos electrógenos requieren el suministro de gas natural a una presión de operación en el rango de 1 Psi a 5 Psi (0,0689 barg a 0,344 barg), así como también la caldera convencional que funcionará ante alguna eventualidad en las calderas de recuperación.

## D) Parámetros de Diseño de ERPМ

### ➤ Características del ERPМ

- Presión de entrada máxima: 5 bar ( Presión Absoluta)
- Presión de salida regulable: 1,4 bar – 2 bar ( Presión Absoluta)
- Presión de salida de operación: 1,6 bar (Presión Absoluta)
- Presión máxima admisible de operación: 2 bar ( Presión Absoluta)
- Volumen de diseño: 2 833 m<sup>3</sup>/h

### ➤ Elementos que conforman la ERPМ:

- Reguladores de presión. El sistema contara con dos trenes de regulación (uno de ellos de respaldo).
- Válvula de seguridad que se ajustara a una presión menor que la máxima presión permisible de operación.
- Medidor tipo turbina o rotatorio, que permitirá una medición mas exacta.
- Filtros con by-pass.
- Válvulas reguladoras con bloqueo incorporado y piloteadas.

## E ) Dimensionamiento del Sistema de Tuberías

La instalación debe ser dimensionada para conducir el caudal requerido por los equipos de consumo en el momento de máxima demanda. Se debe tener en cuenta las pérdidas de carga y la velocidad en los ductos. En el caso de las pérdidas de carga por accesorios como curvas, derivaciones, llaves, válvulas y otros, se utilizará la metodología de la longitud equivalente, que permite considerar estos elementos en cuanto a su pérdida en carga, es decir, transformar en un equivalente a metros de tubería que absorban esta pérdida de carga. Se considerara un 20% mas en metros lineales de tuberías.

Para realizar el dimensionamiento nos basaremos en esquema del sistema de tuberías de gas natural hacia los puntos de consumo (véase plano N°4).

En el Cuadro N° 2.19 podemos apreciar el dimensionamiento del sistema de tuberías de gas natural de la instalación, a la presión de diseño y a la de operación basada en la norma técnica **[INDECOPI. NTP 111.010.2003]**.

## 2.6 Diseño de Instalación de Cogeneración

### 2.6.1 Descripción de la Instalación

La instalación de cogeneración esta conformada por 04 grupos electrógenos de 2 055 kW cada uno, diseñada para bastecer los consumos de iluminación y fuerza motriz mediante un funcionamiento escalonado que permite cubrir la demanda en cada instante requerido por el centro comercial de forma eficiente. Además se cuenta con 01 grupo electrógeno en Stand by G3520C de capacidad 2 055 kW, que permitirá asegurar el suministro de energía ante alguna eventualidad de falla o en períodos de mantenimiento de algún equipo.

La instalación trabajará de forma aislada (generación eléctrica autónoma), lo que implica la necesidad del control de la tensión y la frecuencia en el generador.

Para lograr controlar las 2 variables descritas anteriormente la instalación contara con equipos de servicio y control que llevaran acabo las actuaciones pertinentes sobre los moto generadores para mantener constante los parámetros.

Cada motor cuenta con radiadores remotos para mantener y asegurar una temperatura de operación apropiada en el motor. El agua del circuito de refrigeración de alta temperatura del motor (refrigeración de chaquetas del motor) pasa por los intercambiadores de calor de placas del sistema de agua caliente de la instalación de cogeneración, y transfiere su energía al fluido (agua) que circula paralelo, que luego este último pasara a alimentar la caldera de recuperación. El sistema de refrigeración de baja temperatura (sistema de refrigeración del turbo) no es utilizado debido a sus bajas temperaturas del orden de 50 °C

Los gases de escape o combustión de cada motor pasaran por un silenciador antes de ingresar a la caldera de recuperación. Entre estos elementos se instala una válvula de regulación y de by pass, la que permite desviar el flujo de gases directamente a la chimenea, en el caso de que ocurra alguna eventualidad en la caldera de recuperación y/o no se requiera generar vapor.

Los motores se instalan en un edificio insonorizado (sala de motores), para cumplir la norma acústica. Así como también la sala de motores contara con ventiladores que inducirán la circulación de aire que permita el enfriamiento de los generadores que van acoplados a cada motor.

La instalación de cogeneración para lograr generar la fuente primaria para los equipos de refrigeración por absorción, cuenta con 04 calderas de recuperación tipo piro tubular, una caldera para cada moto generador, la caldera permitirá

generar vapor saturado a 10 bar con la utilización de la energía proveniente de los gases de combustión de cada motor, los gases de combustión ingresan a la caldera y transfieren la energía debido a su temperatura a otro fluido (agua) que pasa por un ducto secundario, logrando llevar a este último al estado de vapor. Esto se logra con la utilización de un economizador que precalienta el agua de alimentación de la caldera hasta una temperatura cercana a la temperatura de saturación del vapor.

Para cubrir la demanda de climatización del centro comercial durante los periodos de verano, la instalación contara con 02 equipos de refrigeración por absorción de 2 etapas, de 3 491 kW cada uno, que requieren 3,83 Tn/h de vapor saturado a 8 bares cada uno como fuente de energía primaria para funcionar, además la instalación contara con una torre de enfriamiento para cada equipo de refrigeración.

La demanda de vapor requerida, será cubierta por las calderas de recuperación con una producción de 1,922 Tn /h por cada caldera, además se contara con una caldera en Stand by con capacidad de producción de vapor de 1,5 Tn /h a 10 bar de presión. Esta caldera convencional será a gas natural y tiene como objetivo cubrir la demanda requerida de vapor ante alguna eventualidad de falla de alguna caldera de recuperación.

El sistema generador de vapor además de contar con caldera de recuperación por cada motor, cuenta con los equipos complementarios para una adecuada operación como, ablandadores propios, un desgasificador y un estanque de purgas. Los ablandadores retienen parte de las sales disueltas en el agua dura de forma que esta agua tratada (blanda), mas aditivos propios a este tipo de proceso no dañen la caldera. El desgasificador extrae del agua blanda los gases disueltos en ella, principalmente  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ , los cuales pueden corroer los circuitos de conducción de vapor y de retorno de vapor condensado. Un estanque de purgas recibe las purgas de la caldera disminuyendo las sales remanentes en el agua interior de la caldera a través de ciclos de purga del equipo, las sales se precipitan al fondo dependiendo del tratamiento químico al agua.

### 2.6.2 Equipos Seleccionados

En este punto describiremos los equipos con los que contara la planta de cogeneración:

- ❖ Cinco unidades moto generadoras **CATERPILLAR G3520C** de 2 055 kW, 04 unidades trabajando de forma continua y 01 en Stand by ( anexo N° 6).
  
- ❖ Cuadro unidades de calderas de recuperación **CERNEY / Vapor RG-CEY 1077/12** para trabajo con motores de combustión, cada una acoplada a un moto generador y con capacidad de producción 1,918 Tn/h de vapor a 10 bar (véase anexo N° 13)
  
- ❖ Cuatro unidades de Economizadores **CERNEY / MOD.CEY-EC 253/20**, (véase anexo N° 13).
  
- ❖ Una unidad de caldera pirótubular convencional **CERNEY /CM N1500/13**, con una capacidad de producir 1,5 Tn/h de vapor a 10 bar (véase anexo N° 14).
  
- ❖ Dos unidades **TWO-STAGE STEAM ABSORPTION CHILLERS THERMAX / SD70ACX** de 3 491 kW cada una(véase anexo N° 12).
  
- ❖ Cuatro unidades de intercambiadores de calor tipo **IC PLACAS**.
  
- ❖ Dos unidades de Torre de Enfriamiento **HD EQUIPAMENTOS, MODELO HD-26709-GRT-I** (véase anexo N°15)
  
- ❖ Equipos complementarios como gasificador térmico CEY-DG, tanque de purgas, equipo de dosificación química (véase anexo N°13)

### 2.6.3 Planos de Instalación de Cogeneración

En este punto se ilustra los diagramas de la instalación de Cogeneración.

- ❖ Diagrama de distribución de equipos en Planta (véase plano N° 1).
- ❖ Diagrama de flujo de Instalación de Cogeneración (véase plano N° 2).
- ❖ Diagrama Térmico de la Instalación de Cogeneración (véase plano N° 3).
- ❖ Diagrama de sistema de tuberías de gas Natural (véase plano N° 4).

### 2.6.4 Cálculo de Eficiencias de Instalación

En este punto calcularemos la eficiencia energética de la instalación de cogeneración según referencia [Gamma, 2004, pp. 94-95] y [Jutglar, 1996, p.33],

para ello se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$E_F G_\lambda = \frac{GE + V}{Q_C} \quad , \text{ en donde:}$$

- $E_F G_\lambda$  = Eficiencia energética de la planta de Cogeneración
- Energía Total Producida =  $GE + V$
- $V = CV + CA + CF + CO$
- En donde:
  1. Entrega de Energía Eléctrica =  $GE$  (en MW.h / Período)
  2. Entrega de Energía Térmica Total =  $V$  (en MW.h / Período)
  3. Entrega de Energía Térmica Vapor =  $CV$  (en MW.h / Período)
  4. Entrega de Energía Térmica en agua caliente =  $CA$  (en MW.h / Período)
  5. Entrega de Energía Térmica en gases calientes =  $CF$  (en MW.h / Período)
  6. Entrega de Energía Térmica en otras formas =  $CO$  (en MW.h / Período)
  7. Consumo de energía Primaria =  $Q_C$  (en MW.h / Período)

Para realizar el cálculo se debe tener las siguientes consideraciones:

- ❖ Las energías entregadas deberán estar en su forma de uso final. Lo cual no se considera a los gases calientes como energías en su forma si es que estos son utilizados posteriormente para producir vapor. En este caso debe considerarse la entrega de energía térmica en forma de vapor.
- ❖ Calculamos la eficiencia de la instalación de cogeneración en el periodo de requerimiento simultáneo de energía térmica y eléctrica que es de 5 meses, debido a que en los meses restantes del año la planta de cogeneración solo trabajara para cubrir requerimientos eléctricos.
- ❖ Para el cálculo se considera cuando la planta esta trabajando en el periodo de máxima carga eléctrica y térmica simultáneamente, que son durante 12 horas al día durante 30 días en un periodo de 5 meses.
- ❖ Para los cálculos se considera el poder calorífico del gas natural igual a 1 MMBTU /1000 pies<sup>3</sup>, que tienen un equivalente en 1MMBTU/28.316 m<sup>3</sup>.

Tomando en cuenta las consideraciones se calcula la eficiencia en diferentes periodos:

A ) La eficiencia durante los meses de cogeneración es :

$$E_F G_\lambda = \frac{GE + V}{Q_C}, \text{ en donde:}$$

- Energía eléctrica producida por los moto generadores:

$$GE = [ 7\,700 \text{ kW} \times (12 \times 30 \times 5)\text{h} ] = 13\,860 \text{ MW.h}$$

- Energía térmica útil en forma de vapor:

Vapor útil por cada caldera (Carga al 100%): 1 480 kW

Vapor útil por cada caldera (Carga al 80 %): 1 184 kW

en donde : CA+CF+CO = 0

$$V = CV = [(1\,480 \times 3 \text{ uni.} + 1\,184 \times 1 \text{ uni.}) \times (12 \times 30 \times 5) \text{ h}] = 101\,232 \text{ MW.h}$$

- Energía térmica generada por el combustible gas natural:

Energía aportada a cada moto generador (Carga 100%): 5 630 kW

Energía aportada a cada moto generador (Carga 80%): 4 504 kW

$$Q_C = [(5\,630 \times 3 \text{ uni.} + 4\,504 \times 1 \text{ uni.}) \text{ kW} \times (12 \times 30 \times 5) \text{ h}] = 38\,509 \text{ MW.h}$$

- La eficiencia de la instalación de cogeneración es:

$$E_F G_\lambda = \frac{GE + V}{Q_C} = [(13\,860 + 101\,232) / (38\,509)] \times 100\% = 62\%$$

B ) La eficiencia durante los meses donde no se cogenera es :

$$E_F G_\lambda = \frac{GE}{Q_C} \text{ en donde:}$$

$$GE = [ 7\,700 \text{ kW} \times (12 \times 30 \times 7)\text{h} ] = 19\,404 \text{ MW.h}$$

$$Q_C = [(5\,630 \times 3 \text{ uni.} + 4\,504 \times 1 \text{ uni.}) \text{ kW} \times (12 \times 30 \times 7)\text{h}] = 53\,912,8 \text{ MW.h}$$

$$E_F G_\lambda = \frac{GE}{Q_C} = (19\,404 \text{ MW.h} / 53\,912,8 \text{ MW.h}) \times 100\% = 36\%$$

C) Cálculo del Rendimiento Eléctrico Efectivo “REE” y Relación entre Energía Eléctrica y Calor Útil “C”.

Se realizará tomando como referencia “ El Reglamento de Cogeneración del Ministerio de Energía y Minas, en el Artículo 5º “, donde los parámetros se

calculan de la siguiente manera:

$$REE = \left( \frac{E}{Q_c - \frac{V}{0,9}} \right) \quad \text{y} \quad C = \frac{E}{V}$$

Donde:

- REE: Rendimiento eléctrico efectivo
- E: Energía eléctrica generadas en bornes de alternador (MW.h)
- $Q_c$ : Energía suministrada por el combustible utilizado ( MW.h)
- V: Cantidad de calor útil procedentes, exclusivamente de la central(MW.h)
- C: Relación entre energía eléctrica y calor útil

Para calcular la “REE” y la “C”, las energías serán calculadas en condiciones de operación en máxima capacidad efectiva de la central y una hora de operación continua según reglamento. Las energías son las siguientes:

$$E = ( 2\ 055\ \text{KW} \times 1\ \text{h} ) \times 4\ \text{uni.} = 8,22\ \text{MW.h}$$

$$Q_c = ( 5\ 630\ \text{KW} \times 1\ \text{h} ) \times 4\ \text{uni.} = 22,52\ \text{MW.h}$$

$$V = ( 1\ 480\ \text{KW} \times 1\ \text{h} ) \times 4\ \text{uni.} = 5,92\ \text{MW.h}$$

Utilizando la expresión descrita líneas atrás calculamos los parámetros:

$$REE = \frac{8,22}{22,52 - \frac{5,92}{0,9}} = 0,51 \quad \text{y} \quad C = \frac{8,22}{5,92} = 1,38$$

Para efectos de beneficios como central de cogeneración calificada, las centrales deberán acreditar valores de “REE” y “C” iguales o superiores a los indicados en el cuadro N° 2.20, según el Reglamento de Cogeneración del Ministerio de Energía y Minas, en el Artículo 5° .

**Cuadro N° 2.20**

Tecnología	REE según Tensión de Conexión al Sistema Eléctrico			C
	Menor a 1KV	1KV-33KV	Mayor a 33KV	
Motores de Combustión Interna	0.52	0.54	0.55	0.87

**Fuente : Ministerio de Energía y Minas**

La instalación de cogeneración del centro comercial no puede ser denominada como central de cogeneración calificada debido a que no cumple los requisitos establecidos por el Artículo 5º del Reglamento de Cogeneración. Al no cumplir con el artículo mencionado líneas atrás la instalación de cogeneración no puede acceder a los beneficios establecidos en el Artículo 6º del Reglamento de Cogeneración, en donde se establece que el precio de gas natural aplicable a centrales de cogeneración Calificadas, es el mismo precio que corresponde para generadores eléctricos.

### 2.6.5 Cálculo de Costos Operativos de la Instalación

A continuación se calculará el costo operativo que demanda la instalación de cogeneración para poder cubrir los requerimientos energéticos del centro Comercial, para ello debemos calcular los costos que están involucrados:

#### A) Costos de Combustible

Son los más significativos y son asociados a las condiciones de carga a la cual opera la instalación. Para la Instalación de Cogeneración el consumo de gas natural utilizada para cubrir la demanda requerida es de 887 340 Nm<sup>3</sup>/mes (véase cuadro N° 2.10), debemos resaltar que el comportamiento de todos los meses es muy similar con insignificantes variaciones, lo cual se puede concluir que el consumo de gas natural es de 106 480 80 Nm<sup>3</sup>/año.

Para calcular el costo por combustible la instalación de cogeneración tiene un consumo superior a los 300 000 Nm<sup>3</sup>/mes, lo cual tendría tarifa tipo "D" (véase cálculo en cuadro N° 2.22 y el anexo N°19) correspondiente a industria grande y el costo de combustible total anual sería de:

**Cuadro N° 2.21**

Tarifario "D" Regulado	
Costo de Combustible + Incluye IGV	
US\$ /Anual	S/. /Anual
2,060,133	6,133,425.20

**Elaboración :Propia**

### **B) Costos Fijos (US\$/año)**

Constituidos por la remuneración de los operadores, los costos varios asociados como ropa de trabajo, elementos de seguridad e insumos de escritorio, supervisión, etcétera. La instalación de cogeneración operará durante 3 turnos al día, se contara con operadores por cada turno con mayor presencia de personal en los 2 primeros turnos. Los operadores contarán con estudios técnicos de electromecánica y estarán capacitados para realizar la operación, mantenimiento menores y de rutina de los motores, calderas de recuperación, equipos de refrigeración para llevar a cabo las acciones en caso de eventualidades.

Para el caso de los grupos electrógenos la instalación contara con personal especializado de la empresa Ferreyros, que se encargara de la operación y mantenimiento de los grupos electrógenos durante las horas críticas de operación de la planta (12 horas /día). Esto engloba un gasto anual que hay que pagar a la empresa Ferreyros por los conceptos de sueldos y salarios, mobiliario y equipos de oficina, implementos de seguridad, herramientas especiales, gastos de oficina relacionado a uso de sistema Sis Web Caterpillar, Electronic Technician para monitoreo y operación de grupos y equipos de comunicación (véase anexo N° 16 ).

### **C) Costos Variables (US\$/año)**

Son los gastos de mantención de los diferentes equipos con los que cuenta la instalación, incluyendo mantenimientos preventivos, reparaciones programadas y por fallas inesperadas. Para el caso de los equipos como calderas de recuperación, intercambiadores, equipos de refrigeración y otros, se considerara un gasto constante anual debido a que no requieren grandes trabajos de mantenimiento debido a las horas que operaran.

En el caso de los grupos electrógenos se tendrán gastos variables (véase cuadro N° 2.23) durante los años debido a los diferentes mantenimientos preventivos, correctivos durante las horas de operación (véase anexo N°16).

Habiendo definido y cuantificado los diferentes costos, se presenta en el cuadro N° 2.24, el costo anual energético operativo de la instalación de cogeneración.

## 2.6.6 Inversión Económica de Planta de Cogeneración

Para poder evaluar el proyecto de cogeneración se requiere saber la inversión inicial que tendría que hacer el centro comercial, este último esta representado principalmente por la inversión en equipos, obras civiles e ingeniería, que se puede apreciar en el cuadro N° 2.25. Esta inversión inicial se logro calcular tomando como base las cotizaciones hechas por las diferentes empresas (véase anexo N°12; N°13; N°14; N°15; N°17)

**Cuadro N° 2.25**

<b>INVERSIÓN PARA INSTALACIÓN DE COGENERACIÓN</b>		
<b>SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
04 Calderas de Recuperación RG-CEY 1077/12	US\$	728,640
04 Economizadores CEY-EC 253/20		
Cuadro de Instalación Eléctricos		
01 Desgacificador Térmico		
Equipos Complementarios		
01 Caldera Convencional Cerney - Stand by	US\$	57,600
Sistema de Conductos de Gases / Conductos, Chimeneas, válvulas)	US\$	250,128
Ingeniería e Instalación de Equipos	US\$	282,960
Costo de Importación ( 30%)	US\$	395,798
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>1,715,126</b>
<b>INTERCAMBIADORES DE CALOR</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
04 Sistema de Agua Caliente IC Placas, Piping y Bombas	US\$	75,000
Impuestos (19%)	US\$	14,250
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>89,250</b>
<b>SISTEMA DE MOTOGENERADORES</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
05 Grupos Electrógenos, Caterpillar G3520C	US\$	4,565,300
Tableros /Celdas y suministros 480V	US\$	200,000
Ingeniería y Suministro Electromecánico	US\$	450,000
Impuestos (19%)	US\$	990,907
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>6,206,207</b>
<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
02 Equipos de Refrigeración por absorción Thermax / Trane	US\$	1,244,000
Costo de Importación ( 30%)	US\$	373,200
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>1,617,200</b>
<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
02 Torres de Enfriamiento HD-2670-GRT-I	US\$	147,760
Costo de Importación ( 30%)	US\$	44,328
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>192,088</b>
<b>Estación de Regulación de Presión y Medición</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Equipos y instalación	US\$	65,000
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>65,000</b>
<b>INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>
Obras Civiles y Administración	US\$	500,000
<b>TOTAL</b>	<b>US\$</b>	<b>500,000</b>
<b>TOTAL DE INVERSIÓN</b>	<b>US\$</b>	<b>10,384,871</b>

Fuente : Empresa: Ferreyros, Cerney, Thermax, HD Equipamientos

## CAPÍTULO 3

### EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

#### ANTECEDENTES

Esta unidad comprende la identificación y evaluación de los potenciales impactos positivos y negativos del desarrollo del proyecto, así como el desarrollo de planes o programas más adecuados para prevenir, mitigar y/o eliminar los impactos negativos, y maximizar los positivos, en las etapas de construcción, operación y cierre.

#### 3.1 Identificación de Impactos

##### 3.1.1 Generalidades

Para desarrollar de forma íntegra un determinado proyecto, es necesario que dentro de su planeamiento, diseño, y puesta en marcha, se introduzcan criterios ambientales, los mismos que permiten que estos se constituyan realmente en actividades realizadas y que ayuden eficazmente al desarrollo sostenible del proyecto. De esta manera es necesario contar con instrumentos que permitan no solo asegurar estas consideraciones ambientales durante toda su etapa, sino que además permitan garantizar la adecuada gestión.

La identificación de los impactos ambientales es uno de los puntos más importantes en un estudio de impacto ambiental, lo cual nos permite identificar los potenciales impactos en el ambiente en todo el período de vida del proyecto en estudio. El proceso a aplicar será de índole predictivo, que implica una serie de pasos y actividades previas sin las cuales no se podrá realizar una adecuada identificación de los mismos, estas actividades pueden resumirse en:

- Conocimiento del Proyecto y sus alternativas.
- Conocer el entorno donde se desarrollara el proyecto.
- Determinación de las interacciones entre el entorno.

Sin el conocimiento de los puntos descritos anteriormente, no es posible realizar la identificación de los impactos ambientales, ya que esta actividad se desarrolla en dos líneas paralelas, una que analiza el proyecto y la otra que analiza el entorno afectado por esta, para lograr identificar los factores del medio que presumiblemente serán alterados por aquellas acciones. Ambas líneas confluyen en una tarea destinada específicamente a la identificación de los efectos potenciales mediante la búsqueda de relaciones causa-efecto entre las acciones y los factores, utilizando para ello procedimientos técnicos adecuados.

Para realizar el estudio de impacto ambiental de la instalación de cogeneración, nos basaremos en las referencias [Cesel, 2006] y [Consultora Pacifico, 2004].

### **3.1.2 Métodos de identificación de Impactos Ambientales**

La identificación de los impactos se logra con el análisis de la interacción resultante entre los componentes del proyecto en estudio, y los factores ambientales de su medio circundante. En este proceso, se van estableciendo las modificaciones del medio natural que pueden ser imputables a la realización del proyecto, ya que ello permite ir seleccionando aquellos impactos que por su magnitud e importancia requieren ser evaluados con mayor detalle. Entre los métodos más utilizados es el denominado de matrices Causa-Efecto, estos son métodos de identificación y valoración que pueden ser ajustados a las distintas fases del proyecto generando resultados que permiten relacionar la causalidad entre una acción dada y sus posibles efectos sobre el medio.

### **3.1.3 Técnicas de Identificación de Impactos Ambientales**

#### **A. Lista de Verificación (Check List)**

Consiste en elaborar una lista de impactos potenciales, agrupándolos por aspectos ambientales, componentes del proyecto que lo causan o por las interrelaciones entre el proyecto y el medio natural. Estas listas pueden complementarse con instrucciones como presentar y usar los datos, con la conclusión de criterios explícitos para impactos de ciertas magnitudes de importancia. Los impactos así identificados deben ser descritos en forma concreta pero precisa, con la definición de los campos de acción respectivos, con el fin de evitar repeticiones o ambigüedades en cada uno de los conceptos descritos. Una vez preparada la lista se analiza cada uno de los impactos, en cuanto a su probabilidad de ocurrencia, importancia y magnitud, con el fin de seleccionar aquellos que deben ser analizados con mayor detalle como parte de

la evaluación global de impactos ambientales. La principal ventaja de los listados es su flexibilidad para incluir diversos arreglos de los factores ambientales en un formato muy simple, pero la desventaja es que, al ser demasiados generales, no permiten resaltar impactos específicos.

## B. Diagrama de Redes.

Los diagramas de redes es un método que integran las causas de los impactos y sus consecuencias a través de la identificación de las interrelaciones que existen entre las acciones causales y los factores ambientales que reciben el impacto, incluyendo aquellas que representan sus efectos secundarios y terciarios. Los análisis de redes son muy útiles para identificar los impactos previstos asociados a posibles proyectos. Las redes también nos pueden ayudar a organizar el debate sobre los impactos previstos del proyecto. Las presentaciones de los diagramas son especialmente útiles a la hora de comunicar la información sobre un impacto ambiental. La información que proporciona sobre los aspectos técnicos de la predicción de los impactos y sobre los medios para evaluar y comparar las alternativas. De este modo, el flujograma presenta la identificación de las interrelaciones que existen entre las acciones causales y los factores ambientales que reciben el impacto, incluyendo aquellas que representan sus efectos secundarios y terciarios.

## C. Selección de Componentes Interactuantes

Nos permite proceder a identificar y evaluar los potenciales impactos que serán generados por el desarrollo del proyecto sobre el ambiente y viceversa, es necesaria la selección de componentes interactuantes. Esto consiste en conocer y seleccionar las principales actividades del proyecto y el conjunto de elementos ambientales del entorno físico, biológico, socioeconómico y cultural que intervienen en dicha interacción. Para el análisis, se efectuó el desglose de éste en sus diferentes etapas, hasta la identificación de acciones, entendiendo estas últimas como la unidad capaz de establecer una relación causa-efecto con el entorno que lo rodea. Para la identificación de las acciones susceptibles de generar impactos se procedió a la desagregación del proyecto en lo siguiente:

- **Etapas:** Las que conforman la estructura vertical del proyecto.
- **Acciones:** Causa simple, concreto, directa, bien definida y localizable.

Es importante señalar, en este punto que solo se consideraron aquellas acciones

relevantes, es decir que pudieran desencadenar algún efecto en el ambiente, identificables y localizables, es decir aquellas con una definición nítida y concreta

#### ➤ **Etapas de Construcción**

Es la fase de mayor implicancia ambiental, pues las obras van a impactar sobre los componentes ambientales. Las acciones comprendidas en esta fase son:

- Construcción de campamentos temporales y accesos.
- Limpieza y nivelación de terreno.
- Desmonte y apertura del derecho de vía.
- Obras civiles y conexión de gasoducto.
- Disposición de material excedente.
- Traslado y montaje de equipos e instalaciones electromecánicas
- Tendido de la línea eléctrica de interconexión.

#### ➤ **Etapas de Operación y Mantenimiento**

Es el período durante el cual se han consolidado las obras y los equipos se hacen operativos:

- Operación y mantenimiento del gasoducto de abastecimiento.
- Operación y mantenimiento de equipos (motores, calderas y otros)
- Operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos y auxiliares.

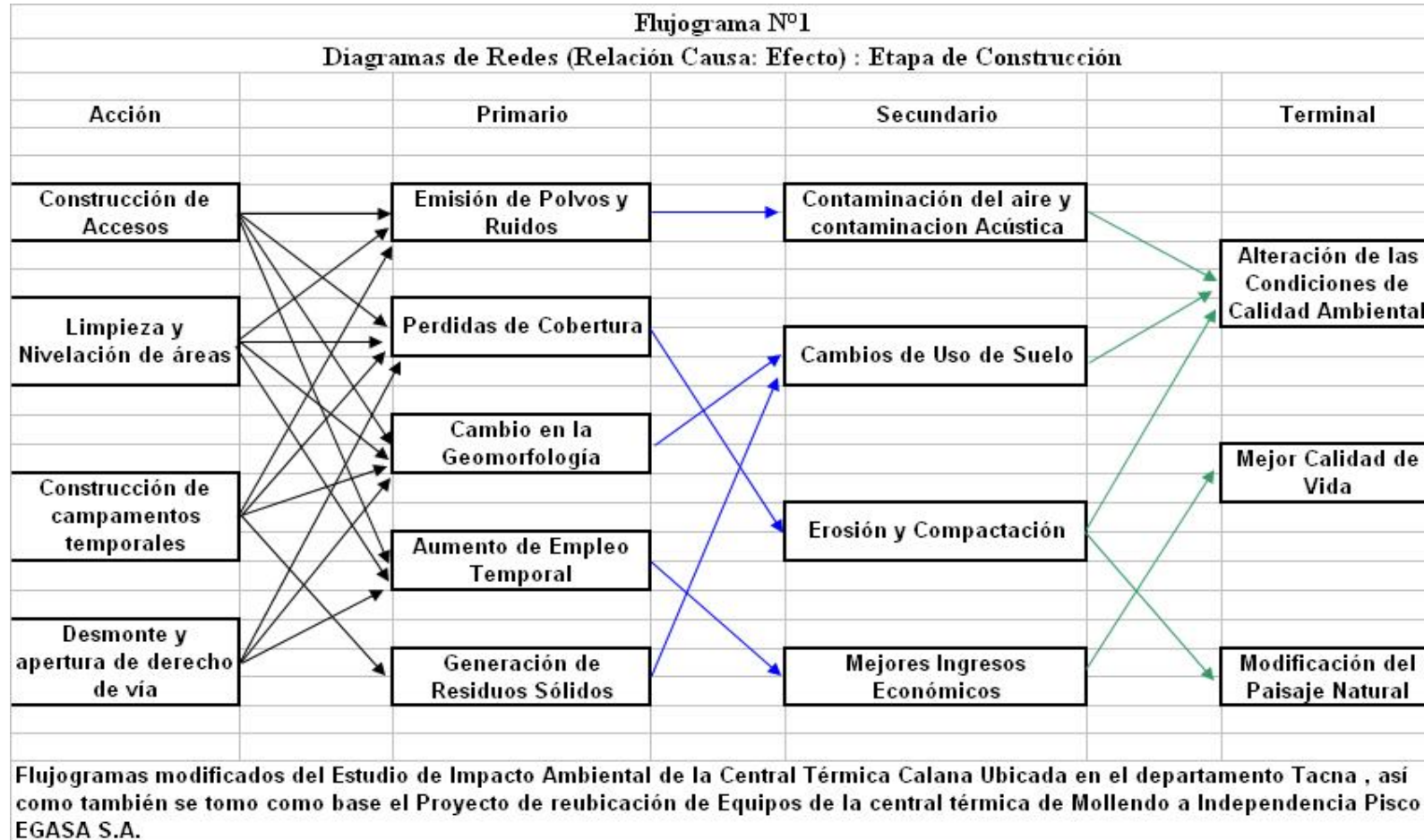
#### ➤ **Etapas de Cierre**

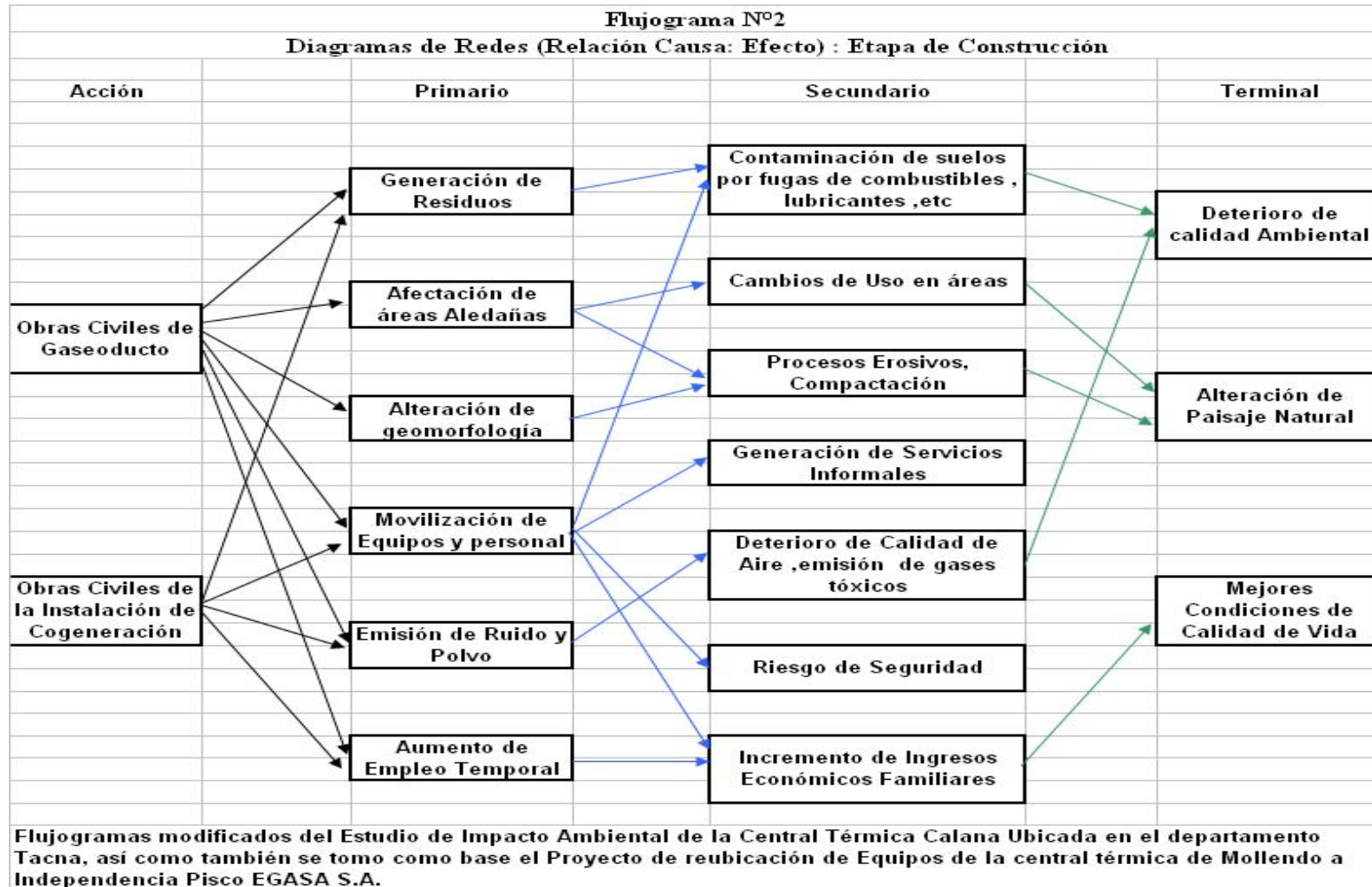
Etapas en la que deberá preverse en el caso que las circunstancias lo ameriten, o al término de su etapa operativa. Ello significaría las siguientes actividades:

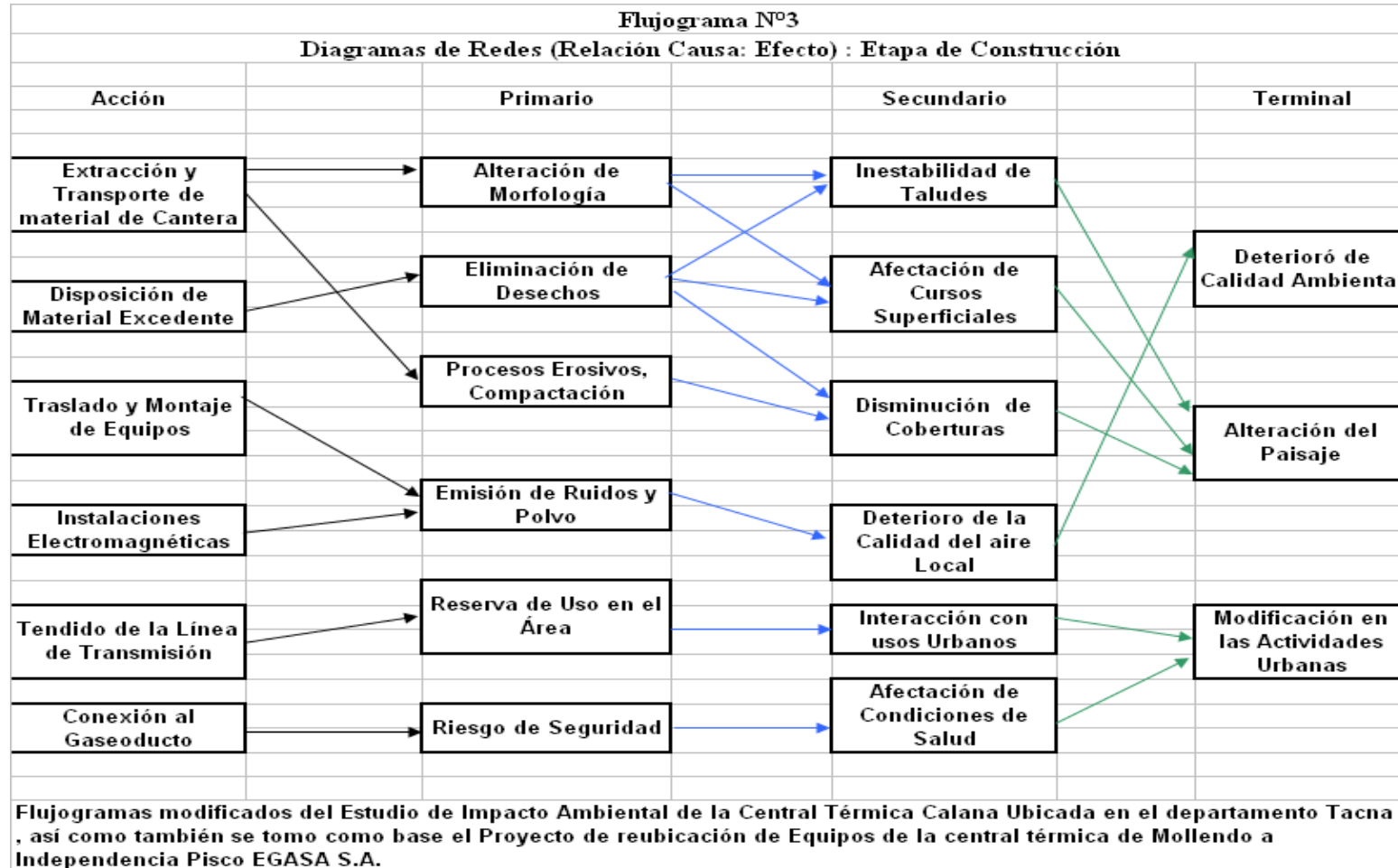
- Movilización de maquinaria.
- Desmantelamiento de instalaciones, equipos y demoliciones.
- Eliminación de escombros y disposición final de materiales excedentes.

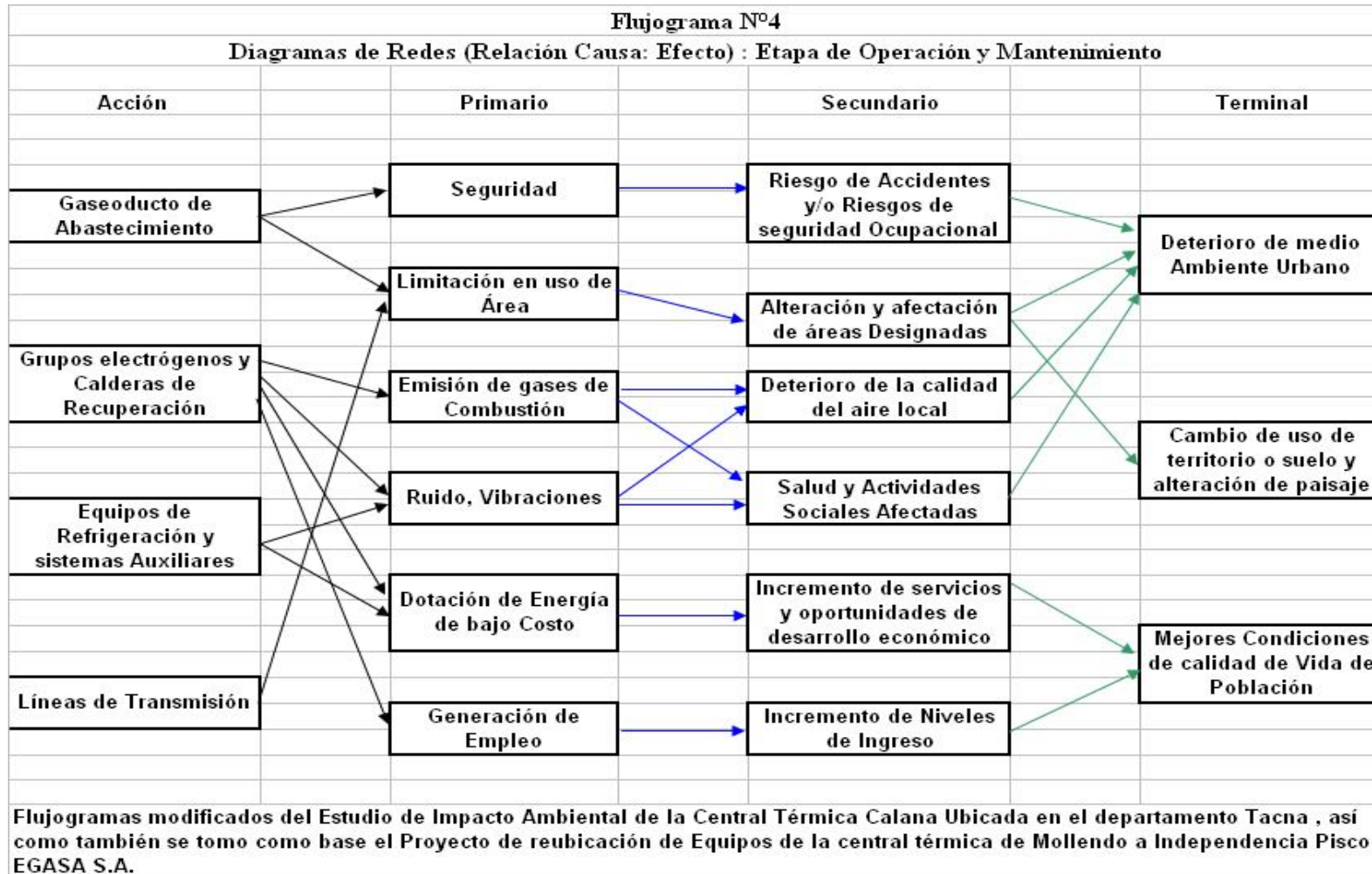
### **3.1.4 Identificación de Impactos Ambientales Potenciales**

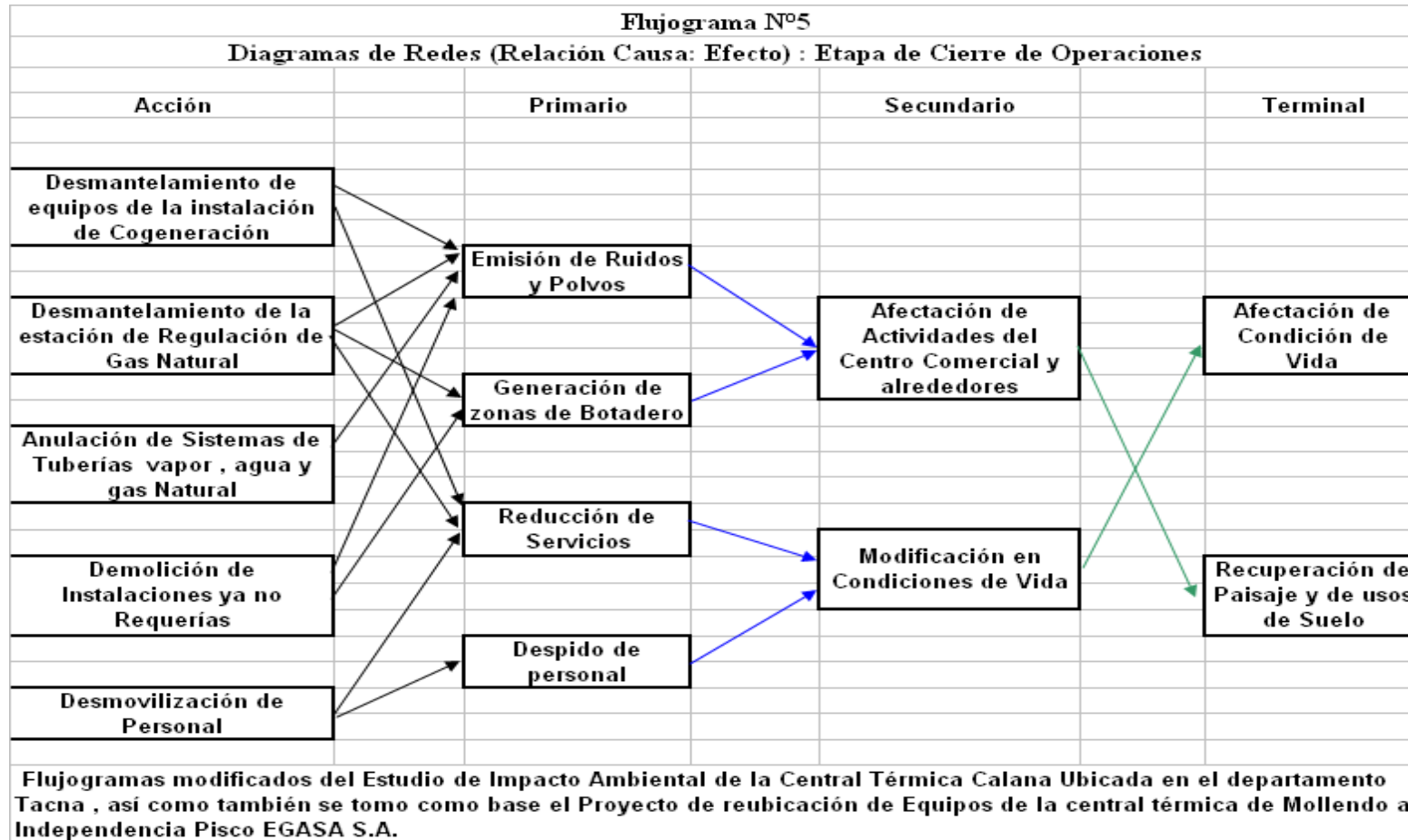
Para la identificación de impactos utilizaremos la técnica de encadenamiento secuencial o diagrama de redes que nos permitirá identificar los impactos. En los flujogramas N° 1;2;3;4;5 se presentan el encadenamiento de efectos en la fase de construcción, operación y cierre. Se debe indicar que algunas acciones y efectos se repiten ya que para el análisis de impactos se consideran de manera independiente cada una de las etapas del proyecto. Se debe resaltar que los flujogramas que se presentaran a continuación fueron elaborados, tomando como base de referencia [ Cesel , 2006 ].











## 3.2 Evaluación de Impactos Ambientales

Identificados los impactos ambientales se procede a su respectiva evaluación en las diferentes etapas del proyecto, sin embargo es evidente que para su total comprensión es necesario seleccionar aquellos impactos para los cuales se desarrollara las correspondientes medidas de manejo ambiental.

### 3.2.1 Etapa de Construcción

#### A. Medio Abiótico

##### ➤ **Componente Suelo**

Durante la etapa de construcción el suelo será uno de los componentes ambientales que se verá más afectado por la ejecución de esta etapa ya que al tendido del sistema de suministro de gas natural consiste principalmente en el movimiento de tierras y la adecuación del terreno para montaje de las tuberías enterradas. Estas tuberías estarán enterradas en el suelo a una profundidad de 1,5 m desde la estación de regulación primaria hasta los grupos electrógenos. Las tuberías enterradas correrán a lo largo de una zanja nivelada de modo que los tubos posean un apoyo firme en el fondo de esta. En esta etapa el terreno se encuentra expuesto a la actividad que se verá afectado por la presencia de maquinaria y equipo pesado para los diferentes trabajos. Esto último mencionado podría ocasionar procesos de compactación de suelo, lo que se traduce en cambios de la estructura física del suelo y con ellos pérdida de su calidad para otros usos. También se establecerán áreas para talleres y almacenes de materiales, que serán de uso temporal durante la etapa respectiva. Al finalizar las obras se prevé que serán restablecidos a sus condiciones originales.

Las diferentes actividades implicadas en el desarrollo constructivo ocasionarán además la generación de diversos tipos de residuos pudiendo ser estos de índole domésticos o municipal para aquellas provenientes de actividades humanas, como alimentación, aseo higiene, así como residuos de tipo industrial, generado por la actividad constructiva en particular y donde se podía identificar además residuos peligrosos ya sea por la inflamación u otros. Además se considera posible contaminación del suelo por derrames de combustibles, aceites, grasas provenientes de los equipos durante el proceso de construcción.

##### ➤ **Componente Aire (Calidad de Aire)**

Este componente es afectado por las emisiones de materiales y gases durante la

operación del proceso constructivo del proyecto, que engloba el tendido de tuberías y preparación de ambientes para la instalación de equipos. En esta etapa se prevé que la calidad de aire se vera afectada en forma temporal y focalizada, y que las fuentes potenciales están relacionada directamente con el movimiento de tierra, movilización de los vehículos de transporte y de personal.

### ➤ **Componente Ruido**

El funcionamiento de maquinaria pesada generan emisiones sonoras con decibeles mayores de 60 dB (véase cuadro N° 3.1) ocasionando molestias y estrés a la población en los alrededores a la zona. En general la percepción humana del ruido es de naturaleza tal que un incremento de 3 dB en el nivel de esta es casi imperceptible, un incremento de 5dB, si es perceptible y un incremento de 10 dB es como un incremento del 100% del nivel del sonido.

En las zonas urbanas, los niveles de ruido fuera de las instalaciones industriales deben limitarse de acuerdo al reglamento establecido. Estos niveles son similares en las diferentes ciudades del país y asciende a 60 dB, según el “ Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido “ dada por el Consejo Nacional del Ambiente. Tomando los niveles de ruido que se puede originar en la etapa de construcción (mayor de 60 dB), se puede considerar que en esta etapa se originara molestias moderadas a los vecinos en la colindancia del área del proyecto. Para evaluar los efectos producidos por los equipos, los niveles de ruidos que serán generados por cada máquina o instalación, han sido estimados sobre la base de los niveles registrados en la literatura técnica para fuentes similares (véase cuadro N° 3.1). Las actividades generadoras de ruido será debido a la excavación, el traslado de materiales extraídos, el cargue y descargue de materiales, la operación de equipos y los equipos de transporte de herramientas. La magnitud de Ruido de los equipos y el impacto de estos dependerá del tipo de actividades, del nivel de ruido generado por los diversos componentes de los equipos, la duración de la actividad, la distancia entre la actividad y los receptores al ruido. Se estima que el caso mas critico es cuando todos los equipos operen simultáneamente y continuamente durante las horas de gran concurrencia de personas. Los receptores críticos del ruido serán las personas que trabajan en el centro comercial en los alrededores del área de trabajo del proyecto, así como también las personas que concurren a realizar sus respectivas compras. Las actividades de construcción son de naturaleza temporal y se prevé que las actividades serán en las mañanas y tarde.

Cuadro N° 3.1

Emisiones Típicas Máximas de Niveles de Ruido		
Nivel Máximo de Ruido (dBA) a 16m de la Fuente		
Actividad	Equipos	Rango de Nivel de Ruido (dBA) a 60m
Equipo Estacionario	Compresores	64-75
	Generadoras	59-70
	Bombas	57-59
	Soldadoras	56-76
Manejo de Materiales	Cargador Frontal	65-85
	Grúas	64-76
	Bombas de Concreto	69-71
	Concreteras	62-75
	Camiones Livianos	45-65
Limpieza de Terreno	Camiones Pesados	57-77
	Retroexcavadora	65-85
	Camión Volquete	70-82
Nivelación	Bulldozer	65-84
	Niveladora	68-81

Fuente : Agencia de Protección Ambiental de los EEUU - 1972

#### ➤ Componente Agua

Los incrementos de agentes contaminantes por el efecto del movimiento de tierras, por los vertidos de sólidos contaminantes, así como la posible contaminación por el arrojado de desechos, son impactos identificados sobre las aguas que fluyen para el riego de áreas verdes.

#### B. Medio Biótico

##### ➤ Flora

En la parte de flora, se ha identificado pequeños impactos, principalmente en algunas áreas verdes con las que cuenta el centro comercial debido a los trabajos a realizar y al vertido de sólidos contaminantes.

##### ➤ Fauna

No se ha identificado en el área del proyecto especies animales, que puedan ser afectados sus hábitats con el desarrollo del proyecto.

#### C. Medio Socio Económico

##### ➤ Componente Social

Durante la etapa de construcción uno de los parámetros sociales que se verán afectados, son de salud y seguridad de las personas que trabajan en el centro

comercial, así como también las personas que concurren a realizar diferentes actividades que ofrece el centro. De este modo durante la etapa de construcción la salud de los trabajadores y clientes del centro comercial puede verse afectada por la emisión de polvareda y humos de las maquinarias, así como el riesgo de accidentes laborales, típicos de este tipo de actividades.

En cuanto a la emisión de polvaredas y polvos, estos serán productos de la actividad constructiva durante el movimiento de tierras que ocasionara el levantamiento de partículas que permanecerán suspendidas en el aire, pudiendo ser transportadas a los diferentes lugares cercanos al sitio de trabajo y respiradas por la población. Se estima que los efectos en la salud por la construcción de carga de contaminantes en cuanto a partículas en suspensión se refiere, serán poco significativos, siendo los trabajadores los que más estén expuestos a este tipo de impacto. Adicionalmente debe indicarse que las maquinarias requeridas para el desarrollo de las actividades constituyen puntos de emisión de gases de combustión, los cuales a su vez poseen efectos en la salud de la población así como también en los ecosistemas expuestos al grado de contaminación, todo esto esta relacionado con el grado de emisiones y con la eficiencia de combustión de la maquinas, año de antigüedad y tipo de combustible. Se espera que el grado de afectación en la salud de la población sea de poca significación.

Por otro lado los potenciales impactos a la salud de la población esta relacionado con el manejo de residuos sólidos. Durante la etapa constructiva, se instalara campamentos temporales donde se deberá diseñar las medidas necesarias para el manejo de aguas residuales, así como los residuos sólidos de tipo domestico e industrial. Este tipo de residuos deberá ser adecuadamente seleccionado y manejado evitando efectos perjudiciales a la salud.

Durante la etapa de construcción se puede ocasionar ciertos conflictos sociales principalmente por la construcción del gaseoducto de interconexión y la red interna en el centro comercial, ya que atravesara en algunas partes de su recorrido, pistas, senderos que afectan el libre transito de la población que concurre al centro comercial. De este modo durante la fase de construcción el tendido de tuberías será cercado produciendo una interrupción física del desplazamiento y circulación de personas y vehículos. De la misma manera ocurrirá durante la construcción de las diferentes áreas de la instalación de Cogeneración.

➤ **Componente Económico**

Dada las características de la obra a realizar, la construcción dará lugar primordialmente a posibles fuentes de trabajo temporal, además de aquellas fuentes de trabajo relacionadas con el entorno del proyecto.

➤ **Componente Cultural Estético (Paisaje)**

Durante la fase de construcción, las actividades que se realizaran disminuirán la calidad estética del lugar, sin embargo, este impacto es temporal ya que solo será evidenciado en las labores de esta fase.

### 3.2.2 Etapa de Operación y Mantenimiento

#### A. Medio Abiótico

➤ **Componente Aire**

Durante la etapa de operación los grupos electrógenos son considerados fuentes importantes de emisiones atmosféricas y pueden afectar la calidad del aire en el aire local. La combustión que ocurre en estos proyectos con gas natural emite óxido de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Las cantidades de cada uno dependen del tipo y el tamaño de la instalación y la cantidad de gas requerido.

➤ **Componente Ruido**

Durante la etapa de operación la emisión de ruidos y vibración por parte de los equipos, principalmente de los grupos electrógenos producen un nivel de presión sonora superior a los 60dB, que afecta al entorno. La emisión de ruidos en el uso de grupos electrógenos es ocasionada debida:

- Ruidos en la entrada de aire.
- Ruidos por la superficie del cuerpo del motor de combustión y generador.
- Ruidos a la salida de Chimeneas
- Ruidos por las vibraciones Generales

Para la atenuación del ruido proveniente de los diversos puntos de emisión se emplearan silenciadores en la entrada del aire y a la salida de lo gases de escape. Así como también los equipos serán instalados en ambientes que permitan atenuar aun más el nivel de ruido, con estructuras que contengan un forro de aislamiento acústico interno.

➤ **Componente Suelo**

Durante este período existe la posibilidad de contaminación del suelo debido a derrames de aceites o grasas durante la etapa de operación y/o mantenimiento de los equipos. Para evitar esto se realizarán procedimientos de trabajo, y se capacitará al personal de tal manera se evite estos sucesos.

**C. Medio Socio Económico**

➤ **Componente Económico**

El impacto económico debido a la instalación de cogeneración es alto debido a los ahorros generados por la autogeneración eléctrica con gas natural, y al ahorro debido a los equipos de absorción en la generación de frío para climatización. Todo esto se debe a la situación energética que pasa el país con el gas natural que implica grandes desarrollos en el futuro. A esto se añade la generación de trabajo permanente para mano de obra calificada (ingenieros y técnicos y etcétera) y no calificada (ayudantes).

➤ **Componente Cultural**

La instalación de cogeneración fomenta una cultura de uso del gas natural que motiva el consumo progresivo de este combustible. Así como el gas natural, los equipos que conforman la instalación de cogeneración (moto generadores, equipos de absorción, y otros) fomentan el uso de tecnologías alternativas que permitan aprovechar de forma más eficiente los recursos y proteger el medio ambiente en donde vivimos.

**3.3. Plan de Manejo Ambiental**

Se implementará un plan de manejo ambiental lo cual incluirá una serie de programas para prevenir y/o mitigar los impactos ambientales que pudieran generarse durante las fases de construcción y operación, así como también un programa de monitoreo y de cierre de operaciones. Todo esto con el objetivo de proporcionar las medidas ambientales necesarias para evitar, corregir y mitigar los posibles impactos que se puedan producir por las actividades propias del proyecto. La aplicación de estas medidas garantizará un manejo adecuado del medio físico, biológico y social, lo cual permitirá un uso adecuado de los recursos con una mínima alteración.

### 3.3.1 Programa de Prevención y/o mitigación

El programa de prevención y mitigación establece un conjunto de medidas que permitirán prevenir, controlar, corregir, evitar o mitigar los efectos sobre el ambiente y las obras durante las etapas de construcción y operación.

#### 3.3.1.1 Etapa de Construcción

- Se instalará un campamento temporal en la zona de trabajo para proveer a los trabajadores vestuarios para cambiarse de ropa al comenzar y terminar labores. Así como también servicios sanitarios (baños portátiles) y medios necesarios como agua en cantidades necesarias.
- Se realizará charlas de educación y capacitación ambiental dirigida a todo el personal técnico y obrero que trabaja en la obra, de manera que se tome conciencia de la importancia del aspecto de seguridad y protección.
- Se definirá las rutas y caminos de accesos a los lugares de trabajo evitando zonas sensibles, que ocasionen problemas al centro comercial.
- Se implementará un sistema de señalización adecuada para minimizar trastornos en el tránsito vehicular y el movimiento interno del personal y clientes del centro comercial, evitando ruidos y emisiones.
- Las zonas de trabajo deberán señalizarse y delimitarse adecuadamente, siempre que exista la posibilidad de que otros trabajadores o personas ajenas penetren en dicha zona.
- Se implementará un sistema de señalización que engloba, señalización de rutas, zonas de peligro, zonas de trabajo, etcétera.
- Implementación de límites de velocidad para los vehículos y maquinarias.
- A todos los equipos se les deberá colocar en un lugar visible la capacidad de carga, la velocidad de operación recomendada.
- En las áreas donde se realicen construcciones y movimiento de tierra susceptibles de producir emisiones de polvo, se efectuará un riego constante, con el objetivo de humedecer la superficie del suelo y evitar el levantamiento de partículas al paso de maquinarias y vehículos.
- Evitar acumulaciones de material particulado alrededor de las instalaciones, si es el caso se colocará cubiertas sobre los materiales finos y sueltos.

- Se establecerá controles de limpieza y recolección periódica de los materiales sedimentados, de tal manera de que estas áreas no sean arrastradas por las corrientes de aire.
- En los casos en que el transporte se realice a través de sitios poblados o vías que transitan, es obligatorio cubrir la carga transportada con el fin de evitar la dispersión de la misma o emisiones fugitivas.
- Se evaluará para que toda maquinaria utilizada en obra cumpla con las especificaciones legales y no sobrepasen los límites permisibles acústicos y de emisión de gases contaminantes. Así como también estarán provistos de un botiquín de primeros auxilios y extintores.
- Al finalizar la obra, se deberán restablecer los caminos y vías de acceso que hayan sido destruidas por el transporte de la maquinaria y funcionamiento de equipos.
- Se instalarán y mantendrán silenciadores de escapes y sistemas de amortiguamiento de ruidos en el equipo accionado por motores incluyendo: equipo pesado, camiones, bombas, compresoras, taladros y maquinaria de construcción
- Durante la operación de los equipos en la obra, se dotara de protectores auditivos y/o orejeras a todo el personal expuesto a áreas de trabajo con niveles altos de ruido.
- A todo el personal dentro de la zona de trabajo se le suministrara el material de seguridad de acuerdo al trabajo que realice con el objetivo de evitar accidentes y enfermedades ocupacionales (lentes de seguridad, cascos, guantes, etcétera), cuyo uso será de índole obligatorio.

### 3.3.1.2 Etapa de Operación y Mantenimiento

- Se proveerá a todo personal dentro del área de operación, los elementos de seguridad industrial que minimicen los efectos producidos por el ruido, tales como protectores auditivos, cuyo uso debe ser obligatorio.
- Se instalarán y mantendrán silenciadores de escapes y sistemas de amortiguamiento de ruidos en los equipo accionados por motores de combustión, incluyendo todas las medidas de mitigación de ruido para los otros equipos que operan en el sistemas de cogeneración que consideran la prevención con la utilización de instalaciones con dispositivos de insonorización utilizados (pantallas, forro interno acústico,

silenciadores en las chimeneas) y el establecimiento de restricciones operacionales basadas en niveles de ruido.

- Se colocarán en las chimeneas de los equipos (motores de combustión y calderas de recuperación) sistemas de captación de gases, especialmente para CO y NOx de tal manera de garantizar una salida de los gases en concentraciones menores a los niveles mínimos exigidos por las normas y realizar las acciones correctivas en el caso de no cumplirse.
- Durante las etapas de operación y mantenimiento de equipos, en caso de ocurrir derrames de aceites y/o lubricantes, se procederá a instalar barreras de contención aplicando arena o material oleofílico, y luego a retirar la tierra contaminada hacia el área previamente acondicionada.
- Durante la etapa de mantenimiento, para evitar contaminación de los cuerpos de agua y suelo, los residuos como lubricantes, filtros, grasas y se dispondrán en contenedores, que se encontrarán bien rotulados con avisos como "Aceites Usados", "No fumar" y se colocarán en ambientes o espacios designados para uso exclusivo de los residuos peligrosos.
- El diseño del sistema de distribución del gas natural tendrá un sistema de cierre automático ante la pérdida de presión del gas (ocurrencias de fugas por roturas, u otras). Así también se realizará un control periódico de las tuberías y accesorios del sistema.
- El acceso a las instalaciones será exclusivamente para personal autorizado, lo cual se contará con cercos perimetros que no permitan el acceso de personas extrañas, para evitar posibles accidentes potenciales.
- Se realizará capacitación continua al personal que operará la instalación de cogeneración con el objetivo de orientar y concientizar al personal con el cumplimiento de las normas, así como el respeto a los avisos de seguridad colocados en la instalación.

### 3.3.2 Programa de Monitoreo Ambiental

En la fase operativa del proyecto, además de evaluar la eficiencia de las medidas propuestas, el programa de monitoreo es de carácter preventivo, es decir, obtener información sobre posibles modificaciones o alteraciones ambientales que puedan causar daños. Para ello se monitorean condiciones especificando fechas, causas, magnitud, áreas afectadas y trabajos necesarios para la rehabilitación.

- Se realizará monitoreo del producto de la combustión del gas natural en los grupos electrógenos y calderas de recuperación, verificando que estos gases se encuentren dentro de los niveles establecidos por las normas. La frecuencia de monitoreo será 2 veces al año.
- Se realizará monitoreo de niveles de presión sonora provenientes de fuentes fijas y móviles, en diferentes puntos de la instalación. La frecuencia de monitoreo se realizará anualmente.

### 3.3.3 Programa de Cierre de Operaciones

El programa de cierre incluye las medidas necesarias para mitigar el daño ambiental que cause el abandono del proyecto una vez concluidas las operaciones. Asimismo, permitirá restaurar las áreas intervenidas que fueron ocupadas temporalmente durante la ejecución del proyecto:

- Se evaluará el desmontaje de todos los equipos en las diferentes áreas de la instalación, como grupos electrógenos, calderas, equipos de refrigeración y sistemas de tuberías, etcétera.
- La infraestructura civil de la instalación puede ser reutilizada para otro tipo de actividades requeridas por el centro comercial, o en caso contrario serán retiradas en su totalidad teniendo en cuenta pasos seguidos en la etapa de construcción, para el retiro de sólidos. En el caso de los sistemas de tuberías de gas natural serán retiradas de las zonas de la misma forma.
- El área ocupada será restaurada de acuerdo a su tipología original, mediante el renivelado del material orgánico de suelo que se almacenó al inicio de las obras, creando condiciones favorables para un proceso futuro o de revegetalización natural.

## CAPÍTULO 4

### EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

#### ANTECEDENTES

Esta unidad comprende el estudio de la viabilidad económica del proyecto, así como también, un estudio de sensibilidad que ilustrará el comportamiento del proyecto ante cambios en parámetros sensibles.

#### 4.1 Inversión Inicial Fija

La inversión inicial fija que tendrá que realizar el centro comercial para la instalación de cogeneración estará representado principalmente por la inversión en equipos, instalaciones, obras civiles e ingeniería como se describió en la capítulo 2, todo asciende a la suma de US\$ 10,384,871 (véase cuadro N° 2.24). Se debe resaltar que esta inversión se cubrirá un 20% con capital propio y un 80% con capital procedente de un préstamo por una entidad financiera.

#### 4.2 Gastos

Los gastos que genera la instalación de cogeneración para lograr cubrir la demanda energética del centro comercial, esta representada por el costo operativo que engloba los costos por combustible, por mantención de los equipos, suministros, y costo de personal involucrada en la operación de la instalación. Todos estos gastos fueron evaluados en el capítulo 2 (Véase Cuadro N° 2.23). También se considerará los gastos financieros por el préstamo de capital que involucra los intereses con una tasa en dólares de 12 % anual. Las tasas de interés en dólares proporcionadas por los entes financieros para proyectos de gran envergadura se encuentran entre el 7.5% a 14% anual.

#### 4.3 Ingresos

Los ingresos que genera la planta esta representado por la cantidad que deja de pagar el centro comercial a la empresa generadora por la energía eléctrica que

demanda sus operaciones. En estos últimos años las tarifas han sufrido incrementos, por ende se realiza un reajuste a la tarifa anterior (véase anexo N° 18). La suma que tendría que pagar el centro comercial asciende a US\$ 3,476,154 anuales .

#### 4.4 Costo de Oportunidad

El costo de oportunidad que se considera para el análisis económico del proyecto será de una rentabilidad anual del 15 %, evaluada en dólares americanos (US\$). Esta rentabilidad será usada como tasa de descuento durante la evaluación económica del proyecto.

#### 4.5 Depreciación

La depreciación es la cantidad que periódicamente se deduce del valor inicial del activo con el propósito de cuantificar el desgaste o uso del mismo. Este monto es un gasto operativo del período, sin embargo no constituye un desembolso de efectivo. Para el análisis económico del proyecto es muy importante cuantificar este parámetro, para ello utilizaremos el método lineal de depreciación tomando como base la referencia [Quiroz, 2004, pp.64-66] considerando que los activos se deprecian totalmente (valor residual = 0). A continuación en el cuadro N° 4.1 se calcula el valor de depreciación:

**Cuadro N° 4.1**

<b>Depreciación de Activos</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Valor de Activo</b>	<b>Período</b>	<b>Depreciación</b>
	<b>US\$</b>	<b>Años</b>	<b>US\$</b>
<b>Equipos Generadores de Vapor</b>	<b>1,715,126</b>	<b>10</b>	<b>171,513</b>
<b>Intercambiadores de Calor</b>	<b>89,250</b>	<b>10</b>	<b>8,925</b>
<b>Equipos Moto Generadores</b>	<b>6,206,207</b>	<b>10</b>	<b>620,621</b>
<b>Equipos de Refrigeración – Absorción</b>	<b>1,617,200</b>	<b>10</b>	<b>161,720</b>
<b>Torres de Enfriamiento</b>	<b>192,088</b>	<b>10</b>	<b>19,209</b>
<b>Estación de Regulación de Presión</b>	<b>65,000</b>	<b>10</b>	<b>6,500</b>
<b>Infraestructura</b>	<b>500,000</b>	<b>20</b>	<b>25,000</b>
<b>Total por Depreciar</b>		<b>US\$ /AÑO</b>	<b>1,013,487</b>

Elaboración : Propia

#### 4.6 Ahorro Anual

El ahorro Económico anual que tendrá el Centro Comercial utilizando la planta de cogeneración, se logra obtener mediante la diferencia entre la cantidad total de ingresos y egresos que esta genera. Esto se podrá apreciar en los flujos de caja económico y financiero que se analizaran en el punto siguiente.

## 4.7 Flujo de Caja Proyectada

### 4.7.1 Generalidades

#### A) Tipos de Flujo de Caja Proyectada

- **Flujo de Caja Económica** : Muestra la bondad del proyecto en función de la inversión requerida, independientemente de cómo esta sea financiada. Esto permite ver si el proyecto en operación es rentable.
- **Flujo de Caja Financiera** : Muestra el financiamiento sobre los resultados del proyecto. Lo importante en esa evaluación es determinar si esos flujos de dinero provenientes de la operación del proyecto son suficientes para cancelar la deuda financiera del proyecto y obtener rentabilidad.

#### B) Indicadores Económicos de Rentabilidad

Para realizar el análisis del proyecto utilizaremos indicadores económicos que nos permitan argumentar la idoneidad económica del proyecto mediante el uso de conceptos económicos basados en la referencia [Quiroz, 2004, pp.72-74], que se describen a continuación:

- **Valor Actual Neto(VAN)**: Representa el flujo de caja acumulado de la instalación hasta el momento considerado. Si se acumula desde el inicio hasta el fin del ciclo de vida, se obtiene la rentabilidad total de la instalación, siendo rentable la misma si el VAN es positivo.
- **Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)**: Consiste en el tipo de interés que tendría que existir para que la inversión en la instalación, una vez llegado el final de su vida útil, hubiera producido el mismo beneficio que una capitalización con dicho tipo de interés.

### 4.7.2 Flujo de Caja Proyectado

En este punto se evalúo la rentabilidad del proyecto en las condiciones con las que operaría la instalación de cogeneración para cubrir los requerimientos actuales del Centro Comercial, para ello se realizó el análisis de flujo de caja económico y financiera, que se muestran en el cuadro N° 4.2 .

Evaluando los indicadores económicos de rentabilidad que se obtuvieron en los flujos de caja, se puede concluir que el proyecto de la Instalación de Cogeneración no es viable económicamente en las condiciones actuales.

Cuadro N° 4.2

FLUJO DE CAJA PROYECTADO - ECONÓMICO											
Descripción	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
A. Inversión Inicial	-10.384.871										
B. Ingresos		3.476.154	3.476.154	3.476.154	3.476.154	3.476.154	3.476.154	3.476.154	3.476.154	3.476.154	3.476.154
C. Gastos		-2.337.171	-2.347.041	-2.958.591	-2.347.041	-3.479.663	-2.347.041	-2.347.041	-2.958.591	-2.337.171	-2.611.895
D. Depreciaciones		-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487
E. Utilidad antes de Impuestos		125.496	115.625	-495.924	115.625	-1.016.996	115.625	115.625	-495.924	125.496	-149.229
F. Impuesto a la Renta		-37.649	-34.688	0	-34.688	0	-34.688	-34.688	0	-37.649	0
G. Utilidad Neta		87.847	80.938	-495.924	80.938	-1.016.996	80.938	80.938	-495.924	87.847	-149.229
H. Valor Residual		0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.115.461
I. Flujo de Caja Económica	-10.384.871	1.101.334	1.094.425	517.563	1.094.425	-3.509	1.094.425	1.094.425	517.563	1.101.334	3.979.720
				TASA (%)		15					
				VAN ( 15 % )		(\$5.284.773)					
				TIR		1,69%					
A : Inversión Inicial (\$)											
B : Ingresos Anual (\$)											
C : Gasto Anual (\$)											
D : Depreciación (\$)											
E = ( B + C + D )											
F = ( E x 0.3 )											
G = ( E + F )											
H : Valor Residual : 0.3 x A											
I = ( G - D ) , Se vuelve a sumar la depreciación porque no es un gasto Desembolsable											
FLUJO DE CAJA PROYECTADO - FINANCIERO											
Descripción	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
I. Flujo de caja Económico	-10.384.871	1.101.334	1.094.425	517.563	1.094.425	-3.509	1.094.425	1.094.425	517.563	1.101.334	3.979.720
J. Principal	-8.307.897										
K. Amortización		-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790
L. Interés		-996.948	-897.253	-797.558	-697.863	-598.169	-498.474	-398.779	-299.084	-199.390	-99.695
M. Escudo Tributario		299.084	269.176	239.267	209.359	179.451	149.542	119.634	89.725	59.817	29.908
N. Flujo de Financiamiento Neto		-1.528.653	-1.458.867	-1.389.080	-1.319.294	-1.249.508	-1.179.721	-1.109.935	-1.040.149	-970.362	-900.576
G. Flujo de Caja Financiera	-2.076.974	-427.319	-364.442	-871.517	-224.869	-1.253.016	-85.296	-15.510	-522.586	130.972	3.079.144
				TASA (%)		15					
				VAN ( 15 % )		(\$3.463.897)					
				TIR		Negativo					
J : Valor que se Financiera con una Entidad Bancaria											
K : Son los pagos que se realizaran Anualmente											
L : Es el Interés que se paga ( 12% anual )											
M = ( L x 0.3 )											
N = ( K + L + M )											
O = ( N + I )											

#### 4.8. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad del proyecto tiene como finalidad, mostrar los efectos sobre los indicadores económicos (TIR, VAN) ante la variación o cambio en el valor de una o más variables económicas del proyecto. Todo esto debido a que un proyecto de inversión puede ser o no ser rentable bajo ciertas condiciones, pero podrían o no serlo si se presentan variaciones significativas en las variables que intervienen directamente en el desarrollo del proyecto.

##### 4.8.1 Identificar Variables Sensibles

La rentabilidad o no del proyecto esta sujeta al comportamiento de las principales variables:

- **Costo de Gas Natural**: Esta variable es muy importante debido a que representa mas del 80% de los costos operativos energéticos de la instalación, e influye en gran magnitud en el análisis económico.
- **Cantidad de Energía Cogenerada - Anual**: La variación de esta variable influye de forma directa en los ingresos de la instalación, en posibles ventas de energía a clientes.

##### 4.8.2 Análisis de Escenarios

Se realizará la evaluación económica del proyecto de inversión desarrollando suposiciones que tienen cierto grado de certeza que podrían ocurrir en un futuro, y así evaluar en que condiciones el proyecto podría ser económicamente viable.

###### ➤ Escenario N° 1: Optimista

Para el análisis se consideran además de los parámetros iniciales del proyecto las siguientes suposiciones de ocurrencia en el futuro:

- El escenario energético a evaluar incorpora la apertura de centros de negocio dentro del Centro Comercial que demanden como fuente energética principal de sus negocios, energía térmica en forma de vapor y agua caliente, como pueden ser gimnasios, saunas, centros médicos y otros. Esto será suministrado en su totalidad por la planta de cogeneración durante todo el año excepto en los meses de verano, debido a que se tiene que cubrir cargas por climatización.
- La instalación de cogeneración del Centro Comercial al aumentar la demanda térmica debido a lo expuesto en el punto anterior, podrá cogenerar durante todo

el año y a la vez poder cumplir los requisitos de eficiencia requeridos por el Ministerio de Energía y Minas para ser considerado Instalación de Cogeneración Calificada y acceder a los precios de gas natural como planta generadora de electricidad que es más competitiva que la tarifas “D” para la Industria.

- La planta de Cogeneración podrá acceder a los beneficios del Protocolo de Kyoto mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MLD), que ofrece bonos de Carbono a proyectos que contribuyan a lograr los objetivos para el cuidado del medio ambiente. En el caso de la planta de Cogeneración se encuentra en la categoría de proyectos “Mejora de la eficiencia Energética en la oferta de Generación de electricidad y Calor”.
- La variación del precio del gas natural y de las tarifas eléctricas no tienen una variación significativa durante la vida económica del proyecto.

Las suposiciones de ocurrencia de futuro descritas en los puntos anteriores implican variaciones en los parámetros de análisis del proyecto, y esto se puede apreciar en el Cuadro N° 4.3

Evaluando la variación en los parámetros mostrados en el Cuadro N° 4.3, se realizó el análisis de flujo de caja económico y financiero.

Se puede observar en los cuadros N° 4.4 los indicadores económicos de rentabilidad que se obtuvieron.

Cuadro N° 4.3

INGRESOS Y EGRESOS DE LA INSTALACIÓN DE COGENERACIÓN PARA ESCENARIO N°1 : OPTIMISTA

Ingresos para Planta de Cogeneración											
Ingresos por Energía Eléctrica a Centro Comercial											
Ingresos por Energía Eléctrica a Centro Comercial	US\$ / Año	3.476.154									
Ingresos por Venta de Energía Térmica /Agua Caliente											
A : Producción de Agua Caliente	Kwt	750									
B : Recoverable Heat	MMBTU/h	2,56									
C : Horas de Operación	h/ Año	4320									
n : Eficiencia de Caldera ( 80%)	%	0,8									
P : Costo de Gas Natural	US\$ / MMTBU	4									
H : Cantidad de Equipos	Uni.	4									
Forma de Calculo : $I = ( B \times C \times P \times H ) / n$											
I : Ingresos por Venta de Energía	US\$ /Año	221.107									
Ingresos por Venta de Energía Térmica / Vapor de Agua											
A : Producción de Vapor de Agua	Kwt	1480									
B : Recoverable Heat	MMBTU/h	5,05									
C : Horas de Operación	h/ Año	2520									
n : Eficiencia de Caldera ( 80%)	%	0,8									
P : Costo de Gas Natural	US\$ / MMTBU	4									
H : Cantidad de Equipos	Uni.	3									
Forma de Calculo : $I = ( B \times C \times P \times H ) / n$											
Ingresos por Venta de Energía	US\$ / Año	190.889									
Ingresos por Crédito de Bonos de Carbono											
Ingresos por Bonos de Carbono	US\$ /Año	80.000									
<b>INGRESOS TOTALES</b>	<b>US\$ /Año</b>	<b>3.968.150</b>									
<b>GASTOS DE PLANTA DE COGENERACIÓN</b>											
DESCRIPCIÓN	Unidades	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Costo de Combustible /Gas Natural	US\$ /AÑO	1.455.527	1.455.527	1.455.527	1.455.527	1.455.527	1.455.527	1.455.527	1.455.527	1.455.527	1.455.527
Costo de Mantenimiento Grupos Electrógenos	US\$ /AÑO	162.038	171.908	783.458	171.908	1.304.529	171.908	171.908	783.458	162.038	436.762
Costo de Operación Especializado de Grupos E.	US\$ /AÑO	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000
Costo de Mantenimiento de Resto de Equipos	US\$ /AÑO	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
Costo de Operación de Resto de Equipos ( 3 Turnos )	US\$ /AÑO	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>US\$ /AÑO</b>	<b>1.752.565</b>	<b>1.762.435</b>	<b>2.373.985</b>	<b>1.762.435</b>	<b>2.895.056</b>	<b>1.762.435</b>	<b>1.762.435</b>	<b>2.373.985</b>	<b>1.752.565</b>	<b>2.027.289</b>
<b>Nota : Costo de Gas Natural , Con Tarifa de Generador ( Véase Anexo N° 19 )</b>											
<b>Fuentes : Elaboración Propia</b>											

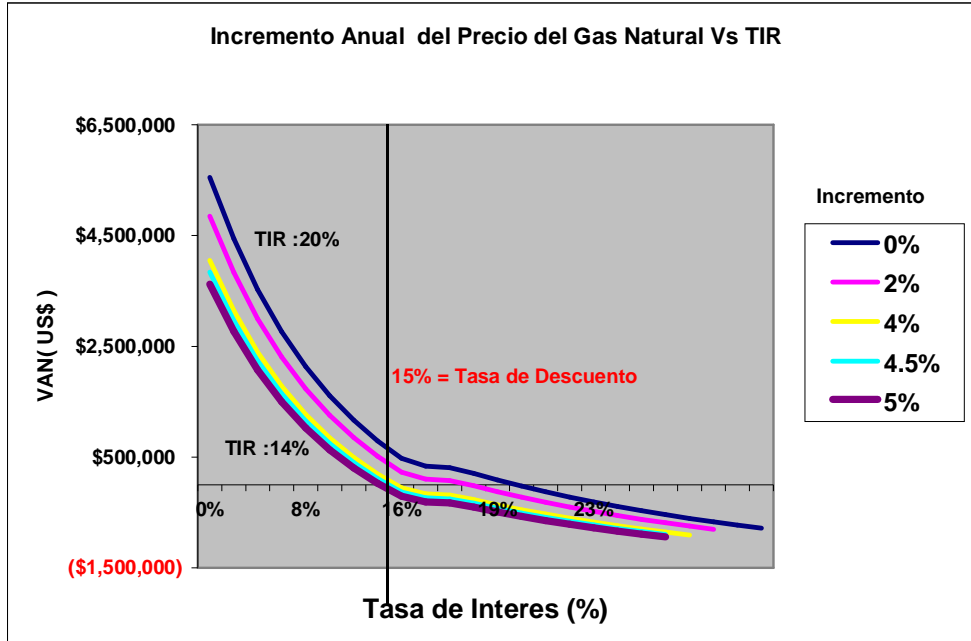
Cuadro N° 4.4

FLUJO DE CAJA PROYECTADO - ECONÓMICO											
Descripción	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
A. Inversión Inicial	-10.384.871										
B. Ingresos		3.968.150	3.968.150	3.968.150	3.968.150	3.968.150	3.968.150	3.968.150	3.968.150	3.968.150	3.968.150
C. Gastos		-1.752.565	-1.762.435	-2.373.985	-1.762.435	-2.895.056	-1.762.435	-1.762.435	-2.373.985	-1.752.565	-2.027.289
D. Depreciaciones		-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487	-1.013.487
E. Utilidad antes de Impuestos		1.202.098	1.192.227	580.678	1.192.227	59.606	1.192.227	1.192.227	580.678	1.202.098	927.373
F. Impuesto a la Renta		-360.629	-357.668	-174.203	-357.668	-17.882	-357.668	-357.668	-174.203	-360.629	-278.212
G. Utilidad Neta		841.468	834.559	406.475	834.559	41.724	834.559	834.559	406.475	841.468	649.161
H. Valor Residual		0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.115.461
I. Flujo de Caja Económica	-10.384.871	1.854.956	1.848.046	1.419.962	1.848.046	1.055.212	1.848.046	1.848.046	1.419.962	1.854.956	4.778.110
				TASA (%)		15					
				VAN ( 15 % )		(\$1.193.309)					
				TIR		12,17%					
A : Inversión Inicial (\$)											
B : Ingresos Anual (\$)											
C : Gasto Anual (\$)											
D : Depreciación (\$)											
E = ( B + C + D )											
F = ( E x 0.3 )											
G = ( E + F )											
H : Valor Residual : 0.3 x A											
I = ( G - D ) , Se vuelve a sumar la depreciación porque no es un gasto Desembolsable											
FLUJO DE CAJA PROYECTADO - FINANCIERO											
Descripción	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
I. Flujo de caja Económico	-10.384.871	1.854.956	1.848.046	1.419.962	1.848.046	1.055.212	1.848.046	1.848.046	1.419.962	1.854.956	4.778.110
J. Principal	-8.307.897										
K. Amortización		-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790	-830.790
L. Interes		-996.948	-897.253	-797.558	-697.863	-598.169	-498.474	-398.779	-299.084	-199.390	-99.695
M. Escudo Tributario		299.084	269.176	239.267	209.359	179.451	149.542	119.634	89.725	59.817	29.908
N. Flujo de Financiamiento Neto		-1.528.653	-1.458.867	-1.389.080	-1.319.294	-1.249.508	-1.179.721	-1.109.935	-1.040.149	-970.362	-900.576
G. Flujo de Caja Financiera	-2.076.974	326.303	389.180	30.881	528.752	-194.296	668.325	738.111	379.813	884.593	3.877.534
				TASA (%)		15					
				VAN ( 15 % )		\$627.568					
				TIR		19,78%					
				REPAGO		9.2 años					
J : Valor que se Financiera con una Entidad Bancaria											
K : Son los pagos que se realizaran Anualmente											
L : Es el Interes que se paga ( 12% anual )											
M = ( L x 0.3 )											
N = ( K + L + M )											
O = ( N + I )											

➤ **Escenario N° 2**

Para el análisis de este escenario, se consideran los mismos supuestos de ocurrencia en el futuro que se describieron en el escenario N° 1, con la variante en el incremento del precio del gas natural.

**Gráfico N°1**



**4.8.3 Resultados de Sensibilidad**

**Escenario N° 1**

Evaluando los indicadores económicos de rentabilidad que se obtuvieron en los flujos de caja, se puede concluir que el proyecto de la Instalación de Cogeneración bajo las nuevas condiciones de operación si es viable económicamente. El VAN obtenido es positivo, el TIR es 19.78%, superior a la tasa de descuento requerida por el proyecto que es de 15%. El período de recuperación de inversión es 9 años y 2 meses.

**Escenario N° 2**

Evaluando los indicadores económicos de rentabilidad que se obtuvieron en los flujos de caja, se puede concluir que el proyecto de la Instalación de Cogeneración bajo las nuevas condiciones de operación si es viable económicamente siempre que el costo de gas natural no sufra un incremento por encima del 4% anual.

## CONCLUSIONES

1. La Instalación de Cogeneración diseñada, cubre de forma total los requerimientos de electricidad y aire acondicionado demandados por el Centro Comercial, por ende es viable técnicamente.
2. Con los requerimientos energéticos actuales que posee el Centro Comercial, el proyecto no es viable económicamente, al presentar un VAN negativo, debido a que la instalación de Cogeneración diseñada solo operará 1800 horas al año, mientras el resto de horas operará como Central Térmica Convencional.
3. El análisis de sensibilidad realizado en un escenario optimista, muestra que el proyecto será viable técnicamente y económicamente cuando la Instalación de Cogeneración diseñada opere como tal, durante todo el año, un mínimo de 4320 horas, lo que implica un aumento de los requerimientos térmicos del Centro Comercial por la apertura de nuevos negocios que generaran ingresos por la venta de energía en forma de vapor y agua caliente, logrando obtenerse un VAN positivo, con un TIR de 19.78%, y un período de recuperación de inversión de 9 años y 2 meses.
4. El proyecto seguirá siendo viable económicamente en un escenario optimista como se describió en el punto anterior, siempre que el costo de gas natural no sufra un incremento por encima del 4% anual.
5. El proyecto presenta dificultades de retorno de inversión a corto plazo, debido a la cantidad de horas que puede operar la instalación de Cogeneración, a causa de no requerimientos energéticos en horas nocturnas para el Centro Comercial.

## BIBLIOGRAFÍA

- **ASHRAE**, “ Handbook of Fundamentals “ & “ Refrigeration “, Atlanta, Georgia, USA.
- **Cesel Ingenieros S.A**, “ Estudio del impacto ambiental del proyecto conversión a gas natural de los grupos de la Central Térmica Calana “, Egesur, Lima, 2006.
- **Consultora Pacific S.A**, “ Estudio de impacto ambiental del proyecto de la central Egechilca “, Lima, 2004.
- **Enrique J. Barrantes P. y Javier Tamashiro H.** , “ Apuntes de refrigeración y aire acondicionado “, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2005.
- **European Commision – Directorate General for Energy**, “ Absorption Chillers / Energy Saving by CHCP plants in the Hotel Sector “, 2001.
- **Flores Delgado, José**, “ Estadística para Ingenieros “, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2004.
- **Gamma Ingenieros S.A**, “ Evaluación del desempeño operacional y comercial de centrales de cogeneración y estudio del potencial de cogeneración en Chile ”, Comisión Nacional de Energía, Santiago, 2004.
- **Jutglar i Banyeras, Lluís**, “ Cogeneración de calor y electricidad “, Editorial Ceac, Barcelona, 1996.
- **Llorens, Martín**, “ Ingeniería térmica “ , Editorial Ceac, Barcelona, 1999.
- **Moran Michael J.**, “ Fundamentos de termodinámica técnica ”, 2da Edición, Barcelona, 2004.
- **Quiroz Fernández, Carmen**, “ Ingeniería Económica “, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2005.

- **U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership**, “ Catalog of CHP Technologies “, Estados Unidos, 2001.
- **Villares Martín, Mario** “ Cogeneración ”, Fundación Confemetal, Madrid, 2000.

## REFERENCIAS WEB

### Fabricantes de Equipos

- **CATERPILLAR**  
<http://www.caterpillar.com>
- **CERNEY**  
<http://www.cerney.es/>
- **SOLAR TURBINES**  
<http://www.solarturbines.com>
- **THERMAX**  
<http://www.thermaxindia.com/v2/index.asp>

### Datos Varios

- **ASHRAE**  
<http://www.ashrae.org/>
- **CALIDDA**  
<http://www.calidda.com.pe/>
- **CONAE**  
<http://www.conae.gob.mx>
- **FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE-PERU: FONAM**  
<http://www.fonamperu.org>
- **OSINERGMIN**  
<http://www2.osinerg.gob.pe>
- **PERSPECTIVA DE CENTROS COMERCIALES -PERU**  
<http://www.classrating.com/CCPSA.pdf>
- **U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY COMBINED HEAT AND POWER PARTNERSHIP**  
<http://www.epa.gov/chp/>