



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
ESCUELA DE POSTGRADO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGISTER EN GESTIÓN DE PROYECTOS

TEMA:

**“UTILIZACIÓN DE CALOR RESIDUAL PARA GENERAR
ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA DE CEMENTO EN
SUDAMÉRICA”**

AUTORES:

**Ing. Carlos Pérez Taday
Ing. Renato Garzón Jiménez
Ing. Juan Molina Gómez**

DIRECTOR:

Econ. Alex Cevallos

Guayaquil-Ecuador

Septiembre 2012

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE PROYECTOS

PROMOCIÓN 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE GRADO

En la ciudad de Guayaquil, a los veintiséis días del mes de septiembre de 2012, en el Aula A3 de la **ESCUELA DE POSTGRADO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, ESPAE**, de la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, ESPOL**, sustentó su tesis de grado: **UTILIZACIÓN DE CALOR RESIDUAL, PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA DE CEMENTO EN SUDAMÉRICA** el Sr. **JUAN ANDRÉS MOLINA GÓMEZ**, obteniendo la siguiente calificación:

Nombres	Nota promedio sustentación	Nota promedio documento escrito	Calificación Final
MOLINA GÓMEZ, JUAN ANDRÉS	97	99	98

Actuaron como miembros del Tribunal los docentes: **Sonia Zurita Erazo**, **Ma. José Castillo Vélez** y **Alex Cevallos Benítez**, quienes firman a continuación:


SONIA ZURITA ERAZO


MA. JOSÉ CASTILLO VÉLEZ


ALEX CEVALLOS BENÍTEZ
TUTOR

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE PROYECTOS

PROMOCIÓN 4

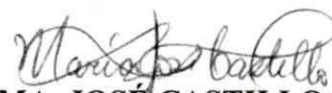
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE GRADO

En la ciudad de Guayaquil, a los veintiséis días del mes de septiembre de 2012, en el Aula A3 de la **ESCUELA DE POSTGRADO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, ESPAE**, de la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, ESPOL**, sustentó su tesis de grado: **UTILIZACIÓN DE CALOR RESIDUAL, PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA DE CEMENTO EN SUDAMÉRICA** el Sr. **CARLOS HUMBERTO PÉREZ TADAY**, obteniendo la siguiente calificación:

Nombres	Nota promedio sustentación	Nota promedio documento escrito	Calificación Final
PÉREZ TADAY, CARLOS HUMBERTO	96	99	98

Actuaron como miembros del Tribunal los docentes: **Sonia Zurita Erazo**, **Ma. José Castillo Vélez** y **Alex Cevallos Benítez**, quienes firman a continuación:


SONIA ZURITA ERAZO


MA. JOSÉ CASTILLO VÉLEZ


ALEX CEVALLOS BENÍTEZ
TUTOR

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE PROYECTOS

PROMOCIÓN 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE GRADO

En la ciudad de Guayaquil, a los veintiséis días del mes de septiembre de 2012, en el Aula A3 de la **ESCUELA DE POSTGRADO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS, ESPAE**, de la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, ESPOL**, sustentó su tesis de grado: **UTILIZACIÓN DE CALOR RESIDUAL, PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA DE CEMENTO EN SUDAMÉRICA** el Sr. **LUIS RENATO GARZÓN JIMÉNEZ**, obteniendo la siguiente calificación:

Nombres	Nota promedio sustentación	Nota promedio documento escrito	Calificación Final
GARZÓN JIMÉNEZ, LUIS RENATO	99	99	99

Actuaron como miembros del Tribunal los docentes: **Sonia Zurita Erazo**, **Ma. José Castillo Vélez** y **Alex Cevallos Benítez**, quienes firman a continuación:


SONIA ZURITA ERAZO


MA. JOSÉ CASTILLO VÉLEZ


ALEX CEVALLOS BENÍTEZ
TUTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, todos los compañeros de trabajo, amigos, y profesores que con sus valiosos aportes permitieron que crezcamos mucho más en lo personal y en lo profesional.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a nuestras familias, amigos, profesores y a todas aquellas personas que se encuentran involucradas de una u otra forma en el área de proyectos en el Ecuador.

INDICE GENERAL

ABREVIATURAS	III
SIMBOLOGÍA	IV
INDICE DE FIGURAS	V
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE ANEXOS	VII
RESUMEN EJECUTIVO	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	10
1.1. Identificación del Proyecto	10
1.2. Antecedentes y Contexto	10
1.3. Importancia y Justificación	10
CAPÍTULO 2	
2. PRINCIPALES DATOS DE LA PLANTA DE CEMENTO	12
2.1. Ubicación Geográfica	12
2.2. Condiciones Climáticas	12
2.3. Condiciones del Suelo	12
2.4. Datos Generales de la planta	13
CAPÍTULO 3	
3. DESCRIPCION DEL PROYECTO	16
3.1. Estudio de Mercado	16
3.1.1. Definición del Problema	16
3.1.2. Componentes de Investigación de Mercado	16
3.1.3. Diseño de la Investigación de Mercado	17
3.1.4. Desarrollo de la Investigación de Mercado	18
3.1.5. Conclusiones y Recomendaciones	27
3.2. Viabilidad Técnica	29
3.2.1. Identificación de fuentes de energía para aprovechar el calor residual	29
3.2.2. Selección de alternativas de solución conceptual para aprovechar el calor residual	30

3.2.3.	Diseño conceptual del ciclo térmico	32
3.2.4.	Aspectos de interconexión eléctrica	35
3.2.5.	Aspectos civiles	35
3.2.6.	Análisis de posibles ubicaciones del sistema de recuperación residual de gases dentro de la planta	36
3.2.7.	Listado de equipos	39
3.2.8.	Conclusiones y Recomendaciones	41
3.3.	Viabilidad Financiera	42
3.4.	Implementación del Proyecto	44
3.5.	Programación del Proyecto	46
CAPÍTULO 4		
4.	EVALUACIÓN DEL PROYECTO	48
4.1.	Evaluación Financiera	48
4.1.1.	Indicadores Financieros	48
4.1.2.	Análisis de Sensibilidad	49
4.1.3.	Conclusiones	51
4.2.	Evaluación Ambiental y Medidas de Mitigación	53
4.2.1.	Aspectos Ambientales	53
4.2.2.	Descripción de la Metodología Empleada	58
4.2.3.	Evaluación y Valorización	60
4.2.4.	Plan de Manejo Ambiental	76
CAPÍTULO 5		
5.	SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL PROYECTO	82
5.1.	Procedimiento y Herramientas de Seguimiento	82
5.2.	Control y Monitoreo en cada Fase del Proyecto	83
CAPÍTULO 6		
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA		86
ANEXOS		87

ABREVIATURAS

KWh	Kilowatt por hora
MWh	Megawatt por hora
GWh	Gigawatt por hora
MW	Megawatt
Ton	Tonelada
CO ₂	Dióxido de Carbono
m ³	Metros cúbicos
m ²	Metros cuadrados
m	Metros
MJ	Megajoules
° C	Temparatura en grados Celsius
h	Horas
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
ton/h	Toneladas por hora
mg/Nm ³	Miligramos por Normal metros cúbicos
O ₂	Oxigeno
Min	Minutos
dB	Decibeles
Kg	Kilogramos
Log	Logaritmo

SIMBOLOGÍA

Mag_{SIN}	Magnitud sin Proyecto
Mag_{CON}	Magnitud con Proyecto
Im	Importancia
$I1$	Importancia normalizada de 0 a 1
$I2$	Importancia normalizada de 0 a 0,7
In	Intensidad
E	Extensión
P	Persistencia
Rv	Reversibilidad
A	Acumulación
Mo	Momento
Rc	Recuperabilidad
Pr	Periodicidad
Ef	Efecto
Leq	Ruido global por actividad de impacto
R_f	Rentabilidad de Bonos Ecuatorianos al año
β	Beta de la compañía
R_m	Rentabilidad de la compañía al año

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Mapa Sísmico del Ecuador	13
Figura 2.2	Esquema de la planta de cemento	13
Figura 2.3	Proceso intercambio de calor en ciclones	14
Figura 3.1	Proyección de capacidad instalada versus la demanda máxima	18
Figura 3.2	Expansión de generación 2011 – 2014	20
Figura 3.3	Expansión de generación 2015 – 2020	20
Figura 3.4	Matriz energética en diciembre del 2011	22
Figura 3.5	Matriz energética a partir del 2016	23
Figura 3.6	Tasa de crecimiento anual de la demanda de la energía eléctrica	23
Figura 3.7	Demanda máxima del país (MW)	24
Figura 3.8	Histórico de Precios en Centavos de USD/KWh	25
Figura 3.9	Consumo eléctrico en la planta (2006 – 2011)	26
Figura 3.10	Proyección del consumo eléctrico en la planta (MWh)	27
Figura 3.11	Fuentes de calor residual en la industria del cemento	29
Figura 3.12	Flujograma de sistema de recuperación de calor	33
Figura 3.13	Arreglo general del proyecto	38
Figura 3.14	Organigrama del proyecto	46
Figura 3.15	Diagrama de Gantt del Proyecto	46
Figura 3.16	Representación de Ruta Crítica del Proyecto	47
Figura 5.1	Avance Planificado del Proyecto	82
Figura 5.2	Plan de Gastos Acumulados del Proyecto	82
Figura 5.3	Distribución de Recursos	83

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Componentes de Investigación de Mercado	17
Tabla 3.2	Proyectos mineros a gran escala en el Ecuador	19
Tabla 3.3	Histórico de precios – Centavos de USD/KWh	24
Tabla 3.4	Proyecciones de precios en centavos USD/KWh	25
Tabla 3.5	Calor Residual en Precalentador	30
Tabla 3.6	Calor residual en la enfriadora	30
Tabla 3.7	Energía producida por el sistema de recuperación de calor	34
Tabla 3.8:	Listado de equipos principales	39
Tabla 3.9:	Costo de Inversión del Proyecto	42
Tabla 3.10:	Costo de Operativos del Proyecto	43
Tabla 4.1	Ingresos Proyectados	48
Tabla 4.2	Flujo de caja del Proyecto	49
Tabla 4.3	Flujo de caja del Escenario 1	50
Tabla 4.4	Flujo de caja del Escenario 2	50
Tabla 4.5	Limite Permisible en emisiones por Partículas totales	54
Tabla 4.6	Consumo de agua en fuentes de calor	55
Tabla 4.7	Línea Base Ambiental	57
Tabla 4.8	Valoración Cualitativa	59
Tabla 4.9	Identificación de Impactos Ambientales	61
Tabla 4.10	Equipos usados en taller de fabricación	63
Tabla 4.11	Equipos usados en fase constructiva	63
Tabla 4.12	Indicadores energéticos del país	65
Tabla 4.13	Cuantificación de impactos	67
Tabla 4.14	Valoración cualitativa de los impactos	68

Tabla 4.15	Valoración cuantitativa de los impactos	69
Tabla 4.16	Ponderación de los impactos	70
Tabla 4.17	Valoración de Pesos de los impactos	71
Tabla 4.18	Valoración de Impacto Total y Juicio	72
Tabla 4.19	Medidas de mitigación y Costos	74
Tabla 4.20	Valoración de impactos minimizados	75

ANEXOS

Anexo 1	Árbol de Problemas	88
Anexo 2.	Árbol de Objetivos	89
Anexo 3	Estructura de Descomposición de Trabajo	90
Anexo 4	Matriz Marco Lógico	92
Anexo 5	Flujo de caja con Beneficios Ambientales	95
Anexo 6	Flujo de caja con Beneficios Ambientales (Escenario 1)	96
Anexo 7	Flujo de caja con Beneficios Ambientales (Escenario 2)	97
Anexo 8	Plan de Manejo de Riesgo	98
Anexo 9	Cronograma de Actividades Completo	99

Resumen ejecutivo

Sr(a).

Ciudad.-

Esta tesis está basada en el estudio de factibilidad para “UTILIZACIÓN DE CALOR RESIDUAL PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA PLANTA DE CEMENTO EN SUDAMÉRICA”, el mismo que producirá beneficios de ahorro de energía eléctrica, agua industrial, y reducción de CO2 al ambiente. El tiempo de implementación del proyecto es de un año calendario y el costo es de \$9.946.000 dólares, donde se crearán 7 plazas de trabajo permanentes y más de 90 temporales. Cabe indicar que el sistema tiene una vida útil de 20 años, Valor Presente Neto (VPN): 2.898.612 USD, Tasa Interna de Retorno (TIR): 20,98%, y un retorno de la inversión 6,7 año.

El proyecto será financiado con fondos propios de la empresa cementera a través de la creación de una compañía subsidiaria con responsabilidad limitada. Adicionalmente, estará compuesto de equipos de última tecnología, que dará una alternativa más de ahorro energético, generará nuevos puestos de trabajo, reducirá el uso de combustibles fósiles y podrá ser tomado como piloto para futuras inversiones de la región siendo pionero en Mecanismos de Desarrollo Limpio colaborando con el ecosistema.

Atentamente,

Autores del proyecto
MGP IV
Guayaquil-Ecuador

INTRODUCCIÓN

Cada persona tiene un compromiso con el planeta. El simple hecho de vivir en él, y sobrevivir gracias a los beneficios que nos brinda hace que el ser humano deba de alguna forma retribuirle todo en menor o mayor medida.

En varios países se maneja una cultura de protección del ecosistema; tanto gobiernos centrales y sectoriales como también sus ciudadanos y empresas desarrollan actividades en pro del medio ambiente contribuyendo en algo la calidad de vida de las futuras generaciones, puesto que el efecto invernadero ya es una realidad y día a día vemos sus resultados en todas partes del mundo.

Haciendo uso de la apertura del gobierno para nuevas inversiones encaminadas a mecanismo limpios de producción, este proyecto busca mitigar los efectos ambientales por generación de energía eléctrica por la quema de combustibles fósiles y de la misma forma la generación de ahorro significativo para búsqueda de la inversión.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 IDENTIFICACION DEL PROYECTO

Este proyecto permite aprovechar de las fuentes de calor de una planta de cemento y transformarlas en energía eléctrica y utilizarla otra vez en el proceso (Ver árbol de problemas y objetivos los anexos 1 y 2 respectivamente). Es decir que utiliza el Calor Residual para Generar Energía Eléctrica en una Planta de Cemento.

1.2 ANTECEDENTES Y CONTEXTO

La cogeneración ahorra energía y mejora la seguridad del abastecimiento. Además, con la cogeneración se obtiene disminución de las pérdidas de la red eléctrica, ya que las centrales de generación están cerca del lugar de consumo; y se adapta bien a las zonas aisladas o periféricas.

La energía térmica de gases de escape con altas temperaturas que se desperdicia en las chimeneas, se recupera como energía eléctrica por medio de calderas de recuperación del calor residual.

Particularmente, el sistema de Recuperación de Calor Residual contribuye también a la reducción de CO₂ al ambiente, reduce consumo de energía eléctrica, disminuye el consumo de agua por enfriamiento y hace más eficiente los procesos.

Actualmente, esta tecnología ha sido implementada en China, Japón, Corea, Taiwan, Pakistan, India y Tailandia con muy buenos resultados.

1.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION

Razones que motivaron a la realización del proyecto

Constantemente nos encontramos buscando la manera de encontrar ahorro en las empresas, siendo más eficientes o muchas veces utilizando la tecnología para facilitar los procesos de la industria.

El consumo de la energía eléctrica es uno de los costos operativos más significativos que afronta el sector industrial. Y en el país cada año se incrementa el consumo (crecimiento anual actual 6%). A todo ello se suma perjuicio que tiene el incremento de energía eléctrica en el ambiente puesto que se aumenta el

volumen de CO2 emitidos al ambiente por la quema de combustibles fósiles al ambiente para generar energía eléctrica.

Situación sin Proyecto

Actualmente, en la planta de cemento se consume 107 GWh al año, los cuales son suministrados por el Sistema de Interconexión Nacional, y se consume más 9 ton por hora agua industrial para el enfriamiento solo en el área del crudo.

Situación con el Proyecto

Con la implementación del proyecto se generarán 44.400 MWh al año, con lo cual se cubriría el 28% del consumo eléctrico de la planta en el primer año de operación, es decir que el ahorro esperado sería de 2 millones de dólares al año aproximadamente, se reduce 29.704 ton CO2 al año, lo cual puede ser aprovechado en la venta de bonos de carbono mediante un Mecanismo de Desarrollo Limpio y finalmente se ahorrará más 50 mil m³ de agua industrial al año.

2. PRINCIPALES DATOS DE LA PLANTA DE CEMENTO

2.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA

El Proyecto se desarrolla en el noroeste de la costa sur del Pacífico en América del Sur.

2.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Las temperaturas se mantienen estables durante el año, por lo general entre 20 y 32 ° C.

La temperatura varía entre los siguientes valores:

- Máxima 40 ° C
- Mínima 18 ° C
- Promedio anual de 28 ° C

Por otra parte la humedad relativa varía entre los siguientes valores:

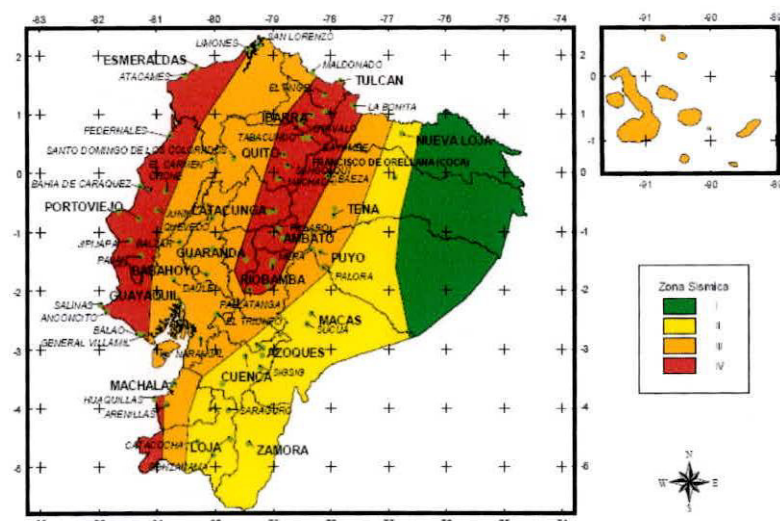
- Un máximo del 100%
- Mínimo de 60%
- Promedio anual de 65% predominante del viento es desde el sureste.

Las precipitaciones se dan principalmente los meses de noviembre a mayo.

2.3 CONDICIONES DEL SUELO

En la zona ecuatorial se destaca en mayor cantidad de área la Zona Sísmica III, el factor $Z = 0.30$, según el "Código Ecuatoriano de la Construcción". Una investigación del suelo se ha realizado recientemente en la zona de los hornos y el área de los silos de cemento de la planta, proporcionando la información necesaria para definir las fundiciones civiles requeridas para las construcciones pertinentes; este informe se ha utilizado como base para la estimación de las obras civiles realizadas en este estudio de viabilidad.

Figura 2.1 Mapa Sísmico del Ecuador



Fuente: Propuesta USFQ para el Nuevo Código de Construcciones Nacional 2011

Como información general, el pilotaje no es requerido para equipos pesados y las estructuras. Ejemplo de ellos son las torres de los Precalentadores 1 y 2 de 90 m de altura, los molinos. Aquí el suelo fue cavado a -4 metros, y los bloques de cimientos fueron construidos.

2.4 DATOS GENERALES DE LA PLANTA

La planta de cemento comprende de una línea de producción de Clinker (materia prima para la elaboración de cemento) con una capacidad nominal total de 4.000 Ton. clinker / día, con precalentador de 5 etapas y un consumo térmico de 1800 MJ/ton clinker aproximadamente.

Figura 2.2 Esquema de la planta de cemento



Fuente: Agrupación de fabricantes de Cemento en España (www.oficemen.com)

Molienda de crudo

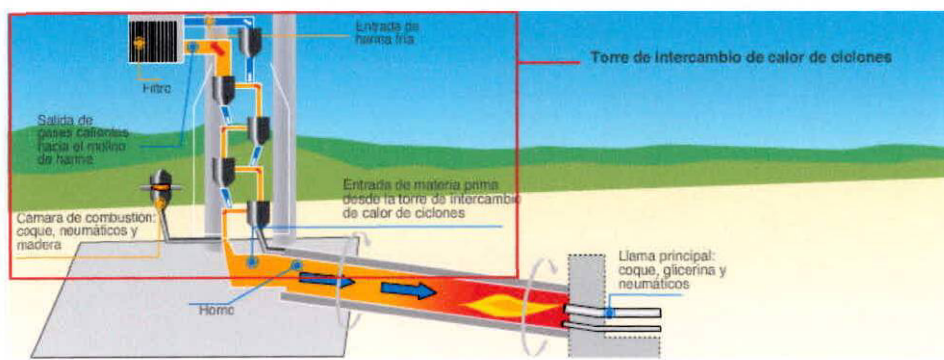
El proceso es realizado por un molino vertical de crudo de 260 ton/h que alimenta la línea de clinker y utiliza los gases de salida del precalentador.

Downcomer Cooling

Durante el funcionamiento directo de los gases residuales tiene que ser enfriado por inyección de agua en el downcomer después de los precalentadores.

De acuerdo con las cifras de producción y las temperaturas disponibles y los niveles de oxígeno después de los precalentadores y filtros principales el consumo de agua es de 9,10 ton/h en la línea clinker.

Figura 2.3 Proceso intercambio de calor en ciclones



Fuente: Agrupación de fabricantes de Cemento en España (www.oficemen.com)

Materias Primas y Aditivos

En la planta la limolita, arcilla amarilla y roja y óxido de hierro son utilizadas. La limolita tiene una humedad moderada de 3 - 5% y la arcilla, principal la roja, es muy húmeda aproximadamente 29 - 32%. Una vez mezclada su humedad varía entre 4% hasta los 7%.

Los Aditivos por otra parte no se secan con los gases de los Hornos.

Petcoke

El Petcoke es usado como el combustible tradicional. El calor requerido para molino de carbón es de 28'000 Nm³/h a 345°C. En la actualidad, el molino es operado con gas caliente después de los Ventiladores Principales. Durante las paradas del molino de crudo las salidas de gases de los precalentadores son enfriados con agua (downcomer cooling). El molino de carbón es capaz de funcionar a temperaturas inferiores a 250 C también. Por lo tanto, el concepto de flujo de gas se podía mantener.

En caso de retener el concepto de flujo de gas, la operación de molino de carbón afectaría la operación molino de crudo y viceversa, ya que los flujos requeridos cambian con la temperatura ajustada.

Para facilitar la operación de carbón y crudo se ha conectado directamente un arreglo de ductos de gases caliente desde los precalentadores.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 ESTUDIO DE MERCADO

La cogeneración en el mundo está siendo aplicada para producir energía eléctrica simultáneamente con energía térmica a través de calor mediante procesos industriales.

En muchos países como Estados Unidos, gran cantidad de hospitales y universidades operan normalmente en modalidad cogenerativa de alta eficiencia, por otro lado Brasil ya cuenta con varias instalaciones de refrigeración en las ciudades más importantes donde existen centros comerciales basados en instalaciones de cogeneración, y aportan eficientemente al acondicionamiento del aire en espacios públicos.

3.1.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

Invertir o no invertir para Instalar un Sistema de Generación Eléctrica que funcione con la recuperación del calor residual, inherente en el proceso de una planta cementera en la ciudad de Guayaquil.

3.1.2 COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN DE MERCADO

El análisis a realizar se centra en los siguientes puntos:

- A. Inversiones a realizar en generación eléctrica (privadas o estatales) para los próximos 8 años.
- B. Proyecciones de Tarifas del Mercado eléctrico del Ecuador, tendencias de precio de KWh para los próximos 8 años.
- C. Proyecciones de consumo KWh versus capacidad de cogeneración para los próximos 10 años en una planta cementera del Guayaquil.

A continuación se presenta el análisis de cada uno de los componentes de la investigación de mercado:

Tabla 3.1 Componentes de Investigación de Mercado

COMPONENTES DE INVESTIGACION	COMPONENTES ESPECIFICOS	HIPOTESIS	FUENTES DE INFORMACION
Inversiones a realizar en generación eléctrica (privadas o estatales), para los próximos 8 años	Analizar el Plan de Electrificación del Ecuador, proyecciones de demandas y generación para los siguientes 8 años	Eliminación de importación de energía eléctrica. Beneficios tributarios por generación de energía fuentes renovables.	Plan Maestro de Electrificación 2012 -2021. Ley de Régimen Tributario Interno (2008)
Proyecciones de Tarifas del Mercado eléctrico del Ecuador, tendencias de precio de KWh para los próximos 8 años	Analizar cambio de matriz energética en próximos años.	Eliminar dependencia de generación térmica dentro de la matriz energética. Incremento de precios del KWh solo por temas inflacionarios	Catálogo de Proyectos de Sectores Estratégicos 2012.
	Obtener tendencias de las tarifas del KWh, a través de Estadísticas del Sector eléctrico de años anteriores.	Incremento anual continuo en tarifas eléctricas.	Estadísticas anuales del Sector Eléctrico Ecuatoriano. CONELEC. Reporte anual de la planta cementera
Proyecciones de consumo de KWh para los próximos 10 años en una planta cementera	Consumo y precio de la energía eléctrica en la planta	Incremento de consumo eléctrico en la planta	Reporte anual de la planta cementera

Elaboración: Autores

3.1.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACION DE MERCADO

Investigación Concluyente:

- Datos de Informes de entidades públicas del sector eléctrico
- Usaremos el diseño de Investigación de Sección Transversal
- Datos reales de consumo de la planta de cemento en estudio

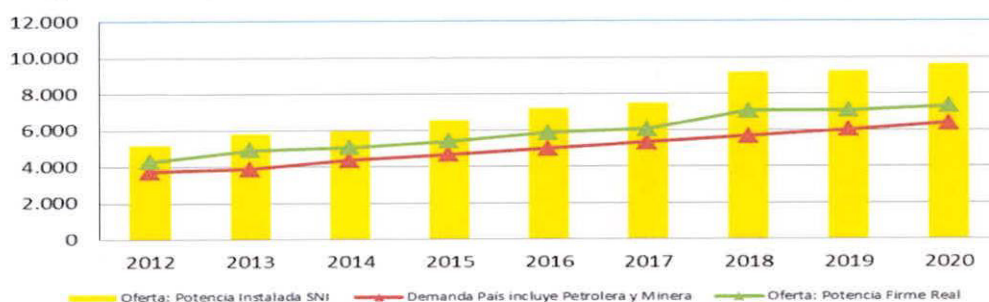
3.1.4 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN DE MERCADO

A. Inversiones a realizar en generación eléctrica (privadas o estatales), para los próximos 8 años

Analizar el Plan de Electrificación del Ecuador, proyecciones de demandas y generación para los siguientes 8 años. – Actualmente, la potencia instalada de la energía eléctrica en el país se encuentra en 4666 MW. Hasta el año 2010, Ecuador seguía importando energía eléctrica de Perú y Colombia dando como resultado un déficit de generación eléctrica.

La idea del gobierno y cubrir dicho déficit con generación de energía eléctrica mediante la construcción de nuevas plantas de generación nacionales, o dicho de otra forma el Plan Maestro de Electrificación hasta el 2020 del CONELEC ante la tendencia bajo algunos escenarios de la proyección del incremento de la demanda de energía eléctrica:

Figura 3.1 Proyección de capacidad instalada versus la demanda máxima (MW)



Fuente CELEC-EP

Elaboración: Autores

Debemos considerar como factor importante es el crecimiento de la potencia instalada que es menor al crecimiento de la demanda de Energía eléctrica. Adicionalmente la implementación de Tarifas Sociales o cruzadas, donde el subsidio al sector residencial de clase económicamente baja será la prioridad, se prevé que esta diferencia será asumida por el sector Industrial.

Adicionalmente, en el futuro se prevé que el ingreso de la minería a gran escala, demandará progresivamente desde 300 MW en el 2014 hasta 1,200 MW en el 2020. Uno de ellos ha entrado ya en la etapa de construcción, el proyecto Mirador, ubicado en Zamora Chinchipe. Con ello la empresa Ecuacorrientes tiene como

objetivo explotar cobre a gran escala, con una estimación de 27 mil toneladas al día. En la tabla 3.2 se observa los distintos proyectos mineros a gran escala en el país.

Tabla 3.2 Proyectos mineros a gran escala en el Ecuador

NOMBRE	COMPAÑÍA	PROCESAMIENTO ESPERADO (Ton/año)	MINERAL	Concesión (años)	Ubicación	Gwh/año (2013)
Fruta del Norte	Kinross Aurelian	8,51	Oro	20	Zamora	170,27
Mirador	Ecuacorriente S.A. (ECSA)	97.522,37	Cobre	22	Zamora	508,48
San Carlos Panantza	Explorcobres S.A. (EXSA)	167.629,94	Cobre	25	Morona	874,02
		0,34	Oro			6,77
Quimsacocha	Iamgold Ecuador S.A.	7,09	Oro	12	Azuay	141,89
Río Blanco	San Luis Minerales S.A. (IMC)	1,88	Oro	8	Azuay	37,70
Total						1.739,13

Fuente: Ministerio de Recursos No Renovables (<http://www.mmrnr.gob.ec/>)

Elaboración: Autores

Por otro lado, al sector petrolero se lo incorporará al SNI, mediante el proyecto OGE, para la generación eléctrica utilizando el gas asociado de petróleo, con una planta ubicada en Shushufindi 140-210 MW y dos de 100 MW cada uno, en sitios por definirse.

Es por eso que el país se está preparando con proyectos de alta inversión para la generación de energía eléctrica con distintas fuentes.

Actualmente el gobierno está invirtiendo fuertemente en proyectos de generación de energía eléctrica, nomás desde presente año hasta el 2020 se estima un total de US\$ 8.6 mil millones de inversión para generar 4,612 MW, los cuales se dividen de la siguiente forma, según su fuente de energía:

- ▶ Hidro: 3,497 MW
- ▶ Térmicos y Otros: 1,040 + 75 MW

Las centrales hidroeléctricas no tendrán embalses para regular su producción, es por eso que el gobierno ha puesta en marcha su plan para generar energía y así suplir la necesidad creciente en los próximos años. En la figura 3.2 podemos encontrar los distintos proyectos que entraran en funcionamiento hasta el 2014.

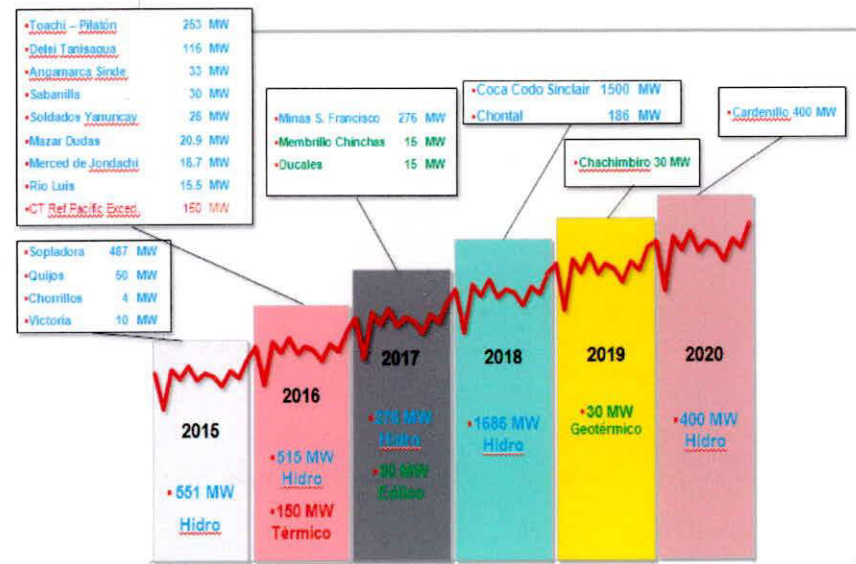
Figura 3.2 Expansión de generación 2011 – 2014



Fuente: CENELEC-EP
Elaboración: Autores

De la misma forma se proyecta que la capacidad de generación de energía eléctrica se incrementara en el país aún más hasta el 2020 (ver figura 3.3), siendo Coca Codo Sinclair el proyecto de mayor generación de energía eléctrica del país, con 1500 MW de capacidad y ubicado en la provincia de Napo y Sucumbíos, entrara en funcionamiento a partir del 2018.

Figura 3.3 Expansión de generación 2015 – 2020



Fuente: CENELEC-EP
Elaboración: Autores

Beneficios Tributarios

Según el artículo 10 numeral 7 de la LEY REGIMEN TRIBUTARIO INTERNO (2008) (Agregado por la Disposición Reformatoria Segunda, 2.3 numeral 2, del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, R.O. 351, 29-XII-2010)

La depreciación y amortización, conforme a la naturaleza de los bienes, a la duración de su vida útil, a la corrección monetaria, y la técnica contable, así como las que se conceden por obsolescencia y otros casos, en conformidad a lo previsto en esta Ley y su reglamento.

La depreciación y amortización que correspondan a la adquisición de maquinarias, equipos y tecnologías destinadas a la implementación de mecanismos de producción más limpia, a mecanismos de generación de energía de fuente renovable (solar, eólica o similares) o a la reducción del impacto ambiental de la actividad productiva, y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, se deducirán con el 100% adicional, siempre que tales adquisiciones no sean necesarias para cumplir con lo dispuesto por la autoridad ambiental competente para reducir el impacto de una obra o como requisito o condición para la expedición de la licencia ambiental, ficha o permiso correspondiente. En cualquier caso deberá existir una autorización por parte de la autoridad competente.

Este gasto adicional no podrá superar un valor equivalente al 5% de los ingresos totales. También gozarán del mismo incentivo los gastos realizados para obtener los resultados previstos en este artículo. El reglamento a esta ley establecerá los parámetros técnicos y formales, que deberán cumplirse para acceder a esta deducción adicional. Este incentivo no constituye depreciación acelerada.

Además, según lo estipulado en los incentivos al código de la producción el valor del impuesto a partir del 2013 cambiará a 22%.

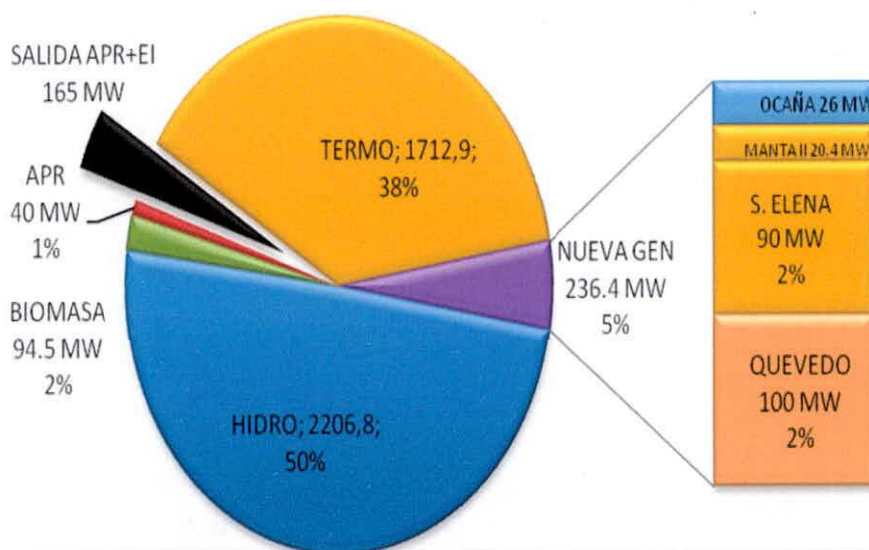
En definitiva, con todos estos proyectos se busca la eliminación de la importación de la energía eléctrica desde los países vecinos para prevenir el alza en el precio del KWh.

Adicionalmente, para incentivar y motivar a la generación de proyecto de energía renovable existen beneficio tributarios que hacen más atractiva las inversiones de este tipo.

B. Proyecciones de Tarifas del Mercado eléctrico del Ecuador, tendencias de precio de KWh para los próximos 8 años.

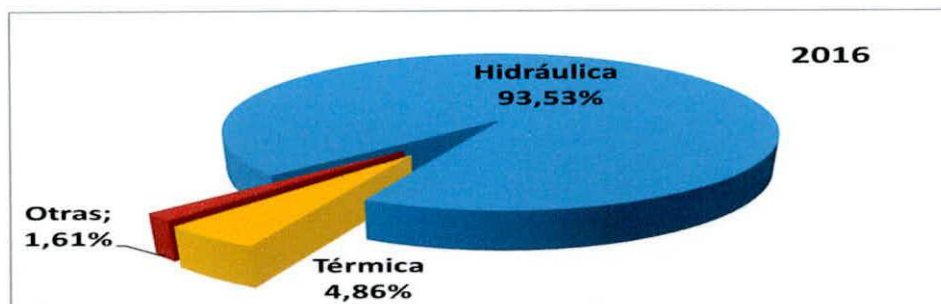
Analizar cambio de matriz energética en próximos años. - La poca disponibilidad de la oferta energética de las centrales hidroeléctricas en los períodos de estiaje, ha obligado al funcionamiento de las unidades de generación termoeléctrica de altos costos, sobre todo aquellas que funcionan con diesel o nafta. En el período de análisis, la utilización anual de diesel, fuel oil, nafta y residuo ha tenido un comportamiento creciente. Considerando adicionalmente que en el 2011 el 38 % de la generación del país correspondió a termogeneradoras; esto nos indica el grado de dependencia actual del KWh respecto al costo del precio del petróleo.

Figura 3.4 Matriz energética en diciembre del 2011



Fuente: CENELEC-EP

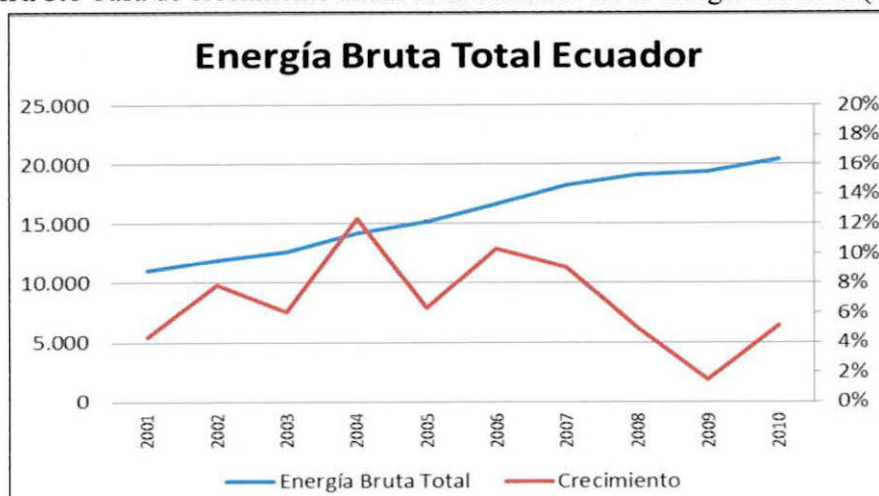
Sin embargo la matriz a partir del 2016 cambiará gracias a todos los proyectos de inversión que está realizando el gobierno, para de esta manera cubrir la demanda de electricidad basada en energías renovables y limpias, a bajo costo, y así ser exportadores de energía en el mediano plazo.

Figura 3.5 Matriz energética a partir del 2016

Fuente: Presentación de Proyectos de inversión Marzo 2012, Jorge Glas, Ministro Coordinador de Sectores Estratégicos

Según estos datos se concluye, que se eliminará la dependencia de generación térmica dentro de la matriz energética, y con ello la no dependencia del precio del KWh con el precio del petróleo. Es decir, que los incrementos futuros de precios del KWh solo se darán por temas inflacionarios.

Obtener tendencias de las tarifas del KWh, a través de estadísticas del sector eléctrico de años anteriores. - La demanda del Ecuador en los últimos años ha tenido un crecimiento anual en la Demanda en aproximadamente 6 % desde el 2001, esto se lo aprecia en el cuadro siguiente sobre la tasa de crecimiento anual de la energía eléctrica emitido por CONELEC (los datos anteriores al año 2000 no fueron tomados en cuenta para el análisis, debido a que el país no se encontraba dolarizado).

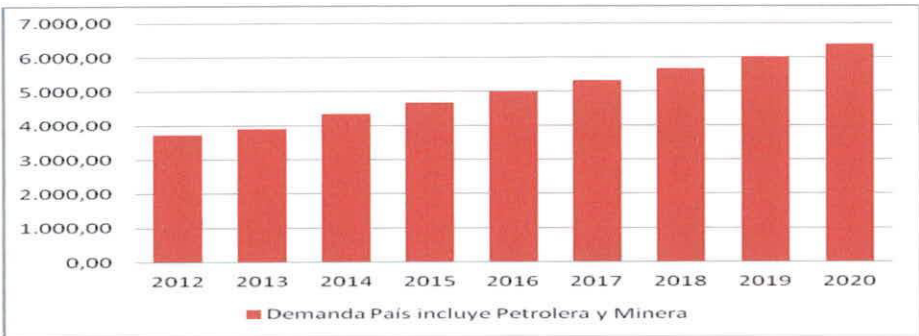
Figura 3.6 Tasa de crecimiento anual de la demanda de la energía eléctrica (GWh)

Fuente: CONELEC

Elaboración: Autores

Debido a los futuros nuevos consumidores, tales como las empresas petroleras y mineras, se obtiene la siguiente proyección de demanda máxima en MW:

Figura 3.7 Demanda máxima del país (MW)



Fuente: CONELEC
Elaboración: Autores

Por otra parte, el **precio de la energía eléctrica** se encuentra subsidiado en el precio del combustible. Para la generación térmica, el costo de transmisión y de distribución lo está asumiendo el Estado y no se lo toma en cuenta para el cálculo tarifario. Dichos valores han fluctuado tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Histórico de precios – Centavos de USD/KWh

Precios medios a clientes finales de distribuidoras (USD ¢/kWh)												
Año	Residencial		Comercial		Industrial		A. Público		Otros		Medio	Variación (%)
	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)		
1999	5,01		3,68		3,62		5,12		3,87		4,30	
2000	3,64	-27,37%	3,49	-5,32%	3,52	-2,65%	3,95	-22,85%	3,66	-5,49%	3,61	-16,21%
2001	5,95	63,73%	6,41	83,87%	6,83	93,83%	6,78	71,76%	6,79	85,86%	6,43	78,29%
2002	8,66	45,51%	8,03	25,23%	6,50	-4,89%	10,07	48,54%	8,37	23,21%	8,01	24,64%
2003	9,46	9,14%	8,11	1,01%	5,87	-9,71%	11,24	11,58%	8,21	-1,91%	8,19	2,28%
2004	9,83	3,93%	7,33	-9,56%	4,66	-20,50%	11,49	2,30%	7,72	-6,03%	7,79	-4,94%
2005	9,73	-0,96%	6,71	-8,54%	4,14	-11,26%	10,97	-4,58%	7,56	-2,00%	7,38	-5,32%
2006	9,77	0,41%	6,67	-0,52%	3,89	-5,93%	11,59	5,65%	7,31	-3,35%	7,29	-1,22%
2007	9,64	-1,39%	6,84	2,59%	3,99	2,49%	11,97	3,30%	7,35	0,62%	7,38	1,31%
2008	9,36	-2,92%	7,54	10,15%	4,34	8,74%	11,40	-4,78%	7,08	-3,74%	7,49	1,53%
2009	9,04	-3,34%	7,73	2,58%	5,65	30,28%	10,52	-7,66%	7,06	-0,25%	7,66	2,26%
2010	9,22	1,93%	7,84	1,46%	6,07	7,43%	9,86	-6,31%	5,86	-16,96%	7,76	1,20%
2011	9,42	0,29%	7,83	-0,09%	5,96	0,16%	10,17	-0,01%	6,19	-0,94%	7,80	0,03%
2012*	9,33	-0,99%	7,86	0,41%	6,08	1,90%	10,08	-0,80%	5,98	-3,30%	7,80	0,02%

*Año Móvil a febrero de 2011

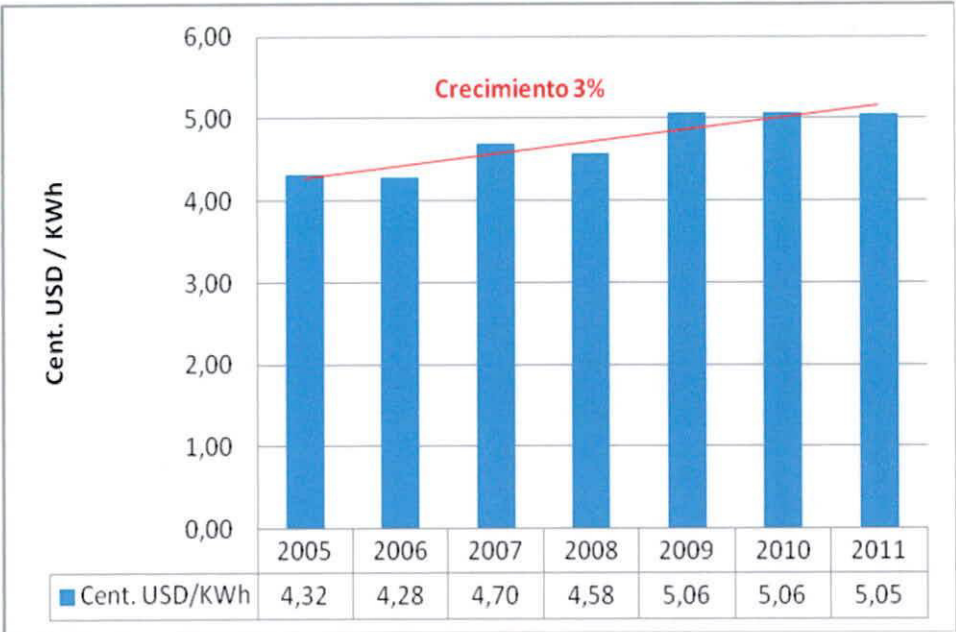
Fuente: CONELEC

A partir de estos datos se puede concluir que la variación del precio de la energía ha sido positiva y tuvo su valor máximo de 30,28% en 2009, debido a racionamientos de energía eléctrica en ese año.

Cabe recalcar que los usuarios regulados están sujetos a las tarifas fijadas por el CONELEC, para la distribuidora Eléctrica de Guayaquil y que corresponde a los clientes industriales. Este el caso de planta cementera en estudio.

Según los datos de planta se tienen los precios históricos a partir del 2005 para obtener la tendencia proyectada para los próximos años.

Figura 3.8 Histórico de Precios en Centavos de USD/KWh



Fuente: Reporte anual de la Planta Cementera

Elaboración: Autores

Según estos datos históricos **se obtiene una línea de tendencia de incremento anual de 3 %**; valor con el cual se proyecta los precios de la energía eléctrica para la planta cementera en estudio, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Proyecciones de precios en centavos USD/KWh

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Cent. USD/ KWh	5,06	5,21	5,15	5,31	5,46	5,63	5,79	5,97	6,15	6,33	6,52

Elaboración: Autores

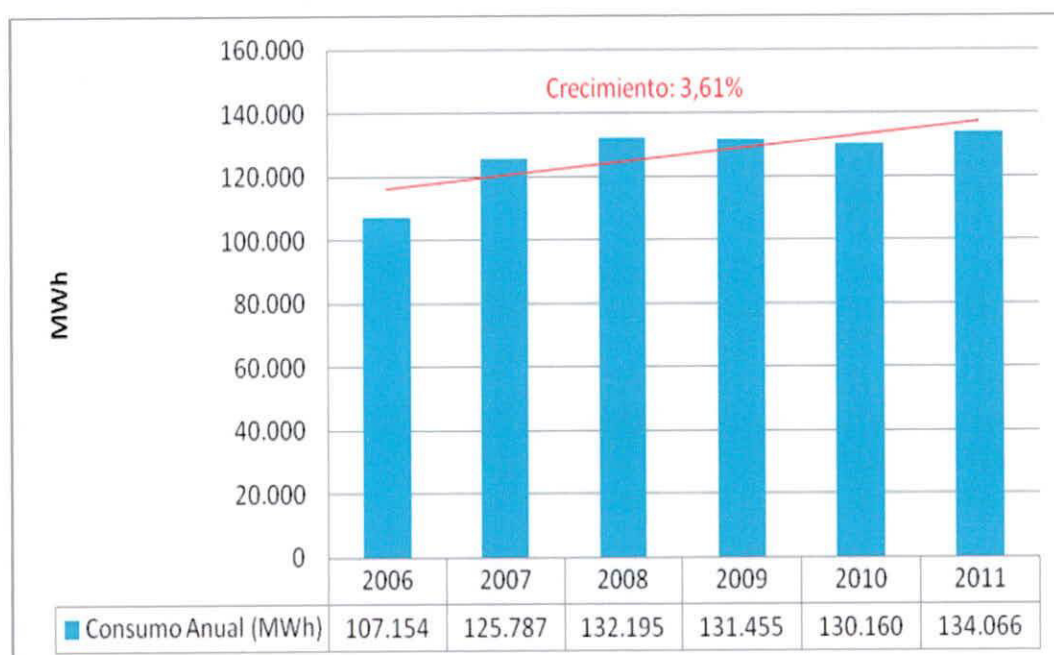
C. Proyecciones de consumo de KWh para los próximos 10 años en una planta cementera

Consumo de la energía eléctrica en la planta

La Planta de Cemento está conectada a la red eléctrica pública como agente regulado de Operadora del área de concesión por la Empresa Eléctrica Pública a nivel de 69 KV. Según datos actuales el consumo total de electricidad durante el año 2011 fue de 134 GWh.

En la siguiente gráfica se observa los datos de los consumos eléctricos a partir del 2006 hasta el 2011, del cual podemos obtener la tendencia de un marcado crecimiento anual del 3,61% del consumo de la energía eléctrica debido la continua instalación de nuevos equipos a lo largo de todo este periodo.

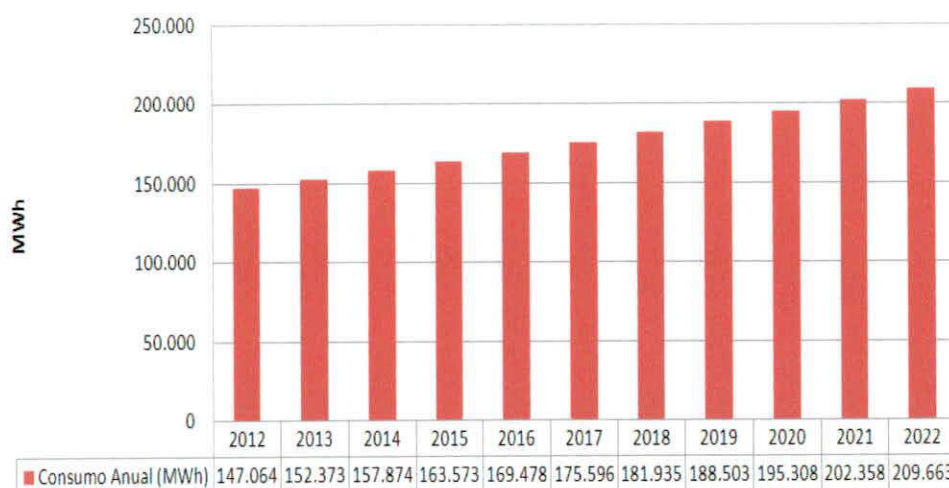
Figura 3.9 Consumo eléctrico en la planta (2006 – 2011)



Fuente: Reporte anual de la Planta Cementera

Elaboración: Autores

Según el análisis de los datos histórico de consumo eléctrico (ver figura 3.10) hemos denotado la tendencia normal, sin ninguna ampliación a gran magnitud como se dio el pasado 2011, se mantendrá un crecimiento anual del 3%. Siguiendo la misma tendencia se obtiene la siguiente gráfica.

Figura 3.10 Proyección del consumo eléctrico en la planta (MWh)

Elaboración: Autores

Con la implementación del proyecto se generarán 44.400 MWh al año, con lo cual se cubriría el 28% del consumo eléctrico de la planta en el primer año de operación, es decir que el ahorro esperado sería de 2 millones de dólares al año aproximadamente.

3.1.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

- Con las inversiones que está realizando el gobierno para la construcción de más hidroeléctricas, se busca reducir a cero las importaciones de energía eléctrica provenientes desde Perú y Colombia.
- Existen beneficios tributarios para proyectos de generación de energía renovable que producen un valor agregado para los inversionistas.
- Con el cambio de la matriz energética del país, se eliminará la dependencia del precio del KWh con el del petróleo, puesto que con la creación de nuevas hidroeléctricas se buscará sustituir en gran medida a las termoeléctricas. Por lo tanto, las variaciones del precio de la energía eléctrica solo se verá influenciado por temas inflacionarios en el país.

- Existe un incremento continuo de las tarifas eléctricas en el país, y en el caso de la planta cementera (sector industrial con tarifa regulada) se obtuvo un crecimiento histórico de 3 % anual calculado en el periodo 2005 - 2011. Actualmente, el precio del KWh es de 5,06 centavos de dólar.
- El consumo anual de energía eléctrica de la planta cementera en estudio ha ido creciendo de 107 a 134 GWh desde el 2006 hasta 2011, y el incremento anual calculado en ese periodo fue de 3,61%, debido a la continua instalación de nuevos equipos, en el supuesto que no se realice algún proyecto de expansión a gran escala.
- Con la implementación del proyecto se generará 44,4 GWh, es decir que se ahorrará un 28% del consumo de la energía eléctrica de la planta, que equivale 2 millones de dólares al año aproximadamente. Por lo tanto existe muy altas probabilidades para invertir en un Sistema de Generación Eléctrica que funcione con la recuperación del calor residual, inherente en el proceso de la planta.

Se recomienda lo siguiente:

- Utilizar las proyecciones de tarifa para generación del flujo de caja del proyecto.
- De la misma forma, los beneficios tributarios deberán ser tomados muy en cuenta para la formulación del flujo de caja, debido a que representan factores claves de ahorro para la generación del proyecto.

3.2 VIABILIDAD TÉCNICA

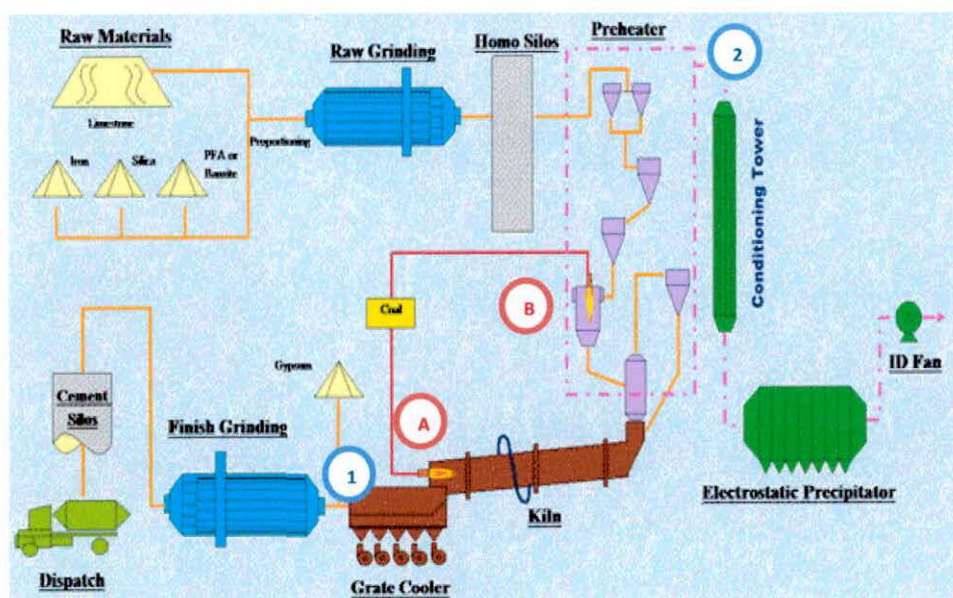
3.2.1 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA PARA APROVECHAR EL CALOR RESIDUAL

En el proceso de la fabricación del cemento se identifican algunos puntos calientes en donde se podrían aprovechar la energía.

En la siguiente grafica se muestran los círculos rojos A y B que representan los puntos en donde durante el proceso de elaboración del Cemento se procede a la quema de combustibles convencionales para elevar la temperatura interna del Horno y obtener el Clinker (materia prima para la elaboración del Cemento).

Por otra parte los círculos azules 1 y 2 son los puntos de salida de gases residuales del proceso, los gases del punto 1 se los utiliza como aire de secado en el área de molienda de crudo la temperatura requerida en el proceso de molienda es variable dependiendo de la producción del equipo; luego de ese paso los gases tienen que realizar un proceso de enfriamiento y filtrado antes de poder salir al ambiente.

Figura 3.11 Fuentes de calor residual en la industria del cemento



Fuente: http://www.sbmchina.com/cement_plant/products/cement_producing_process.html

A continuación se detalla la capacidad de recuperar calor en los puntos 1 y 2:

Capacidad de Calor Residual en el Punto 1. (Precalentador)

La siguiente tabla muestra la disponibilidad de flujo de gases, horas de operación, y temperaturas del punto 1.

Tabla 3.5 Calor Residual en Precalentador

DESCRIPCION	CANTIDAD
Flujo (Nm3/h)	184.000
Temp. Gases (° C)	350
Min. Temp. Molienda (° C)	231
Horas Operación	7000
MW	9,2

Fuente: Reporte anual de la planta

Elaboración: Autores

Capacidad de Calor Residual en el Punto 2. (Enfriadora)

A diferencia de los gases del punto 1, los gases del punto 2 no se los utiliza para ningún proceso adicional. La siguiente tabla muestra la disponibilidad de flujo de gases, horas de operación, y temperaturas.

Tabla 3.6 Calor residual en la enfriadora

DESCRIPCION	CANTIDAD
Flujo (Nm3/h)	81.000
Temp. Gases(° C)	370
Horas Operación	7000
MW	13,6

Fuente: Reporte anual de la planta

Elaboración: Autores

3.2.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION CONCEPTUAL PARA APROVECHAR EL CALOR RESIDUAL

Para la selección de cada uno de los subsistemas apropiados del proyecto se parte primero con la definición cada uno de los escenarios y luego se analiza su factibilidad técnica. A continuación se puede observar las posibles alternativas de solución:

- Una caldera común para el precalentador y para la enfriadora.
- Una caldera solo en el precalentador y otra para la enfriadora

Calderas.- Si analizamos primero una caldera común para cada punto de interconexión denotaremos las siguientes conclusiones:

- No hay espacio suficiente para una caldera tan grande.
- Se reduce el control y la flexibilidad de los gases por medio de los ventiladores de tiro.

Turbina de gases.- La industria ofrece una amplia gama de motores para varias demandas. Se pueden distinguir principalmente en relación con el rendimiento.

Para este sistema se necesitará una turbina para un rango de aproximadamente de 6 a 9 MW (la producción bruta eléctrica en el generador). Para una planta de energía de pequeña potencia en el intervalo mencionado y una presión dos sistema (sobrecalentamiento intermedio después de la etapa de la turbina de HP) no coinciden económicamente las demandas a causa de los costes de inversión muy alto. En conjunto un costo eficiente con una sola etapa de turbina de vapor en una disposición de un solo eje de turbina y generador es más recomendable. Existen posibles proveedores fiables de tal dispositivo son, por ejemplo: Siemens Ltd, TGM Turbinas, y Dresser Rand Ltd.

Con una turbina de vapor de parámetros seleccionados de la clase y de vapor, un proceso general la eficiencia (potencia eléctrica / total de calor recuperado) oscila entre 15% y el 25% puede ser alcanzado.

Sistema de enfriamiento principal.- La eficiencia eléctrica y en consecuencia la potencia de salida de un sistema de cogeneración por medio de energía térmica es afectada por el tipo de sistema de refrigeración utilizado. La selección de un sistema de enfriamiento adecuado es, por tanto, una cuestión de análisis cuidadoso, especialmente para el condensador de vapor que es el mayor consumidor.

Los siguientes tipos de sistemas de enfriamiento pueden ser aplicados:

- Ciclo abierto sistema de refrigeración con el agua como medio de enfriamiento
- Ciclo cerrado y sistema de refrigeración: sólo con agua como medio de enfriamiento o con agua y el aire como medio de enfriamiento
- Sistema de enfriamiento de aire seco

Sin embargo teniendo en cuenta la baja disponibilidad de agua de pozo en combinación con el alto precio de agua potable, un Sistema de Enfriamiento en Seco proporcionará la mejor relación costo-beneficio y es por lo tanto, lo más ideal para este proyecto.

En el caso de nuevas fuentes de agua estará disponible (por ejemplo, de nuevos pozos), un ciclo cerrado del sistema de refrigeración de tiro forzado con la torre de refrigeración húmeda debe ser reconsiderado.

En conclusión según el análisis de las alternativas elegimos la opción 2 para la implementación del proyecto, es decir, una caldera para el precalentador y una para la enfriadora (total: 2 calderas), con un sistema de enfriamiento aire seco por tener la mejor relación costo beneficio.

3.2.3 DISEÑO BASICO CONCEPTUAL DEL CICLO TERMICO

Después de la decisión acerca de los componentes principales del Sistema se ha hecho el diseño básico conceptual de su ciclo térmico. El ciclo térmico comprende los siguientes componentes principales:

- Caldera en el Precalentador que consisten en el evaporador y súper calentador.
- Caldera en la enfriadora que consisten en economizador común evaporador y súper calentador.
- Vapor de la turbina acoplado directamente con el generador
- El sistema de refrigeración principal con condensador refrigerado por aire.
- El ciclo del agua con tanque de condensado de vapor, bombas de condensado, y el desaireador alimenta el tanque de agua, bombas de alimentación de calderas principales, HP-by-pass, LP-by-pass, el vapor tubería, la tubería de condensado y la tubería de alimentación de agua.

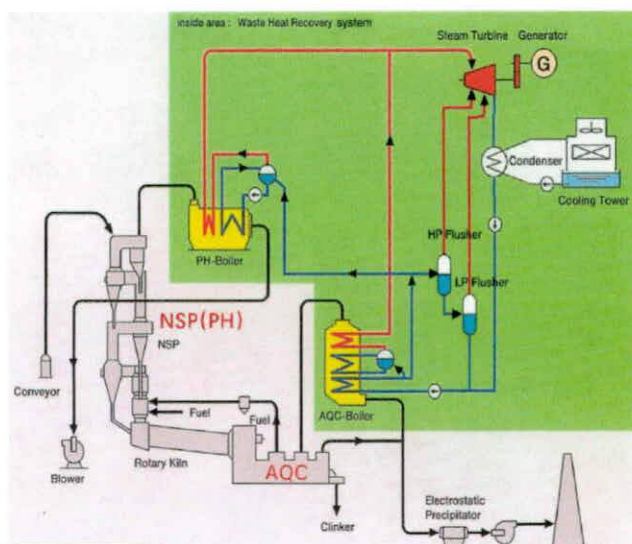
La base térmica del diseño del ciclo se encuentra en las condiciones:

- Temperatura ambiente: 28 ° C
- Humedad Relativa: 65%

La turbina de vapor se suministra con vapor vivo generado en cuatro unidades de calderas: dos calderas de recuperación de calor en los precalentadores y dos en las enfriadoras. Los cuatro flujos de vapor se mezclan en la cabecera de vapor principal y conducido a una turbina de vapor común. El vapor se expande, se condensa en el condensador y el condensado se bombea a través del tanque de alimentación de agua de nuevo a las unidades de calderas.

La caldera del precalentador debe estar provista de una derivación con el fin de asegurar el nivel de temperatura adecuada en la entrada del molino de carbón en todas las condiciones operativas. A fin de lograr el mejor rendimiento de una las fuentes de calor disponibles (es decir, gas de escape de precalentadores y enfriadoras de clínker) para que se enfríe a temperaturas más bajas posibles. La temperatura en la salida de las calderas de los precalentadores estará por encima de 230°C . Esto permite la opción técnica, para obtener un economizador de etapas que se traducirá en una menor inversión en el costo de las mismas (ver figura 3.12).

Figura 3.12 Flujograma de sistema de recuperación de calor



Fuente: http://www.jetco.go.jp/mexico/topics/20071017878-topics/Kawasaki_Waste_Heat_Recovery_Cement_Plant.pdf

Además, debido a razones termodinámicas una mayor cantidad de vapor producible en la caldera de la enfriadora. La presión de vapor vivo para este ciclo de vapor de agua se selecciona de acuerdo a las experiencias de este nivel de presión permitirá una buen proporción de costo beneficio para el proyecto.

Las calderas se encuentran lo más cerca posible a las fuentes de calor con el fin de minimizar las pérdidas térmicas. Las eficiencias son valores medios de los proyectos similares que han sido investigados antes.

Las eficiencias de los diferentes sistemas se seleccionan como sigue:

- Calderas: 46% - 59% (el calor recuperado / calor disponible)
- Turbinas de vapor: 19% (la potencia mecánica / calor recuperado)
- Generador de: 96% (mecánica de entrada / salida eléctrica).

Las dimensiones (y el coste de inversión) de una caldera de recuperación de calor residual dependen principalmente en el flujo de masa volumétrica de los gases de escape y la temperatura en la salida.

Tabla 3.7 Energía producida por el sistema de recuperación de calor

No.	Descripción	Unidad.	Cantidad
1	Capacidad de Generación Bruta	MW	7,2
2	Consumo auxiliar	MW	0,5
3	Perdidas	MW	0,1
4	Capacidad de Generación neta	MW	6,6
5	Duración Operacional Anual	Horas	7000
6	Confiabilidad del sistema	%	96
7	Generación Anual	GWh	44,4

Elaboración: Autores

3.2.4 ASPECTO DE INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA

Como ya se ha derivado por encima del generador de turbina de vapor se deberá conectar a la línea principal de 69 KV existente a través de un transformador y el interruptor de alta tensión como entrada nueva del alimentador. Además el nuevo generador disyuntor debe ser instalado para llevar a corrientes altas DC y la posibilidad de cero. La planta de energía será suministrada por la unidad de transformador auxiliar $U_G/0.4$ KV, que se conecta entre el disyuntor del generador y transformador elevador.

A partir de energía auxiliar para la planta de energía se tomará de las celdas de 69 KV mientras que el disyuntor del generador se abre. La planta de energía se sincroniza con el disyuntor del generador en todos los casos, así el modo de isla de la planta de cemento no es factible.

En todos los casos hay pérdidas de potencia de baja tensión, baterías como grupos continuos provee el poder necesario para sostener todos los sistemas para el apagado de forma controlado y seguro. El sistema de DC y el sistema de UPS debe ser de un diseño redundante.

3.2.5 ASPECTOS CIVILES

Se recomienda llevar a cabo estudios de suelos directamente en las ubicaciones potenciales de las cimentaciones. Todas las obras civiles se llevarán a cabo de conformidad con las disposiciones nacionales, códigos y normas internacionales con los requisitos más conservadores para ser decisivo. Estos códigos se encuentran, entre otros, el "Código Ecuatoriano de la Construcción de 2002 ", el "Uniform Building Code (UBC) de 1997 ", etc.

Esta área está expuesta a un alto riesgo de actividad sísmica. Los terremotos con intensidades arriba de IX según la Escala de Intensidad de Mercalli Modificado se han registrado en los últimos siglos, dando como resultado en destructivos para los daños ruinosos de los edificios y estructuras. De acuerdo con el "Código Ecuatoriano de la Construcción 2002", se clasifica como sísmica III zona con el factor $Z = 0,30$.

Todas las estructuras, edificios, tanques y tubos deberán estar diseñados para soportar posibles impactos de los terremotos. Todas las grandes instalaciones se diseñarán de acuerdo con aplicables las normas sísmicas y deberán ser capaces de soportar aceleraciones horizontales y verticales causados por las actividades sísmicas.

A fin de lograr una aceptable relación de costo-beneficio en el caso de un sismo intenso, daños y perjuicios de las estructuras y las instalaciones se aceptarán siempre y cuando ningún equipo de seguridad pertinente se vea afectado. Esto incluye el equipo necesario adicional para una segura parada de la planta de energía durante un posible evento sísmico.

3.2.6 ANÁLISIS DE POSIBLES UBICACIONES DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN RESIDUAL DE GASES DENTRO DE LA PLANTA

La planta de energía se integrará tanto como sea técnicamente posible y económicamente adecuada dentro de la planta de cemento, con el fin de reducir la inversión y el costo operativo. Para cumplir con el objetivo se deberá analizar la disposición de los siguientes componentes:

- Almacenamiento de agua de suministro y sistema de tratamiento
- Tratamiento de aguas residuales
- Estación de aire comprimido
- Sala de control central
- Los edificios sociales, tiendas, talleres, zona de aparcamiento, los caminos comunes y otras infraestructuras.

Edificio de Turbogenerador. – Sus dimensiones se estiman provisionalmente en 21 m x 21 m x 14 m de alto. En este edificio se instalará el grupo electrógeno (turbina de vapor, caja de cambios, el generador), sus auxiliares, el condensador, y sala de control vecinal.

La turbina de vapor se instalará sobre una plataforma elevada, con el condensador por debajo, a nivel del suelo.

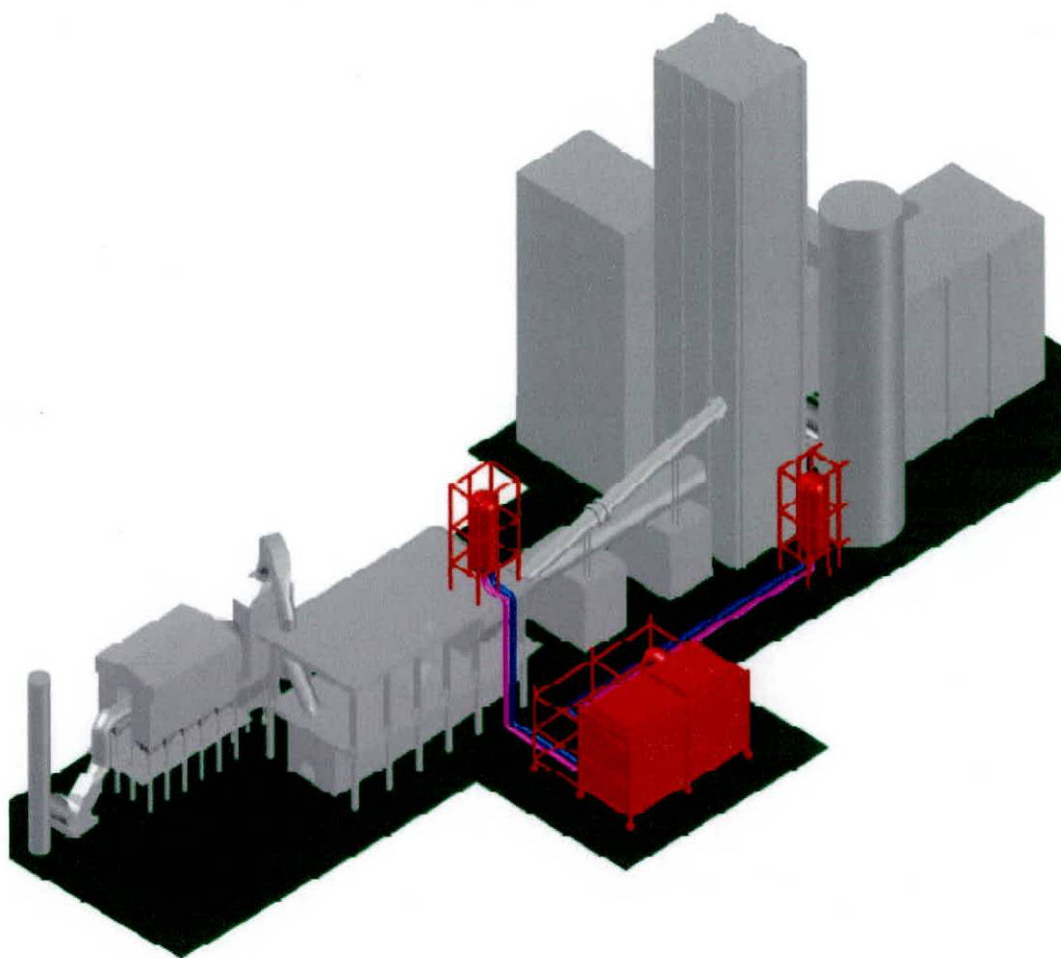
Caldera de Precalentadores. – Sus dimensiones se estiman provisionalmente en 11 m x 13 m x 14 m de alto. Al haber espacio suficiente a los lados del precalentador será suficiente colocar esta caldera a nivel de suelo.

Caldera de enfriadoras de clinker. – Las dimensiones se estiman provisionalmente en 11 m x 11 m x 13 m de alto. Teniendo en cuenta que el espacio no está disponible a nivel del suelo, los equipos se instalarán sobre plataformas elevadas, en aprox. 13 m. desde el nivel del suelo. La zona se encuentren directamente a través del enfriador de clinker y una sala de control principal, donde la instalación sería mejor puesto que la ductería sería menor pero muy complejo, teniendo en cuenta equipos y estructuras existentes.

Torre de Enfriamiento.– El espacio necesario preliminar estimado sería de 41mx7mx12m de alto. Teniendo en cuenta la gran tubería necesaria para llevar el agua de enfriamiento de la torre al condensador de vapor y el retorno, la torre de enfriamiento debe estar ubicada cerca del edificio del Turbogenerador con una ligera elevación. Es de destacar que la distancia desde el edificio de la turbina es relativamente corta, y viento predominante es del horno a las torres de enfriamiento.

Finalmente, el arreglo general más viable según el espacio disponible es el que se muestra en la figura 3.13. Una vez que se obtuvo el arreglo general de todo proyecto para la recuperación de gases residuales, se podrá analizar cada uno de los detalles constructivos en las distintas disciplinas, así como también cada uno de los escenarios del proyecto.

Figura 3.13 Arreglo general del proyecto



Elaboración: Autores

3.2.7 LISTADO DE EQUIPOS

Según el análisis de factibilidad técnico se ha llegado al siguiente listado de los equipos principales para la realización de este proyecto:

Tabla 3.8: Listado de equipos principales

EQUIPO / SISTEMA	DESCRIPCION
Generador	Sincrónico 2 - o 4 generador de polos, 60 Hz de energía o activa en los terminales del generador: aprox. 7,2 MW Factor de potencia nominal: 0.85 en retraso / sobreexcitada y 0,9 principal / subexcitado / Potencia nominal o aparente: aprox. 10,82 MVA / Tensión nominal (UG): 5 ... 11,5 kV
Interruptor del generador	Gas SF6 o vacío autoextinguible principio. Posibilidad de cambio de las corrientes con el DC-componente y retraso cruce por cero
Paso Transformador	Sumergidos en aceite, para interior / exterior de instalación Potencia nominal o aparente: aprox. 11,0 MVA Tensión Primaria / secundaria: UG / 69 kV
Unidad de Transformador auxiliar	Tipo seco, para instalación en interiores Potencia nominal o aparente: aprox. 800 kVA Tensión primaria / secundaria: UG / 0,4 kV
Distribución AC LV	Distribuciones interiores principales y secundarios, MCC, 400 V AC
Sistema de DC	220 V DC de salida de energía para los consumidores de emergencia (DC unidades, aparatos de maniobra, protección, anunciadores de alarma, etc), 24 V directamente en los paneles donde se requiera, redundante concepto (2 baterías, 1 cargador por batería), baterías o conectado en paralelo con la carga y 2 horas de espera sin cargar
Cables de Media Tensión	Cu o Al conductor, aislamiento XLPE, con pantalla de cable de Cu y cubierta de PE
Motor Eléctrico AC	400 V hasta 250 kW, 3-fases jaula de ardilla, de partida en línea directa

Elaboración: Autores

Adicionalmente, se necesitarán los siguientes equipos complementarios para la operación del sistema de recuperación de gases:

- Generador de regulador de voltaje
- Generador y los sistemas de protección del transformador
- Equipos de sincronización
- Dosificación y medición de ingresos
- Puesta a tierra y el sistema de protección contra rayos
- Iluminación y sistema de energía
- Sistemas de comunicación
- Sistema de alerta
- Detección de incendios y sistema de alarma
- GPS sincroniza el reloj del sistema
- Seguridad y vigilancia (posiblemente)
- Sistema de protección catódica

3.2.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

- Existen dos fuentes de calor residual en la planta, una en el precalentador y otra más en la enfriadora.
- La utilización de una caldera por cada fuente de calor residual (2 calderas) es la mejor opción debido al poco espacio que hay a los alrededores de los precalentadores y las enfriadoras.
- El sistema de enfriamiento en aire seco es la opción más viable a causa de que si usamos el agua como fuente de enfriamiento tendría un costo adicional de operación, puesto que la única fuente de agua libre es la de pozo y no abastecería a la demanda adicional.
- La energía que se recuperará con el sistema de gases residuales será de 44.4 GWh al año, es decir que con su implementación suministrará el 28% del consumo total de la planta en el primer año, con el que se espera obtener 2 millones de dólares de ahorro al año aproximadamente.

Se recomienda lo siguiente:

- Colocar en el lado del edificio de la torre de enfriamiento para obtener mejores resultados, debido al espacio disponible y a la ausencia de edificaciones a su alrededor permitiendo el fácil acceso de grandes volúmenes de viento.
- El uso de una turbina de una sola etapa con disposición de un solo eje de turbina – generador, por ser más económico en la operación.
- Colocar las calderas lo más cerca posible a las fuentes de calor para reducir las pérdidas de energía por distancias.

3.3 VIABILIDAD FINANCIERA

Con el proyecto se busca el ahorro de más de la quinta parte del consumo de la energía eléctrica de la planta al estar conectada a la Red de Interconexión Nacional.

COSTOS DE INVERSION

Para la implementación del proyecto se ha estimado un presupuesto referencial de 9.9 millones de dólares incluyendo los costos indirectos. A continuación se detalla cada uno de los rubros para su mejor comprensión:

Tabla 3.9: Costo de Inversión del Proyecto

No.	Rubros	Unidad	Monto
1	Suministro de equipo mecánico		
1.1	Turbina & Generador	KUSD	3,200
1.2	Calderas	KUSD	980
1.3	Sistemas de enfriamiento	KUSD	600
1.4	Equipos auxiliares	KUSD	520
1.5	Intercambiador de Calor	KUSD	750
2	Suministro de equipos Eléctricos	KUSD	800
3	Obra Civil	KUSD	700
4	Ingeniería de Detalle	KUSD	100
5	Sistema de control	KUSD	50
6	Transporte, Montaje y Puesta en Marcha	KUSD	1,102
A	Sub-Total	KUSD	8,802
C	Gastos Administrativos (3%)	KUSD	264
D	Contingencias (10%)	KUSD	880
E	Total (A+B+C)	KUSD	9,946

Fuente: Autores

El proyecto será financiado con fondos propios de la empresa cementera a través de la creación de una compañía subsidiaria con responsabilidad limitada. El suministro de los equipos principales serán elementos de importación, en los cuales se incluyen los gastos de transporte a puerto de lugar de destino y gastos por desaduanización. El Costo del Plan de Manejo Ambiental es USD 62,200 y está incluido en los rubros 1.1, 1.2 y 6 del Presupuesto Referencial (ver capítulo 4.2). La estructura metálica de edificios y calderería se fabricará localmente utilizando los planos de taller del diseñador.

COSTOS OPERATIVOS

Para operar con normalidad una planta de generación de energía de este tipo se necesitara la siguiente organización:

- Gerente o Administrador: 1
- Asistente Administrativo: 1
- Supervisor de Planta: 1
- Personal operativo: 4

Adicionalmente, se debe considerar los gastos fijos de mantenimiento, seguros y administrativos para la operación del sistema. Por otra parte debe tomarse en cuenta los costos variables relacionados combustibles, suministro de agua y químicos para el ablandamiento del agua en el interior de las tuberías. A continuación se detalla cada uno de los gastos que se ven involucrados para la operación del sistema de recuperación de calor.

Tabla 3.10: Costo de Operativos del Proyecto

No.	Descripción	Unidad	Valor	Comentarios
A	Costos Fijos			
1	Personal	KUSD	102	
2	Costo de mantenimiento	KUSD	49	0,5 % de Costo del Proyecto
3	Seguros, gastos administrativos	KUSD	10	0,1 % de Costo del Proyecto
Sub-Total A		KUSD	161	
B	Costos Variables			
4	Combustibles	KUSD	0	
5	Químicos para ablandamiento del agua	KUSD	10	
Subtotal B		KUSD	10	
C	Total (A+B)	KUSD	171	

Fuente: Autores

En conclusión, el costo de la inversión es de 9.9 millones USD, los costos fijos anuales son de 161 mil USD y los costos variables anuales son de 10 mil USD. Una vez ya implementado el proyecto se obtendrán por no consumo de energía al Sistema Nacional Interconectado ahorros mayores a 2 millones al año, reducción de emisiones de CO₂ por no quema de combustibles fósiles por generación de energía

de 29.7 mil ton CO₂ al año y no consumo de agua industrial para enfriamiento por 50 mil m³. Para mayor información consultar los anexos 1, 2 y 3.

3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Para la implementación del Proyecto se creará una empresa Subsidiaria con responsabilidad limitada, para lo cual se deberá cumplir los siguientes pasos:

Reserva del nombre de la empresa en la Superintendencia de Compañías.- Este trámite se lo puede realizar en línea desde el portal de la misma institución Superintendencia de compañías. Para control de marcas solicitar al Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual (IEPI), los trámites correspondientes.

Certificado de integración de capital.- Es emitido por cualquier Institución Bancaria local donde se abra una cuenta a nombre de la compañía en proceso de constitución.

Minutas de la Compañía notariadas.- Contratar un abogado para que realice la Minuta.

Presentación de Documentos ante la Superintendencia de Compañías.- Se debe presentar 3 copias de las minutas y los documentos notariados.

Registrar las Minutas y la Resolución en el Registro Mercantil Aplicar para el Registro Único de Contribuyentes (RUC).- En el Servicio de Rentas Internas (SRI).

Registro Patronal en el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social IESS.- En el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS).

Método de Ejecución o Plan de Contratación

Teniendo en cuenta toda la lista de los principales contratistas calificados se deberá optar por un proyecto **semi turnkey**, es decir mitad llave en mano. El contratista principal calificado serán responsable de toda la ingeniería (civil, proceso, mecánica y eléctrica), el suministro de calderas y equipos principales

(incluidos los gastos de transporte hasta la planta) y para servicios de supervisión de la construcción civil, mecánica, eléctrica y de puesta en marcha.

Por otra parte todo el montaje del acero estructural, mecánico y eléctrico, así como todas las obras de hormigón deberá ser realizado por contratistas locales conservando todos los detalles descritos en cada uno de los planos de diseño emitidos por el contratista principal.

Adicionalmente, se ha identificado y evaluado cada uno de los riesgos del proyecto, y se elaborado un Plan de Manejo de Riesgos en donde detalla las acciones de mitigación (ver anexo 8).

Posibles contratistas principales

Se han identificado los siguientes:

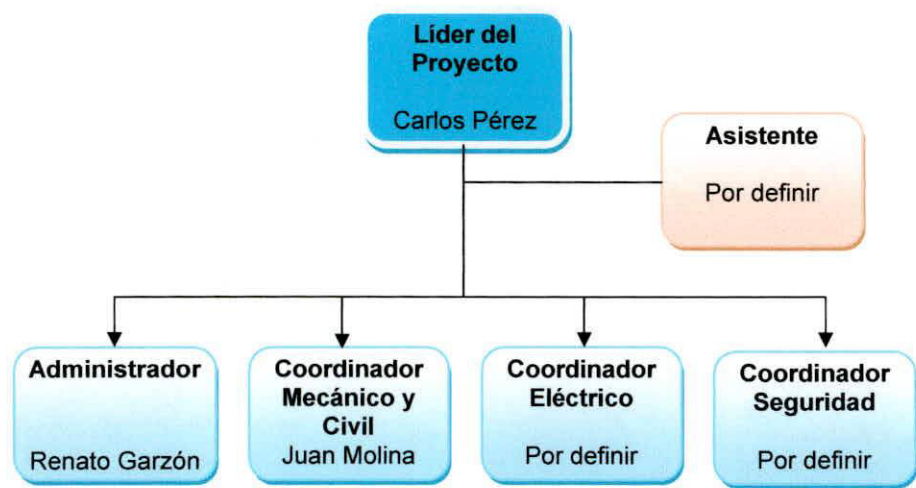
- Kawasaki Heavy Industries/Anhui Conch Kawasaki (Japan/China)
- Qingdao Jieneng Power Station Engineering Co. (China)
- Sinoma Energy Conservation (China)
- Transparent Energy systems (India)

Los proveedores de los equipos principales deberán tener sede en América Latina y serán investigados mediante los acuerdos comerciales con la Comunidad Andina, Mercosur y otros países.

Organización del Proyecto

El equipo del proyecto estará compuesto por personas encargadas por cada disciplina técnica de formación en cada disciplina de la construcción, así como también responsables para llevar el control de los gastos en el área administrativa. El cliente será el Gerente de Producción de la planta cementera. A continuación se observa el organigrama para el proyecto.

Figura 3.14 Organigrama del proyecto

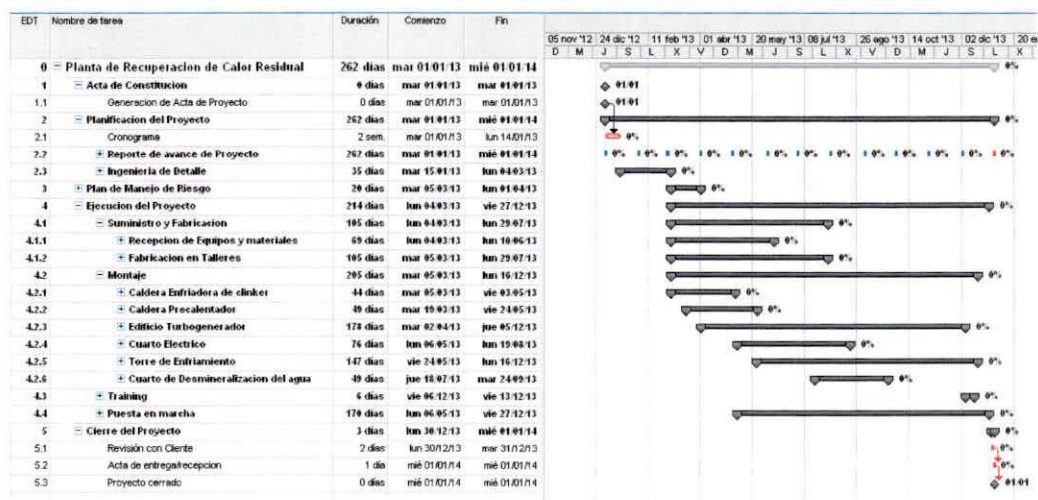


Fuente: Autores

3.5 PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO

Del Marco Lógico (ver anexo 3) se obtiene cada uno de los entregables del proyecto aplicando PMI y con lo cual se elabora una Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT, ver anexo 4). En base al EDT y a la herramienta Microsoft Project 2007 se programa cada una de las actividades, teniendo en cuenta cada una de las fases por las que pasa el proyecto luego de la aprobación de la inversión, tal y como se muestra a continuación (ver anexo 9 para mayor detalle).

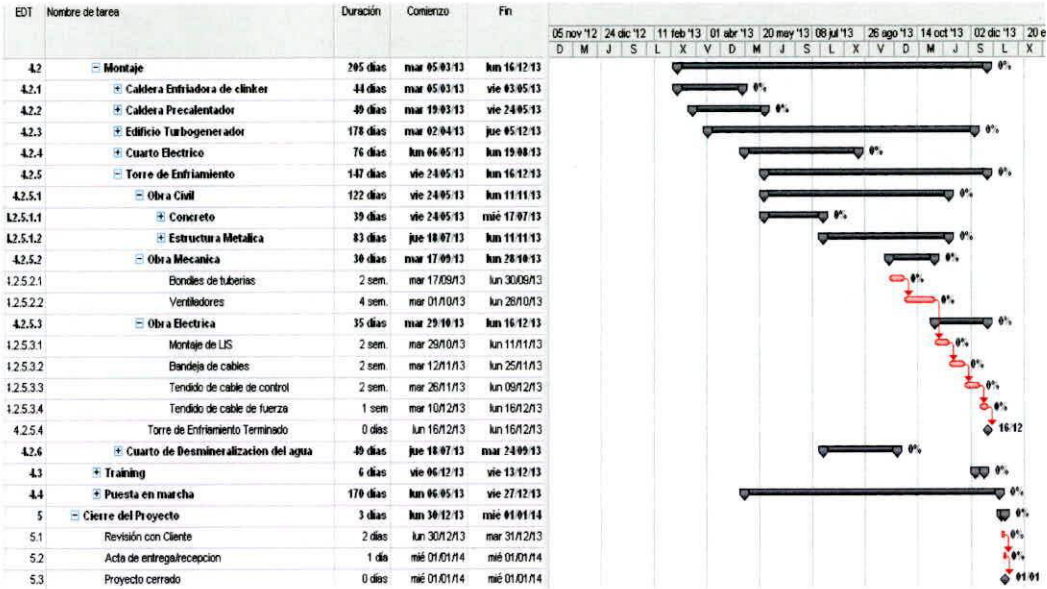
Figura 3.15 Diagrama de Gantt del Proyecto



Fuente: Autores

Luego con el uso de la herramienta y los datos cargados en el software se obtuvo la ruta crítica muy marcada en el montaje de la torre de enfriamiento tal y como se observa en la siguiente figura a causa de la demorada llegada de los equipos y la alta duración de la construcción del edificio.

Figura 3.16 Representación de Ruta Crítica del Proyecto



Fuente: Autores

4. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

4.1 EVALUACIÓN FINANCIERA

4.1.1 INDICADORES FINANCIEROS

El estudio financiero se ha realizado teniendo en cuenta los siguientes supuestos:

Tiempo de Operación de la Planta al año: 7000 h

Confiabilidad del sistema: 96 %

Generación Neta de energía: 44 400 MWh

Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR): 14,30 %; donde:

$TMAR = R_f + \beta (R_m - R_f)$; considerando a la Rentabilidad de bonos ecuatorianos, R_f : 3,5 %; Beta¹, β : 2,4 % y la Rentabilidad de la compañía por año, R_m : 8%)

Inflación: 4%

Tiempo de Vida de la compañía: 20 años

Reducción de Carbonos al año: 29704 ton CO₂ (ver capítulo 4.2).

Reducción de consumo de agua: 50 960 m³

Luego, a partir de los datos del estudio de mercado y a los supuestos se realiza un análisis para obtener los ingresos totales futuros con el proyecto implementado (ver tabla 4.1).

Tabla 4.1 Ingresos Proyectados

Descripción	Unidad	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Precio de agua	USD/m3	\$ 0,06	\$ 0,07	\$ 0,07	\$ 0,07	\$ 0,07	\$ 0,07	\$ 0,08	\$ 0,08	\$ 0,08	\$ 0,08
Precio de Electricidad	USD/MWh	\$ 51,50	\$ 53,05	\$ 54,64	\$ 56,28	\$ 57,96	\$ 59,70	\$ 61,49	\$ 63,34	\$ 65,24	\$ 67,20
Precio de bonos de Carbono	USD/ton	\$ 8,60	\$ 9,22	\$ 9,83	\$ 10,45	\$ 11,06	\$ 11,68	\$ 12,29	\$ 12,29	\$ 12,29	\$ 12,29
Ingreso por ahorro de enegia	USD	\$ 1.905.500	\$ 2.355.198	\$ 2.425.854	\$ 2.498.630	\$ 2.573.588	\$ 2.650.796	\$ 2.730.320	\$ 2.812.230	\$ 2.896.596	\$ 2.983.494
Ingreso por venta CER	USD	\$ 212.879	\$ 273.871	\$ 291.990	\$ 310.407	\$ 328.526	\$ 346.943	\$ 365.062	\$ 365.062	\$ 365.062	\$ 365.062
Ingreso por ahorro de agua	USD	\$ 3.058	\$ 3.567	\$ 3.567	\$ 3.567	\$ 3.567	\$ 3.567	\$ 4.077	\$ 4.077	\$ 4.077	\$ 4.077
Total Ingresos en dolares	USD	\$ 2.121.436	\$ 2.632.636	\$ 2.721.411	\$ 2.812.604	\$ 2.905.682	\$ 3.001.306	\$ 3.099.459	\$ 3.181.369	\$ 3.265.735	\$ 3.352.633

Fuente: <http://diario.latercera.com/2012/03/26/01/contenido/negocios/10-104705-9-precio-de-bonos-de-carbono-baja-80-por--crisis-europea-y-sobreoferta-de.shtml>
Elaboración: Autores

1 Fuente: <http://www.reuters.com/finance/stocks/overview?symbol=CX.N>

Una vez obtenidos los ingresos proyectados y utilizando el estudio de mercado y el análisis de factibilidad financiero del capítulo 3 se estima el flujo de caja del proyecto a partir del 2013 sin considerar los beneficios ambientales, año donde se realizaría la inversión, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.2 Flujo de caja del Proyecto

DESCRIPCION	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos		\$1.905.500	\$2.355.198	\$2.425.854	\$2.498.630	\$2.573.588	\$2.650.796	\$2.730.320	\$2.812.230	\$2.896.596	\$2.983.494
Ingreso Valor Residual											\$1.989.200
Costos Operativos											
(-) Costos Fijos del Operacion		\$161.000	\$167.440	\$174.138	\$181.103	\$188.347	\$195.881	\$203.716	\$211.885	\$220.340	\$229.153
(-) Costo Variable		\$10.000	\$10.400	\$10.816	\$11.249	\$11.699	\$12.167	\$12.653	\$13.159	\$13.686	\$14.233
(-) Depreciación		\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000
(=) Utilidad Antes de Impuestos		\$969.500	\$1.412.358	\$1.475.900	\$1.541.278	\$1.608.543	\$1.837.748	\$1.908.950	\$1.982.205	\$2.057.571	\$4.124.308
(-) Impuesto a la Renta		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$404.305	\$419.969	\$436.085	\$452.666	\$907.348
Utilidad Neta despues de Impuestos		\$969.500	\$1.412.358	\$1.475.900	\$1.541.278	\$1.608.543	\$1.433.444	\$1.488.981	\$1.546.120	\$1.604.906	\$3.216.960
(+) Depreciación		\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000
FLUJO DE CAJA NETO	-\$9.946.000	\$1.734.500	\$2.177.358	\$2.240.900	\$2.306.278	\$2.373.543	\$2.038.444	\$2.093.981	\$2.151.120	\$2.209.906	\$3.821.960

Fuente: Autores

Tomando en cuenta estos valores se calcula los siguientes indicadores: Valor Presente Neto (VPN): 1.448.688 USD, Tasa Interna de Retorno (TIR): 17,71 %, Período de Retorno Dinámico: 8,3 años.

Por otra parte, si consideramos los beneficios ambientales por bonos de carbono y ahorro de agua, el cambio es muy positivo y se obtiene los siguientes indicadores (ver anexo 5): Valor Presente Neto (VPN): 2.898.612 USD, Tasa Interna de Retorno (TIR): 20,98 %, Período de Retorno Dinámico: 6,7 años.

4.1.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En base a los valores del flujo de caja del proyecto se analizan los datos bajo dos posibles escenarios:

Escenario 1: Incremento de 10% de Costos Operativos

Se trata de un caso pesimista donde se incrementan los costos operativos, ya sea por la subida de precios de materiales, equipos de repuestos o sustancias para ablandamiento del agua (ver tabla 4.3)

Tabla 4.3 Flujo de caja del Escenario 1

DESCRIPCION	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos		\$1 905 500	\$2 355 198	\$2 425 854	\$2 498 630	\$2 573 588	\$2 650 796	\$2 730 320	\$2 812 230	\$2 896 596	\$2 983 494
											\$1 989 200
Costos Operativos											
(-) Costos Fijos del Operacion		\$177 100	\$184 184	\$191 551	\$199 213	\$207 182	\$215 469	\$224 088	\$233 052	\$242 374	\$252 069
(-) Costo Variable		\$11 000	\$11 440	\$11 898	\$12 374	\$12 868	\$13 383	\$13 919	\$14 475	\$15 054	\$15 666
(-) Depreciación		\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000
(=) Utilidad Antes de Impuestos		\$952 400	\$1 394 574	\$1 457 405	\$1 522 043	\$1 588 538	\$1 816 944	\$1 887 313	\$1 959 703	\$2 034 169	\$2 110 769
(-) Impuesto a la Renta		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$399 728	\$415 209	\$431 135	\$447 517	\$464 369
Utilidad Neta despues de Impuestos		\$952 400	\$1 394 574	\$1 457 405	\$1 522 043	\$1 588 538	\$1 417 216	\$1 472 105	\$1 528 568	\$1 586 652	\$1 646 400
(+) Depreciación		\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000
FLUJO DE CAJA NETO	-\$9 946 000	\$1 717 400	\$2 159 574	\$2 222 405	\$2 287 043	\$2 353 538	\$2 022 216	\$2 077 105	\$2 133 568	\$2 191 652	\$2 251 400

Fuente: Autores

➤ Valor Presente Neto (VPN): 472.015 USD

➤ Tasa Interna de Retorno (TIR): 15,26 %

➤ Período de Retorno Dinámico: 8,4 años

Si consideramos los beneficios ambientales por venta de bonos de carbono se obtiene los siguientes indicadores (ver anexo 6):

➤ Valor Presente Neto (VPN): 1.861.881 USD

➤ Tasa Interna de Retorno (TIR): 18,83 %

➤ Período de Retorno Dinámico: 6,8 años

Escenario 2: Reducción del 2% de la Producción de la planta

En el hipotético caso de paradas de planta no programadas, se produciría una disminución en el tiempo de operación al año (98% de 7000 h), y por ende en una reducción en la generación de energía eléctrica es decir 43.5 GWh por 6 días menos de operación al año (ver tabla siguiente).

Tabla 4.4 Flujo de caja del Escenario 2

DESCRIPCION	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos		\$1 866 875	\$2 307 458	\$2 376 681	\$2 447 982	\$2 521 421	\$2 597 064	\$2 674 976	\$2 755 225	\$2 837 882	\$2 923 018
Ingreso Valor Residual											\$1 989 200
Costos Operativos											
(-) Costos Fijos del Operacion		\$161 000	\$167 440	\$174 138	\$181 103	\$188 347	\$195 881	\$203 716	\$211 865	\$220 340	\$229 153
(-) Costo Variable		\$10 000	\$10 400	\$10 816	\$11 249	\$11 699	\$12 167	\$12 653	\$13 159	\$13 686	\$14 233
(-) Depreciación		\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000
(=) Utilidad Antes de Impuestos		\$930 875	\$1 364 618	\$1 426 728	\$1 490 630	\$1 556 375	\$1 784 016	\$1 853 606	\$1 925 201	\$1 998 856	\$4 063 832
(-) Impuesto a la Renta		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$392 484	\$407 793	\$423 544	\$439 748	\$894 043
Utilidad Neta despues de Impuestos		\$930 875	\$1 364 618	\$1 426 728	\$1 490 630	\$1 556 375	\$1 391 533	\$1 445 813	\$1 501 656	\$1 559 108	\$3 169 789
(+) Depreciación		\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$765 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000	\$605 000
FLUJO DE CAJA NETO	-\$9 946 000	\$1 895 875	\$2 129 618	\$2 191 728	\$2 255 630	\$2 321 375	\$1 996 533	\$2 050 813	\$2 106 656	\$2 164 108	\$3 774 789

Fuente: Autores

- Valor Presente Neto (VPN): 1.211.865 USD
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 17,16 %
- Período de Retorno Dinámico: 8,6 años

Si consideramos los beneficios ambientales por venta de bonos de carbono se obtiene los siguientes indicadores (ver anexo 7):

- Valor Presente Neto (VPN): 2.661.790 USD
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 20,46 %
- Período de Retorno Dinámico: 6,9 años

4.1.3 CONCLUSIONES

- Los indicadores para este proyecto son moderadamente positivos considerando los ingresos solo por ahorro de energía, mientras que si adicionamos los beneficios ambientales por bonos de carbono y ahorro de agua la rentabilidad se incrementa significativamente, debido a que la TIR aumenta en 3% y se reduce en 1,6 años el tiempo de retorno del capital.
- En el escenario 1, sin beneficios por bonos de carbono, en donde los costos operativos aumenten en un 10% el proyecto sigue siendo positivo pero en menor escala.
- En el escenario 2, sin beneficios por bonos de carbono, en donde se reduce en un 2% la generación de energía eléctrica por disminución en el tiempo de operación el panorama sigue siendo favorable.
- En ambos casos (1 y 2) si se toman en cuenta los ingresos por bonos de carbono y el ahorro de agua, los resultados son más alentadores debido a que la TIR se incrementa en 3% y se reduce el tiempo de retorno del capital en más de 1 año.

Se recomienda lo siguiente:

- Hacer uso de los beneficios por la venta de bonos de carbono mediante un MDL para implementación de este proyecto.
- Contratar ingeniería de muy buena calidad para fase de diseño del proyecto, para así tener con exactitud las cantidades de montaje que permitirá reducir el costo indirecto por adicionales y además poder de negociación al momento de contratar los servicios de montaje.
- Desde el inicio del proyecto, concientizar a cada miembro del equipo para aplicar una política de ahorro en todos los sentidos, para reducir el costo de la inversión inicial al máximo.
- Utilizar estándares nacionales para construcción de los edificios, puesto que son menos conservadores versus los europeos y norteamericanos. De esta manera reduciremos los costos directos de la inversión inicial.
- En lo posible, contratar todo el paquete de suministro de equipos de tecnología de recuperación de calor residual con una sola compañía para obtener un descuento por volumen.

4.2 EVALUACIÓN AMBIENTAL Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

4.2.1 ASPECTOS AMBIENTALES

En general, el concepto de recuperación de calor residual para la generación de energía es positivo bajo aspectos ambientales; ningún combustible se quema, pero la energía se recupera de calor residual y se transforma en electricidad, de esta forma se obtiene como resultado la reducción del consumo de combustible y también de la disipación de calor a la atmósfera.

A continuación se analizará cada uno de los parámetros ambientales y esta forma poder definir la línea base que servirá luego para el monitoreo de los indicadores ambientales después de realizado el proyecto.

Características Generales del Sitio (Suelo)

El sitio de las nuevas infraestructuras producto del proyecto se encuentran dentro de la planta de cemento se encuentra a una altura de 39 m sobre el nivel del mar. La planta está situada en un área donde hay una cantidad sustancial de la actividad industrial. Toda la zona está situada en una zona sísmicamente activa (zona 3). Para mayor detalle puede consultar el capítulo 2 de esta tesis.

Biodiversidad

Actualmente la planta y la cantera se encuentra cerca de un humedal protegido y de otro hábitat rico en biodiversidad.

Emisiones de partículas totales

Actualmente, la planta de cemento cuenta con un filtro de proceso de 272.000 Nm³/h por cada horno con el objetivo de mantener las emisiones de polvo al ambiente por debajo de 20 mg/Nm³, medidos en condiciones normales, es decir a 1013 milibares de presión y temperatura de 0°C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno, lo cual se encuentra por debajo del límite máximo permisible ecuatoriano de 100 mg/Nm³ para enfriadoras de clinker de fuentes existentes en la elaboración del cemento (información recogida de TULSMA Decreto No.3516, normativa nacional de ambiente).

Tabla 4.5 Limite Permissible en emisiones por Partículas totales

Parámetro	Units	Limite Nacional (gas seco a 7% O2)	Emisiones actuales (gas seco a 7% O2))
Partículas totales	mg/Nm ³	100 (Instalaciones existentes)	14

Fuente: Tulsma Decreto 3516 Ecuador

Elaboración: Autores

Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

El principal beneficio del medio ambiente de este proyecto es para producir energía eléctrica sin emisiones de CO₂ adicionales. Como resultado del Protocolo de Kioto, existe un sistema que permite la cuantificación del valor económico de tales medios de reducción de emisiones de CO₂. La idea básica de este mecanismo es que por medio de este sistema se reduce las emisiones de gas invernadero de la producción de energía en el país correspondiente. A fin de alcanzar el beneficio económico, la reducción de las emisiones deben ser adicionales y verificadas por un organismo autorizado para que los bonos negociables puedan emitirse.

De acuerdo al protocolo de Kyoto los bonos negociables se pueden generar a partir de un proyecto en Ecuador, mediante un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), y apoyado por las autoridades nacionales (Ministerio del Ambiente, Oficina Nacional de Promoción del MDL).

El primer paso es crear un Documento de diseño de proyecto (Project Design Document, PDD), que deberá ser validado por una entidad operacional designada de las Naciones Unidas para la Convención Marco sobre el Cambio Climático (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) y aprobado por el país anfitrión. Durante la fase de realización un seguimiento continuo tiene que ser provista por el dueño del proyecto. Con base en los datos de seguimiento y un informe verificado por una entidad operacional designada de la UNFCCC. Las Reducciones Certificadas de Emisiones (Certified Emission Reductions, CER) se publicarán al propietario del proyecto. Estos pueden ser negociados en el mercado, ya que se puede utilizar para incumplimientos en los países en un mercado regulado en su lugar. Los principales compradores son hoy las instalaciones participantes a la Unión Europea del sistema de comercio de

emisiones (European Union Emission Trading System, EU ETS) o los países con compromisos en virtud del Protocolo de Kioto.

El ahorro de CO₂ se calculará en comparación con la media de emisiones de CO₂ resultantes de la producción de energía en el país.

Consumo y Residuo de Agua

Existen dos tipos de aguas disponibles en la planta analizada: 1) el agua industrial y 2) el agua potable.

El agua industrial es proporcionada por en su totalidad por un pozo, con una capacidad de 354 litros / min, alimentando a un tanque de almacenamiento de 300 m³.

El agua de lluvia también es recogida en una cuenca o laguna, con una capacidad de alrededor de 90,000 m3, y se utilizan para integrar el agua industrial en caso de emergencia. El agua industrial se consume en el horno en el Downcomer Cooling de los Precalentadores y el Molino vertical (VRM) y para enfriar los gases antes de entrar por los filtros de procesos de cada horno, sometidos a un sistema de ablandamiento, también se utiliza para compensar las pérdidas por evaporación en el agua refrigeradores evaporativos utilizados en la fábrica de cemento para proporcionar agua de enfriamiento.

Los residuos del sistema de agua en la planta de cemento no tienen ningún vertido de aguas industriales. También los efluentes se recuperan totalmente, y se descarga en la cuenca de la laguna (ver consumos en tabla 4.6)

Tabla 4.6 Consumo de agua en fuentes de calor

Fuente de Calor Residual	Consumo promedio (m ³ /h)	Consumo anual (m ³)
Dowcomer Precalentador	9,10	63.700
Enfriadora Horno	0	0

Fuente: Reporte anual de planta

Elaboración: Autores

Los valores de consumo anual expuestos anteriormente fueron calculados teniendo en cuenta que se opera todo el año con una disponibilidad de los equipos por mantenimiento y producción del 80%.

Contaminación por Ruido al Ambiente

Los niveles aceptables de ruido dependen de la clasificación de la zona, definido por las autoridades locales y nacionales.

En áreas industriales, es decir afuera de las plantas, los límites permisibles según la normativa nacional en el día, de 6:00 a 20:00, es de 70dBA y en la noche, de 20:00 a 6:00, es de 65 dBA.

Manejo de desechos

En la planta se sigue el siguiente protocolo de manejo de desechos:

Materiales reciclables (Chatarra, Cables, Madera, Papel, Plástico)

Estos materiales se deberán disponer en las tinas o tachos rotulados para estos materiales. En caso de la madera se colocará directamente en el área de almacenamiento de materiales reciclables.

El lugar de disposición final de todo material reciclable será en el sector destinado para almacenamiento.

El personal de limpieza tendrá la responsabilidad de trasladar estos materiales desde los tachos de papeles / plástico y tinas de chatarra hasta el área de reciclaje.

Material para relleno sanitario:

Todo material que vaya a ser destinado al relleno sanitario deberá ser dispuesto en los tachos metálicos de color azul o en las tinas demarcadas para ello.

En esta categoría se determinarán los textiles, todo material que no pueda ser o no esté definido su reciclaje, papel o plástico contaminado con restos de comida u orgánicos y materiales no peligrosos que no pueda ser reciclado ni reutilizado.

Este material se dispondrá finalmente en el área fuera de la planta y luego será recogido por el servicio público de la ciudad.

Otros

Temas de patrimonio cultural, problemas de agua subterránea específicos, pasivos ambientales y reclamos de compensación no son aplicables para este proyecto.

En resumen, con el análisis de los aspectos ambientales dentro de la planta se obtiene la siguiente tabla de línea base de los principales parámetros que pueden ser impactados en menor o mayor medida de manera positiva o negativa por la implementación y operación del proyecto de recuperación de gases residuales.

Tabla 4.7 Línea Base Ambiental

PARAMETRO	UNIDAD	LINEA BASE
Partículas Totales en las cuatro chimeneas	mg/Nm ³	14
Consumo de Agua en Fuentes de Calor	m ³ /h	9,10
Reducción de toneladas de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	ton CO ₂	0
Ruido Industrial	dB	70 6:00 – 20:00
		65 20:00 – 6:00

Fuente: Tulsma Decreto 3516

Elaboración: Autores

4.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología para evaluar el impacto ambiental del proyecto se realizará mediante la **valorización cuantitativa** en la cual se asignarán valores a las características de cada impacto ocasionado por cada una de las actividades generadoras del proyecto.

Valorización cualitativa

De esta forma se evaluará una serie de cualidades de los impactos ambientales, utilizando normalmente las definidas por la legislación y obteniendo un valor numérico que se denominará Importancia (Im). Adicionalmente, se utilizarán las formulas normalizadas 1 y 2 (I1 y I2 respectivamente).

A continuación se presenta cada una de las variables a ponderar:

Intensidad	(In)
Extensión	(E)
Persistencia	(P)
Reversibilidad	(Rv)
Acumulación	(A)
Momento	(Mo)
Recuperabilidad	(Rc)
Periodicidad	(Pr)
Efecto	(Ef)

$$Im = \pm (A + E + In + P + Rv + Rc + Pr + Mo + Ef) \quad (1)$$

$$I1 = \pm ((|Im| - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo})) \quad (2)$$

$$I2 = \pm (0,3 ((|Im| - \text{Mínimo}) / (\text{Máximo} - \text{Mínimo})) + 0,7 \quad (3)$$

Cada impacto será calificado según su importancia siguiendo la siguiente la ponderación:

Tabla 4.8 Valoración Cualitativa

Intensidad	(In)	Efecto	(Ef)
Baja	1	Indirecto	1
Media	4	Directo	3
Alta	6		
		Recuperabilidad	(Rc)
		Recuperación inmediata	1
Extensión	(E)	Mediano plazo	2
Puntual	1	Mitigable	4
Local	2	Recuperación a largo plazo	6
Regional	4	Irrecuperable	8
Global	6		
Persistencia	(P)	Periodicidad	(Pr)
Fugaz	1	Discontinuo	1
Temporal	2	Periódico	2
Permanente	4	Continuo	4
Reversibilidad	(Rv)	Momento	(Mo)
Corto Plazo	1	Largo Plazo	1
Mediano plazo	2	Mediano plazo	2
Largo Plazo	3	Corto Plazo	3
Irreversible	4	Inmediato	4
Acumulación	(A)		
Sin			
Acumulación	1		
Acumulativo	3		
Sinérgico	6		

Fuente: Garmendia, Alfonso 2005, Evaluación de Impacto Ambiental
Elaboración: Autores

Valorización cuantitativa: Magnitud

Se señalará el factor ambiental afectado y el indicador para valorarlo, para de esta forma calcular el valor del indicador sin proyecto (*Mag_{SIN}*) y el valor del indicador con proyecto (*Mag_{CON}*), la function de transformación y la diferencia entre los valores transformados, con lo que se obtiene la magnitud: (*M*)

$$M = f(Mag_{CON}) - f(Mag_{SIN}) \tag{4}$$

Índice del Impacto

Para calcular el índice final del impacto sin medidas correctoras para cada alternativa se obtiene un único valor con el peso del factor ambiental afectado, valorización cualitativa o importancia y la valoración cuantitativa o magnitud. A continuación se presenta la ecuación que se utiliza para calcular este índice.

$$\text{Índice del impacto} = \text{Importancia} \times \text{Magnitud} \times \text{Peso del factor} \quad (5)$$

Juicio

Luego del cálculo de dicho valor realizaremos el juicio hacia cada uno de los impactos producidos por las actividades pertinentes de compatible, moderado, severo, crítico y bandera roja.

Medidas de minimización de impactos

Descripción detallada de la o las medidas de minimización de impactos.

Valoración con medidas de minimización de impactos

Nueva importancia, magnitud, índice y juicio

4.2.3 EVALUACIÓN Y VALORIZACIÓN

Lista de posibles impactos producidos por implementación y operación del sistema

A continuación se detalla las actividades y los equipos que intervendrán tanto en la fase de implementación del proyecto así como en la fase de operación cada uno con el tipo de impacto ambiental relacionado:

Tabla 4.9 Identificación de Impactos Ambientales

ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	LINEA BASE
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema		
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	Ruido
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	Emisiones partículas totales
	Incremento de ruido por equipos	Ruido
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	Suelo
	Incremento de nivel de ruido	Ruido
	Desechos de madera y chatarra	Manejo de desechos
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, cauchos, vidrio y cobre	Manejo de desechos
B. Operación del sistema		
5. Turbinas	Incremento del nivel de ruido	Ruido
6. Generadores	Incremento del nivel de ruido	Ruido
7. Sistema de tratamiento de agua industrial	Depuración de agua industrial	Agua
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	Agua
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	Emisiones CO2

Elaboración: Autores

Emisiones de partículas totales

En la fase de fabricación de estructuras para que exista una buena adherencia de la pintura, se debe realizar una limpieza superficial en el acero. El proceso más común es el arenado o sandblasting, que produce impactos en el ambiente por emisiones de partículas, el cual se estima en **60 mg/Nm³** en un perímetro de 10 m de diámetro al punto de salida del chorro. Este valor está muy por encima de límite requerido (20 mg/Nm³).

Ruido

Para la cuantificación de ruido se utiliza la base de datos existente en el Manual "Transit Noise and Vibration Impact Assessment", Sr. Harris Miller & Hanson Inc Chapter 10: Noise and Vibration During Construction, Table 10-1.

La medida del ruido se hace en decibeles (Leq), pero como en algunos casos se juntan más de una fuente de ruido (n: número de fuentes) utilizaremos la siguiente ecuación para obtener el ruido global por actividad de impacto (Leq_{Total}):

$$Leq_{Total} = 10 \log (\sum 10^{(0.1 * Leq_i)}) ; \text{ donde } i = 1, 2, 3, \dots n \quad (6)$$

A continuación se presenta las premisas que se usaron para la cuantificación de los impactos sonoros por cada actividad relacionada:

En la **movilización de equipos y materiales** se utilizarán como máximo dos camiones trabajando al mismo tiempo en horarios matutinos y cada camión produce 88 dB a 10 m. Por lo tanto, aplicando la formula se obtiene un total de **91 dB** a 10 m, como efecto global de la actividad, es decir que se encuentra por encima del máximo permisible (70 dB).

En el proceso de **fabricación de la estructura metálica** por la operación de los equipos tales como herramientas neumáticas, cortadoras y compresores neumáticos. En esta actividad puede darse turnos tanto turnos nocturnos como diurnos por motivo de avance de obra.

A continuación se presenta la tabla de cantidades y tipos de equipos que se utilizarán para esta tarea con sus respectivos ruidos producidos, cuyos valores referenciales se toman a 10 m de distancia de la fuente:

Tabla 4.10 Equipos usados en taller de fabricación

Equipo	Cantidad	Ruido por cada equipo (dB)
Compresor	1	81
Herr. Neumática	2	85
Cortadora	2	84
Total		91

Elaboración: Autores

Del cuadro anterior se observa que el valor global de ruido para esta actividad es de **91 dB.**, es decir que se encuentra por encima de la normativa ambiental (65 dB).

Adicionalmente, en la *fase constructiva de obra civil, montaje de estructura metálica y equipos mecánicos-eléctricos*, se producen un ruido creciente, cuya cuantificación detallaremos a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4.11 Equipos usados en fase constructiva

Actividad	Equipo	dB	Total dB
Excavación y movimiento de tierra	Martillo Neumático	98	98,5
	Retroexcavadora	80	
	Camión	88	
Bases de Hormigón	Compactador	82	86,8
	Mixer	85	
Montaje Estructura Metálica y equipos	Grúa	88	88,8
	Compresor	81	

Elaboración: Autores

Cabe recalcar que los datos de ruido son referenciales a 10 m de cada fuente y que las tres actividades de la fase constructiva se realizarán en el día y en la noche según convenga con el avance de la obra. Es por eso, que partir de la información recogida de la tabla podemos concluir, que cada uno de los valores de las actividades de la fase constructiva sobrepasan el límite permisible ambiental (65 dB).

Por otra parte para la *operación normal del sistema* existen equipos cuyo ruido sobrepasa el límite permisible tales como:

- Turbina: **90 dB** a 10 m de la fuente
- Generador: **72 dB** a 10 m de la fuente

Estos equipos se encontraran trabajando las 24 horas al día (ruido máximos permisible 65dB).

Agua

Como consecuencia de la operación del proyecto las temperaturas de los gases disminuyen y consumo de agua industrial para enfriamiento de gases en el punto de fuente de calor se reducirá. Se estima que la reducción será de un 80 % del actual es decir que se dejaría de consumir **50.960 m³ al año**.

Adicionalmente, el agua de las tuberías de las calderas que recircula a lo largo de todo el proceso como vapor y líquido se estima en **70 m³**. Este volumen deberá ser tratado para su depuración final.

Manejo de desechos

En la fase implementación se producirá desechos típicos de la construcción en todas disciplinas, los cuales deberán ser pesados para de esta forma cuantificarlos y llevar el control.

Según los volúmenes de construcción de cada uno de los rubros y considerando un 3% de desperdicio máximo de materiales se obtiene el siguiente estimado a lo largo de la ejecución del proyecto:

- Escombros de Madera: **127 Kg**
- Chatarra: **2100 Kg**
- Cobre en remanentes de cables eléctricos: **50 Kg**

Todos estos materiales serán separados y debidamente manejado según el plan de manejo ambiental de desechos de la planta.

De la misma forma se producen desechos sanitarios productos que dependerán del número de personas que laboraran en la obra y de la cantidad de equipos y herramientas que tienen.

Emisiones de CO2

Se supone que por cada MWh de energía eléctrica producida en los sustitutos del proyecto da como resultado una reducción directa al volumen equivalente de la generación de energía en el Ecuador, es decir el ahorro de CO₂ se debe comparar con los de la producción nacional ecuatoriana de electricidad. A continuación se presentara una tabla con los valores históricos de energía producida versus las emisiones de dióxido de carbono para obtener las emisiones de CO₂ por cada MWh generado de las plantas de generación térmica.

Tabla 4.12 Indicadores energéticos del país

INDICADOR ENERGETICO	UNIDAD	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Energía Bruta Total	GWh	10.332	10.612	11.072	11.946	12.666	14.226	15.142	16.686	18.198	19.109
Energía Térmica	GWh	3.131	3.001	3.979	4.363	4.366	5.170	6.419	7.841	8.079	7.103
Emisiones CO2	1000 ton CO2	2.400	2.300	3.000	3.050	2.700	3.100	4.000	4.900	5.090	4.300
Emisiones CO2 por Energía Producida por Generación Térmica	ton CO2/MWh	0,766	0,766	0,754	0,699	0,618	0,600	0,623	0,625	0,630	0,605

e
Fuente: CONELEC
Elaboración: Autores

A partir de estos valores se obtiene un valor promedio de 0,669 ton CO₂/ MWh. Adicionalmente, con el proyecto en operación se evitará de consumir 44.400 MWh del total de la energía térmica producida en el país. Dando como resultado final una notable reducción de emisiones de dióxido de carbono de **29.704 ton de CO₂ al año**.

Suelo

Como producto de la obra civil de la construcción del edificio de la torre de enfriamiento y del conjunto turbina – generador, se realizará una excavación y movimiento de tierra de más 1932 m³ (superficie: 28 m x 23 m y profundidad: 3 m).

De la misma, para la construcción de la cimentación para estructura de la caldera se necesita remover 70 m³ del suelo (superficie: 10 m x 7 m y profundidad: 1 m).

En resumen, se necesita remover **2002 m³** como consecuencia de los trabajos de obra civil del proyecto. Para una mayor visualización de los datos se presenta a continuación la cuantificación máxima de los impactos producidos:

Tabla 4.13 Cuantificación de impactos

ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	LINEA BASE	(+/-)	UNIDAD	CANT.
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema					
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	Ruido	(-)	dB (10 m)	91
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	Emisiones partículas totales	(-)	mg/Nm3	60
	Incremento de ruido por equipos	Ruido	(-)	dB (10 m)	91
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	Suelo	(-)	m3	2002
	Incremento de nivel de ruido	Ruido	(-)	dB	98,5
	Desechos de madera y chatarra	Manejo de desechos	(-)	ton acero	2,1
			(-)	ton mad.	0,127
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, y cobre	Manejo de desechos	(-)	ton cobre	0,050
B. Operación del sistema					
5. Turbina	Incremento del nivel de ruido	Ruido	(-)	dB (10 m)	90
6. Generador	Incremento del nivel de ruido	Ruido	(-)	dB (10 m)	72
7. Sistema de tratamiento de agua	Depuración de agua industrial	Agua	(+)	m3	70
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	Agua	(+)	1000 m3/año	50,96
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	Emisiones CO2	(+)	1000 ton/año	29,70

Elaboración: Autores

En total se cuantifican 12 impactos de los cuales 9 son negativos y 3 positivos. En el siguiente análisis se evaluará cada uno de los impactos identificados según la metodología aplicada.

Matriz de identificación de impactos ambientales

Valoración Cualitativa

Se calcula aplicando las ecuaciones 1, 2 y 3 para obtener la importancia común y luego la formula normalizada I1 que obtiene valores entre 0 a 1 y la normalizada I2 entre 0,7 y 1. A continuación se presenta la tabla de valoración cualitativa:

Tabla 4.14 Valoración cualitativa de los impactos

													Formula Normalizada	
ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	(+/-)	E	P	Rc	Mo	A	In	Rv	Pr	Ef	Im	1:11	2: (0.7,1):12
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema														
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	(-)	1	1	1	4	1	1	1	1	3	14	0,13	0,74
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	(-)	1	2	4	4	1	4	2	2	3	23	0,35	0,81
	Incremento de ruido por equipos	(-)	1	2	1	4	3	4	1	1	3	20	0,28	0,78
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	(-)	1	1	1	2	3	4	2	1	3	18	0,23	0,77
	Incremento de nivel de ruido	(-)	1	2	1	4	1	1	1	1	3	15	0,15	0,75
	Desechos de madera y chatarra	(-)	1	2	1	2	3	1	1	1	3	15	0,15	0,75
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, y cobre	(-)	1	2	1	2	3	4	1	2	3	19	0,25	0,78
B. Operación del sistema														
5. Turbina	Incremento del nivel de ruido	(-)	1	4	4	4	3	4	2	4	3	29	0,50	0,85
6. Generador	Incremento del nivel de ruido	(-)	1	4	4	4	3	4	2	4	3	29	0,50	0,85
7. Sistema de tratamiento de agua	Depuración de agua industrial	(+)	4	4	1	4	6	6	3	4	3	35	0,65	0,90
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	(+)	4	4	8	4	3	6	4	4	3	40	0,78	0,93
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	(+)	4	4	8	4	6	#	4	4	3	47	0,95	0,99

Elaboración: Autores

De los datos de la tabla se puede observar que los impactos negativos (importancia normalizada 1) en la fase de implementación son menores a 0,40, y que más bien en la fase operativa son iguales a 0,50.

Adicionalmente, aunque son menores los impactos positivos son más significativos en cuanto al análisis cualitativo pues su importancia normalizada 1 se encuentran arriba de 0,50.

Valoración Cuantitativa

Tabla 4.15 Valoración cuantitativa de los impactos

ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	(+/-)	UNIDAD	Mag _{SIN}	Mag _{CON}	Min.	Max.	Recta SIN	Recta CON	Magnitud de impacto
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema										
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	(-)	dB (10 m)	0	90	0	91	0,00	0,99	0,99
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	(-)	mg/Nm3	0	50	0	60	0,00	0,83	0,83
	Incremento de ruido por equipos	(-)	dB (10 m)	0	90	0	91	0,00	0,99	0,99
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	(-)	m3	0	2000	0	2002	0,00	1,00	1,00
	Incremento de nivel de ruido	(-)	dB	0	95	0	98,5	0,00	0,96	0,96
	Desechos de madera y chatarra	(-)	ton acero	0	2	0	2,1	0,00	0,95	0,95
		(-)	ton mad.	0	0,11	0	0,13	0,00	0,87	0,87
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, y cobre	(-)	ton cobre	0	0,04	0	0,05	0,00	0,80	0,80
B. Operación del sistema										
5. Turbina	Incremento del nivel de ruido	(-)	dB (10 m)	60	89	60	90	0,00	0,97	0,97
6. Generador	Incremento del nivel de ruido	(-)	dB (10 m)	60	71	60	72	0,00	0,92	0,92
7. Sistema de tratamiento de agua	Depuración de agua industrial	(+)	m3	0	60	0	70	0,00	0,86	0,86
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	(+)	1000 m3/año	0	50,5	0	51	0,00	0,99	0,99
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	(+)	1000 ton/año	0	29,8	0	30	0,00	0,99	0,99

Elaboración: Autores

De la tabla se puede observar que los impactos negativos de mayor magnitud (igual o mayor a 0,99) son el ruido por aumento de transportes en la planta, fabricación de estructuras metálicas y la excavación para la construcción de los edificios. Mientras que los impactos positivos de mayor magnitud son la reducción del consumo de agua y de las emisiones de CO₂ por cogeneración de energía eléctrica (su magnitud es de 0,99).

Impacto Total

Para el cálculo de peso se debe tener en cuenta la siguiente ponderación:

Tabla 4.16 Ponderación de los impactos

IMPACTO AMBIENTAL		Ponderación	
		Elem. Ambiental	Factores
ATMOSFERICOS	Ruido	50	30
	Emisiones partículas totales		20
	Emisiones CO2		50
OTROS	Manejo de desechos	10	100
	Suelo	20	100
	Agua	20	100

Elaboración: Autores

Los impactos atmosféricos por ser los más restrictivos en cuanto a la normativa ambiental aplicada, han obtenido una ponderación de 50 en elemento ambiental.

De la misma forma se ha dado una mayor ponderación dentro los impactos atmosféricos a las emisiones de CO₂ (ponderación de 50 como factor), puesto que hoy en día existe un enfoque muy intenso en este parámetro por toda sociedad industrial actual por la influencia directa con el efecto invernadero.

A continuación se presenta la tabla de pesos calculados a partir de la ponderación de los elementos ambientales y sus factores:

Tabla 4.17 Valoración de Pesos de los impactos

ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	LINEA BASE	(+/-)	ELEMENTO AMBIENTALES	FACTORES	PESO
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema						
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	Ruido	(-)	50	30	0,15
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	Emisiones partículas totales	(-)	50	20	0,10
	Incremento de ruido por equipos	Ruido	(-)	50	30	0,15
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	Suelo	(-)	20	100	0,20
	Incremento de nivel de ruido	Ruido	(-)	50	30	0,15
	Desechos de madera y chatarra	Manejo de desechos	(-)	10	100	0,10
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, y cobre	Manejo de desechos	(-)	10	100	0,10
B. Operación del sistema						
5. Turbina	Incremento del nivel de ruido	Ruido	(-)	50	30	0,15
6. Generador	Incremento del nivel de ruido	Ruido	(-)	50	30	0,15
7. Sistema de tratamiento de agua	Depuración de agua industrial	Agua	(+)	20	100	0,20
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	Agua	(+)	20	100	0,20
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	Emisiones CO2	(+)	50	50	0,25

Elaboración: Autores

En esta tabla se puede observar que de todos los impactos negativos los que tienen mayor peso son las actividades de excavación, movimiento de tierra y la contaminación de ruido a la atmósfera. Mientras que el impacto positivo con mayor peso es la reducción de CO₂ por cogeneración de energía eléctrica.

En paralelo se evaluará del juicio del impacto en la siguiente forma: Compatible (C: entre 0 y - 0,03), Moderado (M: entre - 0,04 y - 0,15), Severo (S: entre - 0,16 y

- 0,25), Critico (Cr: entre - 0,26 y - 0,70) y finalmente Bandera Roja (B: mayor a - 0,70).

A continuación haciendo uso de la ecuación 5 se calculará el impacto total de cada impacto ambiental:

Tabla 4.18 Valoración de Impacto Total y Juicio

ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	(+/-)	Magnitud de impacto	Peso	I1	Impacto Total	Juicio
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema							
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	(-)	0,99	0,15	0,13	0,019	C
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	(-)	0,83	0,10	0,35	0,029	C
	Incremento de ruido por equipos	(-)	0,99	0,15	0,28	0,041	M
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	(-)	1,00	0,20	0,23	0,045	M
	Incremento de nivel de ruido	(-)	0,96	0,15	0,15	0,022	C
	Desecho chatarra	(-)	0,95	0,10	0,15	0,014	C
	Desecho madera	(-)	0,87	0,10	0,25	0,022	C
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, y cobre	(-)	0,80	0,10	0,25	0,020	C
B. Operación del sistema							
5. Turbina	Incremento del nivel de ruido	(-)	0,97	0,15	0,50	0,073	M
6. Generador	Incremento del nivel de ruido	(-)	0,92	0,15	0,50	0,069	M
7. Sistema de tratamiento de agua	Depuración de agua industrial	(+)	0,86	0,20	0,65	0,111	-
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	(+)	0,99	0,20	0,78	0,154	-
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	(+)	0,99	0,25	0,95	0,236	-
Total						+ 0,149	

Elaboración: Autores

Conclusiones:

- El impacto global fue positivo, lo cual se da puesto que los impactos ambientales positivos son más significativos que los negativos.
- El total global de impactos negativos suman $-0,352$ (Crítico).
- Los impactos negativos y moderados se dan en el ruido por fabricación de estructura metálica y excavación en la fase de ejecución.
- Luego en la fase de operación los impactos moderados se dan en los equipos principales con la contaminación de ruido atmosférico.

Recomendaciones:

- Se mitigarán los efectos negativos por muy pequeños que estos sean (compatibles), mediante el plan de manejo ambiental en la contaminación por ruido y manejo de desechos en la fase de implementación con medidas preventivas con el uso de equipos de protección personal y señaléticas.
- Con respecto a la limpieza superficial del acero, se deberá recomendar alguna otra alternativa más amigable al medio ambiente.
- Se buscará reducir el ruido por en la fabricación de estructura metálica y en la operación de la turbina y el generador se buscará aislar el proceso acústicamente.
- Finalmente, con respecto al movimiento de tierra se deberá destinar el volumen removido a un proceso de aprovechamiento de material.

Medidas de mitigación de impactos

Con el afán de mitigar los impactos ambientales se obtiene los siguientes valores en dólares por cada actividad.

Tabla 4.19 Medidas de mitigación y Costos

ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	Juicio	Medida correctiva	MONTO (UDS)
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema				
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	C	Señalética en lugares de alto tránsito (uso de EPP). Sonometría cada 3 meses	\$ 5.000,00
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	C	Cambio de proceso por granallado mineral Uso de granalla utilizada para abono	\$ 35.000,00
	Incremento de ruido por equipos	M	Aislamiento acústico de procesos de fabricación. Sonometría cada 3 meses	\$ 1.200,00
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	M	Acarrear material con caliza a la trituradora primaria. Acarrear relleno vegetal removido y destinarlo a sitios de reforestación de la cantera	\$ 5.400,00
	Incremento de nivel de ruido	C	Señalética en lugares de alto tránsito (uso de EPP). Sonometría cada 3 meses	\$ 1.200,00
	Desecho chatarra	C	Colocar una tina por cada desecho: chatarra, madera cobre.	
	Desecho madera	C	Pesar para controlar cada material (movilización de tinas para pesaje).	
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, y cobre	C		\$ 1.700,00
B. Operación del sistema				
5. Turbina	Incremento del nivel de ruido	M	Colocar cajas acústicas para cada equipo	\$ 6.000,00
6. Generador	Incremento del nivel de ruido	M		\$ 6.700,00
7. Sistema de tratamiento de agua	Depuración de agua industrial	-	N/A	\$ -
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	-	N/A	\$ -
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	-	N/A	\$ -
TOTAL (USD)				\$ 62.200,00

Elaboración: Autores

Valorización con medidas de minimización de impactos

Tabla 4.20 Valoración de impactos minimizados

						IMPACTO MINIMIZADO				
ACTIVIDAD / EQUIPOS	IMPACTOS AMBIENTALES	(+/-)	Impacto Total	Juicio	Medida correctiva	Magnitud de impacto	Peso	I1	Impacto Total	Nuevo Juicio
A. Suministro, Fabricación y Montaje del sistema										
1. Movilización de equipos y materiales	Incremento de ruido por transporte en la planta	(-)	0,019	C	Señalética en lugares de alto tránsito (uso de EPP). Sonometría cada 3 meses	0,92	0,15	0,05	0,007	C
2. Fabricación de estructura metálica	Incremento de emisiones (sandblasting)	(-)	0,029	C	Cambio de proceso por granallado mineral Uso de granalla utilizada para abono	0,60	0,10	0,10	0,006	C
	Incremento de ruido por equipos	(-)	0,041	M	Aislamiento acústico de procesos de fabricación. Sonometría cada 3 meses	0,92	0,15	0,08	0,010	C
3. Construcción de la nueva infraestructura	Excavación y Movimiento de tierra	(-)	0,045	M	Acarrear material con caliza a la trituradora primaria. Acarrear relleno vegetal removido y destinarlo a sitios de reforestación de la cantera	1,00	0,20	0,08	0,015	C
	Incremento de nivel de ruido	(-)	0,022	C	Señalética en lugares de alto tránsito (uso de EPP). Sonometría cada 3 meses	0,92	0,15	0,08	0,010	C
	Desecho chatarra	(-)	0,014	C	Colocar una tina por cada desecho: chatarra, madera cobre.	0,95	0,10	0,08	0,007	C
	Desecho madera	(-)	0,022	C	Pesar para controlar cada material (movilización de tinas para pesaje).	0,87	0,10	0,08	0,006	C
4. Instalaciones eléctricas	Desechos de cables, y cobre	(-)	0,020	C		0,80	0,10	0,10	0,008	C
B. Operación del sistema										
5. Turbina	Incremento del nivel de ruido	(-)	0,073	M	Colocar cajas acústicas para cada equipo	0,40	0,15	0,15	0,009	C
6. Generador	Incremento del nivel de ruido	(-)	0,069	M		0,40	0,15	0,15	0,009	C
7. Sistema de tratamiento de agua	Depuración de agua industrial	(+)	0,111	-	N/A	0,86	0,20	0,65	0,111	-
8. Sistema de Recuperación de Gases Residuales en Operación	Reduce consumo de agua	(+)	0,154	-	N/A	0,99	0,20	0,78	0,154	-
	Reduce emisiones de CO2 por cogeneración de energía eléctrica	(+)	0,236	-	N/A	0,99	0,25	0,95	0,236	-
TOTAL			+0,149			TOTAL MIN.			+0,413	

Elaboración: Autores

De la tabla anterior podemos rescatar lo siguiente, el impacto global minimizado se volvió más positivo por las acciones correctivas que de una u otra forma son beneficiosas para el medio ambiente.

Así mismo podemos calcular el total del impacto global negativo en ambos casos:

- Sin Medidas Correctivas: - 0,352 (Crítico)
- Con Medidas Correctivas: - 0,088 (Moderado)

4.2.4 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

A fin de contribuir con la preservación del medio ambiente, el cumplimiento de la legislación nacional y la buena práctica internacional vigente; se considera prioritario dentro de la planificación de las actividades, estructurar un plan de manejo ambiental y contingencias, como complemento del análisis de los aspectos ambientales significativos que se puedan traducir en impactos medioambientales.

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) proporciona lineamientos que permitan la prevención, control y minimización de los impactos potenciales que pudiesen ser provocados al medio y/o a los habitantes del área de influencia del proyecto en ejecución, al igual que a las áreas de manejo especial por su valor ecológico y sociocultural a nivel local, regional y nacional.

El PMA se desarrolla en base a la naturaleza y dimensiones de la obra y a la información proveniente de analizar las áreas sensibles y de manejo especial, así como a la evaluación de impactos. Sin embargo, más allá de mirar la valoración del impacto, se pondrá énfasis en los procedimientos de manejo ambiental efectivo en lugar de la predicción de impactos ambientales.

Se detalla el **plan de seguridad industrial**, antes de entrar en el plan de manejo ambiental.

- En primer lugar, todas las normas de seguridad deben de cumplirse a cabalidad, llevando un estricto control con la finalidad de que no ocurran accidentes en la obra. No hay excepciones, todo el personal desde el puesto más básico hasta los inspectores y fiscalizadores deben acatar y cumplir todas las normas de seguridad aquí planteadas.

- Se deberá implantar políticas de seguridad y salud ocupacional para propiciar las bases para minimizar los riesgos concernientes a accidentes y otros riesgos por seguridad. Un plan general de seguridad industrial deberá ser elaborado, presentado a fiscalización y aprobado previo al comienzo del trabajo general, dicho plan detallara los sistemas usados para la seguridad de todo el personal
- Se sugiere como primera actividad una inducción de seguridad industrial al inicio de los trabajos
- El uso de casco de seguridad es obligatorio para todo el personal que labore dentro del proyecto.
- Es obligatorio el uso de gafas de seguridad durante cada una de las etapas del mantenimiento y reparación de las bodegas. Cada persona deberá poseer al menos un par de gafas para poder trabajar, las mismas que deberán ser reemplazadas si muestran algún signo de daño o desperfecto, ya sea por el uso o por accidentes. El equipo de soldadores deberá tener protección ocular, de tipo especial, la de común uso en soldadura.
- El personal deberá trabajar usando además guantes de seguridad en todos los casos, desde el proceso de desmontaje de la cubierta hasta el de soldadura. Dichos guantes deberán estar en buen estado y ser reemplazados cuando termine su ciclo de vida normal.
- El uso de protectores de tela contra el sol es permitido, siempre y cuando no interfiera con otros componentes de seguridad, como el casco. Esto deberá tomarse en cuenta.
- Todo trabajo en altura, deberá ser realizado con un respectivo arnés de seguridad y línea de vida debidamente sujeta a una parte fija de la estructura con el afán de evitar accidentes graves.
- Todo el personal deberá trabajar con calzado de seguridad, en este caso, botas con punta de acero.
- Todo trabajo que involucre ruido más allá de los 85 decibeles deberá llevarse a cabo usando protección auditiva, ya sea tapones o auriculares.

Cuando el ruido supere los 105 decibeles (sandblasting), el uso combinado de tapones y auriculares es requerido

- El equipo de soldadores además de la protección ya mencionada, deberá poseer protección para el cuerpo, como lo son los mandiles y los guantes especiales, que lo protegerán de un posible accidente con las máquinas para soldar.
- Todo el personal deberá llevar además de la protección, un chaleco reflectivo, especialmente cuando realice trabajos en tierra, a menos que interfiera con otro tipo de protección, como es el caso de los soldadores y sus mandiles.
- Los trabajos de limpieza superficial y de pintura, deberán de llevarse a cabo usando la protección respiratoria adecuada para cada caso, teniendo en cuenta el tipo y cantidad de elementos que pueden ser liberados al aire. De ser necesario, equipos de suministro de aire fresco deben ser usados para que el personal trabajando pueda respirar tranquilamente, estos equipos son comunes en la aplicación de arenado y otros sistemas de limpieza superficial.
- Un plan para la selección de la protección respiratoria deberá ser implementado, en donde se realice un análisis de los contaminantes a los que los operarios van a estar expuestos y una vez analizados, proceder a escoger el tipo de protección respiratoria adecuada. Tal plan deberá ser revisado por el equipo de fiscalización y aprobado antes de comenzar con los trabajos.
- Se capacitará permanentemente al personal sobre los riesgos existentes y posibles en la ejecución de actividades operativas.
- Se optimizarán los equipos, procesos y condiciones de trabajo para garantizar una operación segura.
- Participación de los trabajadores sobre todas las condiciones de inseguridad que observen durante la jornada.

Equipos.- En todo momento se deberá emplear equipo, maquinaria, personal y métodos de construcción especificados para la correcta ejecución de las obras.

No se podrá efectuar cambios, modificaciones o reducción del equipo mencionado, sin autorización previa y por escrito del cliente. Tampoco podrá retirar equipos de la obra sin consentimiento previo, siendo ésta una causa de las sanciones establecidas en el contrato.

Emisiones de Partículas Totales

Procedimiento de limpieza superficial y pintura de acuerdo a PMA

El Plan de Manejo Ambiental debe considerar las siguientes etapas que son las de mayor impacto ambiental:

1. Granallado mineral.
2. Pintura

La manera de mitigar el impacto causado por estas actividades se detalla a continuación:

Respecto a la limpieza superficial con granalla mineral:

- La granalla mineral tiene la ventaja que luego de ser usada, puede ser usada como abono natural, dada su naturaleza mineral. Para este efecto, un sistema de lavado será considerado. El lavado será sencillo, pero efectivo. Los residuos de pintura tendrán que ser removidos en un 100% con el lavado antes de ser usado como abono este desecho.
- El agua usada para el lavado tendrá que ser filtrada, tomando en consideración lo mismo de la limpieza con agua, para su posterior incorporación al sistema de aguas lluvias. Los residuos deberán de ser tratados como desechos industriales.
- El uso de las lonas se repite en esta etapa, teniendo las mismas consideraciones que para con la limpieza con agua a presión.

Respecto a la pintura:

- Las mismas consideraciones tomadas anteriormente son válidas en esta etapa, teniendo en cuenta que aquí no se involucra el uso de agua.
- Las lonas deben cercar enteramente la zona donde se está aplicando la pintura. Dado que las etapas de granallado y la primera capa de pintura van de la mano, la configuración del sistema de lonas es uno solo.

Ruido

Con respecto a los impactos suscitados en la fase de ejecución del proyecto, se realizará un mapeo de sonometría en los lugares de trabajo y si están por encima de los límites permisible. Se deberá colocar señalética para sus empleados donde se comunicará el empleo de dispositivos de seguridad para mitigar el ruido, tales como tapones de oído u orejeras.

Por otra parte, las turbinas y generadores llevarán cajas acústicas para mitigar el ruido. Sin embargo periódicamente el personal de seguridad de planta deberá realizar una sonometría en el área donde se encuentran dichos equipos para asegurar de los valores de los decibeles se encuentran por debajo de los límites permisibles.

Manejo de desechos

Se deberá mantener el área de trabajo, instalaciones o servicios libres de toda acumulación de desperdicios o basuras. Al terminarse las obras objeto del contrato y como condición necesaria para la recepción provisional de los trabajos, se deberá retirar del área del proyecto los equipos de construcción, materiales no utilizados, basuras o desperdicios y todos los objetos de su propiedad que hayan sido utilizados durante la ejecución de los trabajos.

De la misma forma se deberá colocar baterías sanitarias dependiendo del número de personas que trabajaran en la obra en el interior de la planta.

Suelo

El material de suelo removido dependiendo de su componente tendrá dos tipos de destinos:

- Si el material excavado contiene altos porcentajes de caliza se enviara a la trituradora para que sea aprovechado y utilizado como materia prima en la planta.
- Si el suelo se tratase del tipo vegetal se deberá llevar a las áreas de escombreras destinadas para la reforestación de la cantera.

5. SISTEMA DE SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

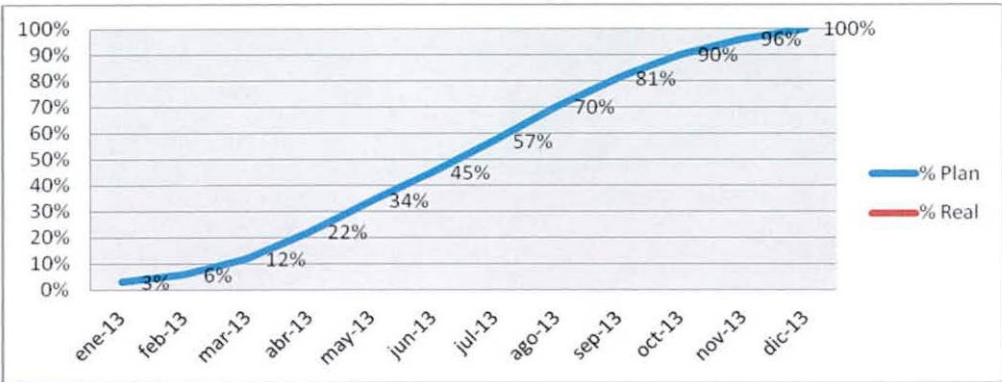
5.1 Procedimiento y Herramientas de Seguimiento

Para poder controlar las variables de progreso, costo usaremos el método de valor acumulado donde se medirá el rendimiento de cada variable en el tiempo.

Control Avance de Progreso

Permite controlar el avance real versus el planeado en función del tiempo. A continuación se muestra la curva de avance del proyecto, cuyos porcentajes fueron calculados mediante Microsoft Project 2007.

Figura 5.1 Avance Planificado del Proyecto

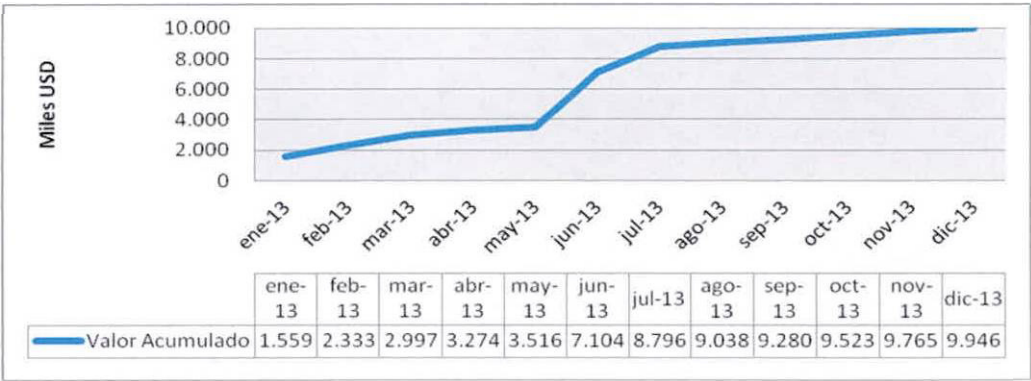


Fuente: Autores

Control de Presupuesto

Permite controlar el total gastado versus el proyectado en función del tiempo (ver figura 5.2).

Figura 5.2 Plan de Gastos Acumulados del Proyecto



Fuente: Autores

Por otra parte, para controlar la variable del recurso humano utilizaremos el Fondo de Recursos Compartidos, o dicho de otra forma la curva de Distribución de Recursos.

Control de Recursos

Permite controlar la fuerza de trabajo, es decir el número de personas en función del tiempo (ver figura 5.3).

Figura 5.3 Distribución de Recursos



Fuente: Autores

5.2 Control y Monitoreo en cada Fase del Proyecto

Fase de Planificación

Se registrará el progreso mediante la finalización de cronograma de trabajo, reuniones mensuales y la entrega parcial del diseño detallado.

De la misma forma se registrará cuantas personas y las horas de trabajo para reportar los gastos durante el diseño y la elaboración del cronograma.

Se registrará un informe semanal para conocer es estatus de la ingeniería de detalle.

Fase de Ejecución

Suministro. - El progreso de suministro de cada equipo o material se registra como 100% una vez que el bien se encuentra físicamente en el lugar de trabajo.

Fabricación.- El progreso de cada tarea se evalúa según las toneladas de acero estructural y de refuerzo fabricadas en taller.

Montaje.- El progreso de cada tarea se evalúa según las toneladas de acero estructural y de refuerzo montadas, así como el total de m^3 de hormigón colado. De la misma forma se registra la cantidad de m de cables y peso en toneladas de los equipos mecánicos y eléctricos montados.

Puesta en Marcha.- El progreso se registrará una vez cada uno de los equipos haya sido probado al 100% en vacío y luego en caliente.

De la misma forma se registrará cuantas personas y las horas de trabajo para reportar los gastos durante toda la fase de ejecución.

Adicionalmente, se realizará un informe semanal para conocer es estatus de la ingeniería de detalle.

En cada una de las fases anteriormente mencionadas se reportará las fechas reales de los hitos de inicio y fin más importantes del proyecto para también calcular las desviaciones y poder pronosticar atrasos no deseados.

Fase de Cierre

Una vez completado el proyecto se hará una revisión total de cada área y se emitirá un acta de entrega total del proyecto.

Luego, se registrará como 100% de progreso del proyecto y finalmente, se presentará un informe de evaluación.

Fase Ex-Post

Una vez entregado el proyecto se deberá monitorear mensualmente los ahorros por consumos eléctricos en MWh, emisiones de carbono no emitidos por generación de energía en toneladas de CO₂ y ahorro de agua en m³ a lo largo del primer año de implementado el proyecto.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

- La viabilidad técnica y ambiental para el proyecto de la Planta de energía de Recuperación de Calor Residual se ve confirmada por esta tesis.
- Teniendo en cuenta los beneficios ambientales, el proyecto logra los siguientes resultados: VPN: 2.898.612 USD; TIR: 20,98 %; Período de Retorno Dinámico: 6,7 años.
- Según el análisis de sensibilidad muestra que el escenario 2, reducción del 2% de la generación de energía por disminución del tiempo de operación y el escenario 1, incremento del 10% de Costos Operativos (sin beneficio ambiental) son los de menor rentabilidad y por lo tanto implica mayor riesgo de inversión. Son en estos puntos donde se debería preparar más y fortalecer con medidas mitigantes que se ven muy marcados en la etapa de puesta en marcha para prevenir cualquier inconveniente en la operación futura.

Se recomienda lo siguiente:

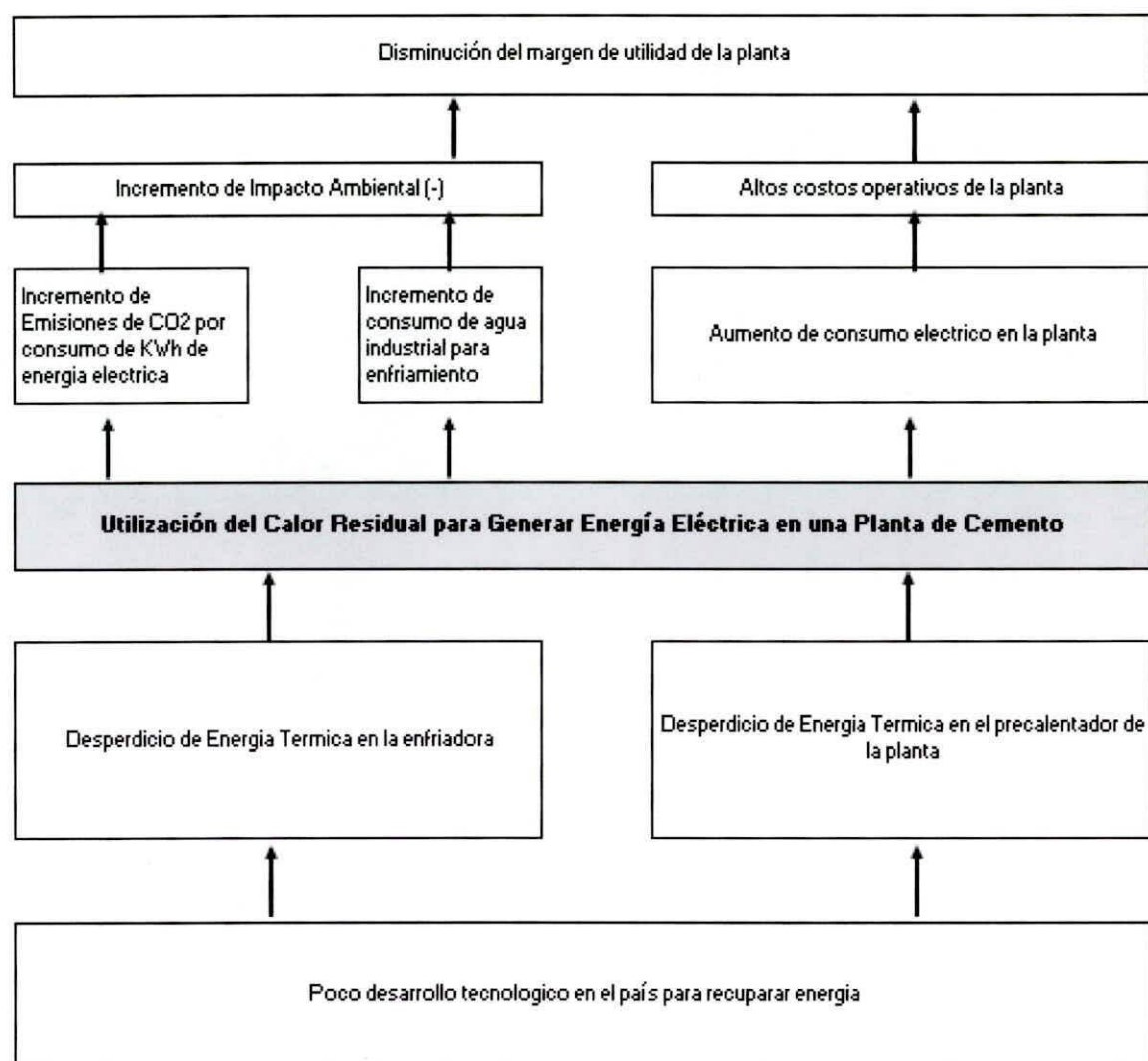
- Para poder tener mayor rentabilidad en este proyecto es primordial una ingeniería de detalle de calidad para tener poder negociación en el proceso contratación y con ello una disminución en el riesgo por costos adicionales como parte de los indirectos.
- Aprovechar los beneficios por la venta de bonos de carbono mediante un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para implementación del proyecto para incrementar mucho más la rentabilidad adicional del proyecto.
- Monitorear y registrar cada uno de los hitos del proyecto para que sirva como modelo de Proyecto amigable al ambiente para que se pueda replicar a todos los lugares de la región.
- Como estrategia se debe tener al personal operaciones en la etapa de puesta en marcha como responsables directos para que la curva de aprendizaje sea más eficiente y se de como resultado un arranque suave y sostenida producción para el primer año, disminuyendo así el riesgo de incremento de los costos operativos posteriores.

BIBLIOGRAFIA

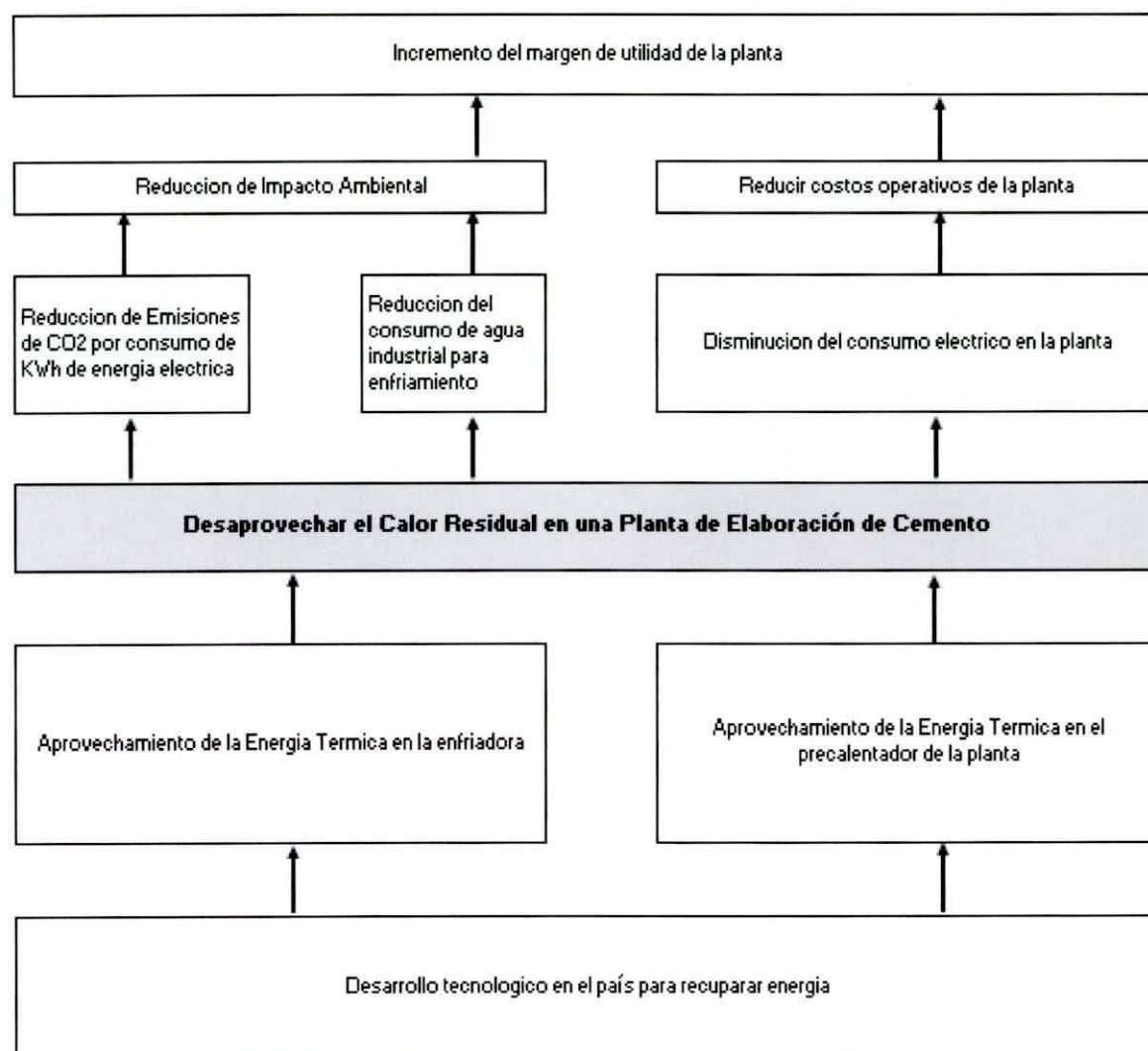
- Código de Construcciones Nacional 2011.
- Agrupación de fabricantes de Cemento en España (<http://www.oficemen.com/>)
- Ministerio de Recursos Naturales No Renovables, Republica del Ecuador
(<http://www.mrnnr.gob.ec/>)
- Ley de Régimen Tributario Interno (2008)
- Catálogo de Proyectos de Sectores Estratégicos 2012.
- Plan Maestro de Electrificación 2012 -2021.
- Estadísticas anuales del Sector Eléctrico Ecuatoriano. CONELEC
(<http://www.conelec.gob.ec/>)
- SBM Mining and Construction Machinery , Shanghai
http://www.sbmchina.com/cement_plant/products/cement_producing_process.html
- Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) for Cement Plant, Seminario en
Mexico 22 Noviembre 2007, KAWASAKI PLANT SYSTEMS, LTD
(http://www.jetro.go.jp/mexico/topics/20071017878-topics/Kawasaki_Waste_Heat_Recovery_Cement_Plant.pdf).
- TULSMA Decreto No.3516, normativa nacional de ambiente.
- Garmendia, Alfonso 2005, Evaluación de Impacto Ambiental.
- Valenzuela, Daniel 2008, Guía Ecuatoriana para la Formulación de Proyectos bajo
el Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- Miller, Harris 2006, Transit Noise and Vibration Impact Assessment
- Disposición general Reforma del código de la Producción
(<http://investecuador.ec/files/Conoce%20los%20incentivos%20del%20Codigo%20de%20la%20Produccion.pdf>)

ANEXOS

Anexo 1 Árbol de Problemas



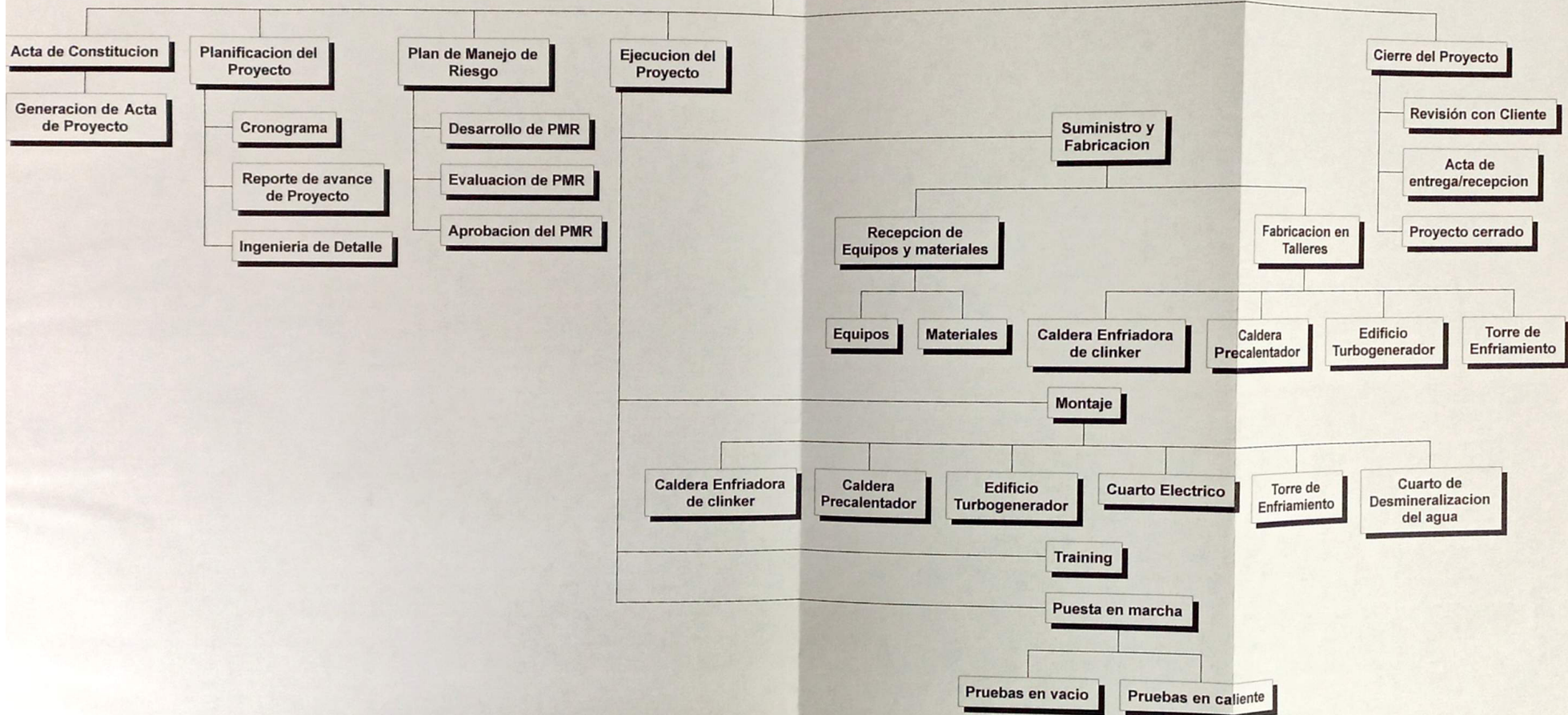
Anexo 2 Árbol de Objetivos



Anexo 3 Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT)

Planta de Recuperación de Calor Residual

Planta de Recuperación de Calor Residual



Anexo 4 Matriz Marco Lógico

FINALIDAD	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Aumento del margen de utilidad de la empresa de cemento.	Aumento del margen de utilidad en un 5 % en la empresa cementera del país dentro de los próximos 10 años	Reportes de balance anual de la empresa.	Entorno político y económico favorable que permita un ambiente amigable para la inversión extranjera del sector privada.
PROPÓSITO	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Utilización del calor residual para generar energía eléctrica en una planta de cemento, mediante la instalación, montaje & puesta de Calderas, generador & Sistema auxiliares que generan energía eléctrica a través del calor residual.	Disminución del 44.4 GWh anual del consumo de energía eléctrica de la red Nacional a partir del 2015. Disminución en un 29 704 Ton CO2 anual por consumo de energía eléctrica a partir del 2015. Disminución de 50 960 m3 de agua industrial utilizado para enfriamiento a partir del 2015.	Reportes mensuales de indicadores de la planta. Reporte de auditoría ambiental de la planta.	Interés por parte de los accionistas de la empresa hacia los proyectos medio ambientales. El incremento de energía eléctrica se mantenga por encima del 3% anual. Tecnología se mantenga vigente luego de construida las instalaciones
COMPONENTES	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
1. Acta de Constitución	Porcentaje de Avance, Líder de Proyecto, Enero 2013.	Acta de Proyecto Reporte de Avance de Proyecto	
2. Planificación del Proyecto	Porcentaje de Avance, Líder de Proyecto, Enero 2013.	Reporte de Avance de Proyecto	
3. Plan de Manejo de Riesgo	Porcentaje de Avance, Líder de Proyecto, Abril 2013.	Reporte de Avance de Proyecto	
4. Ejecución del Proyecto	Porcentaje de Avance, Todos, Diciembre 2013.	Reporte de Avance de Proyecto	Incremento menor al 10% de los materiales. Altos índices de accidentes en el montaje y puesta en marcha.
5. Cierre del Proyecto	Porcentaje de Avance, Líder de Proyecto, 01 Enero 2014.	Acta de Entrega/Recepción Reporte de Avance de Proyecto	Tecnología se mantenga vigente luego de construida las instalaciones

ACTIVIDADES	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
1 Acta de Constitución	1 KUSD, Enero 2013		
1.1 Generación de Acta de Proyecto	1 KUSD, Enero 2013	Acta de Proyecto	
2. Planificación del Proyecto	304 KUSD, Enero 2013		
2.1 Cronograma	74 KUSD, Enero 2013	Presupuesto aprobado	
2.2 Reporte de avance de Proyecto	130 KUSD, Diciembre 2013	Cronograma de obra (ver anexo 9)	
2.3 Ingeniería de Detalle	100 KUSD, Marzo 2013	Factura contra entrega de avance de obra	
3. Plan de Manejo de Riesgo	6 KUSD, Abril 2013		
3.1 Desarrollo de PMR	3 KUSD, Marzo 2013	Presupuesto aprobado	Tecnología se mantenga vigente luego de construida las instalaciones
3.2 Evaluación de PMR	2 KUSD, Abril 2013	Cronograma de obra (ver anexo 9)	
3.3 Aprobación del PMR	1 KUSD, Abril 2013	Factura contra entrega de avance de obra	
4. Ejecución del Proyecto	8702 KUSD, Diciembre 2013		
4.1 Suministro y Fabricación	7590 KUSD, Julio 2013	Presupuesto aprobado Cronograma de obra (ver anexo 9) Factura contra entrega de avance de obra	Incremento menor al 10% de los materiales.
4.1.1 Recepción de Equipos y materiales	7127 KUSD, Junio 2013		
4.1.2 Fabricación en Talleres	463 KUSD, Julio 2013		
4.2 Montaje	1018 KUSD, Diciembre 2013		
4.2.1 Caldera Enfriadora de clinker	157 KUSD, Mayo 2013		
4.2.2 Caldera Precalentador	157 KUSD, Mayo 2013		
4.2.3 Edificio Turbogenerador	285 KUSD, Diciembre 2013		
4.2.4 Cuarto Eléctrico	109 KUSD, Agosto 2013		
4.2.5 Torre de Enfriamiento	202 KUSD, Diciembre 2013		
4.2.6 Cuarto de Desmineralización del agua	109 KUSD, Septiembre 2013		
4.3 Training	37 KUSD, Diciembre 2013		
4.4 Puesta en marcha	55 KUSD, Diciembre 2013		
4.4.1 Pruebas en vacío	33 KUSD, Diciembre 2013		

4.4.2 Pruebas en caliente	22 KUSD, Diciembre 2013		
5. Cierre del Proyecto	53 KUSD, 01 Enero 2014		
5.1 Revisión con Cliente	20 KUSD, 31 Diciembre 2013	Acta de Entrega	
5.2 Acta de entrega/recepción	33 KUSD, 01 Enero 2014		

Anexo 5. Flujo de caja con Beneficios Ambientales

DESCRIPCION	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos		\$2.121.436	\$2.632.636	\$2.721.411	\$2.812.604	\$2.905.682	\$3.001.306	\$3.099.459	\$3.181.369	\$3.265.735	\$3.352.633
Ingreso Valor Residual											\$1.989.200
Costos Operativos											
(-) Costos Fijos del Operacion		\$161.000	\$167.440	\$174.138	\$181.103	\$188.347	\$195.881	\$203.716	\$211.865	\$220.340	\$229.153
(-) Costo Variable		\$10.000	\$10.400	\$10.816	\$11.249	\$11.699	\$12.167	\$12.653	\$13.159	\$13.686	\$14.233
(-) Depreciación		\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000
(=) Utilidad Antes de Impuestos		\$1.185.436	\$1.689.796	\$1.771.458	\$1.855.252	\$1.940.636	\$2.188.258	\$2.278.089	\$2.351.344	\$2.426.710	\$4.493.447
(-) Impuesto a la Renta		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$481.417	\$501.180	\$517.296	\$533.876	\$988.558
Utilidad Neta despues de Impuestos		\$1.185.436	\$1.689.796	\$1.771.458	\$1.855.252	\$1.940.636	\$1.706.842	\$1.776.910	\$1.834.048	\$1.892.834	\$3.504.889
(+) Depreciación		\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$765.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000	\$605.000
FLUJO DE CAJA NETO	-\$9.946.000	\$1.950.436	\$2.454.796	\$2.536.458	\$2.620.252	\$2.705.636	\$2.311.842	\$2.381.910	\$2.439.048	\$2.497.834	\$4.109.889

Anexo 6. Flujo de caja con Beneficios Ambientales (Escenario 1)

DESCRIPCION	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos		\$2,121,436	\$2,632,636	\$2,721,411	\$2,812,604	\$2,905,682	\$3,001,306	\$3,099,459	\$3,181,369	\$3,265,735	\$3,352,633
Costos Operativos											\$1,989,200
(-) Costos Fijos del Operacion		\$177,100	\$184,184	\$191,551	\$199,213	\$207,182	\$215,469	\$224,088	\$233,052	\$242,374	\$252,069
(-) Costo Variable		\$11,000	\$11,440	\$11,898	\$12,374	\$12,868	\$13,383	\$13,919	\$14,475	\$15,054	\$15,656
(-) Depreciación		\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000
(=) Utilidad Antes de Impuestos		\$1,168,336	\$1,672,012	\$1,752,963	\$1,836,017	\$1,920,631	\$2,167,454	\$2,256,452	\$2,328,842	\$2,403,308	\$2,479,908
(-) Impuesto a la Renta		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$476,840	\$496,420	\$512,345	\$528,728	\$545,580
Utilidad Neta despues de Impuestos		\$1,168,336	\$1,672,012	\$1,752,963	\$1,836,017	\$1,920,631	\$1,690,614	\$1,760,033	\$1,816,497	\$1,874,580	\$1,934,329
(+) Depreciación		\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000
FLUJO DE CAJA NETO	-\$9,946,000	\$1,933,336	\$2,437,012	\$2,517,963	\$2,601,017	\$2,685,631	\$2,295,614	\$2,365,033	\$2,421,497	\$2,479,580	\$2,539,329

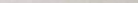
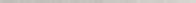
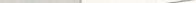
Anexo 7 Flujo de caja con Beneficios Ambientales (Escenario 2)

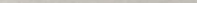
DESCRIPCION	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos		\$2,082,811	\$2,584,896	\$2,672,239	\$2,761,956	\$2,853,515	\$2,947,574	\$3,044,115	\$3,124,364	\$3,207,021	\$3,292,157
Ingreso Valor Residual											\$1,989,200
Costos Operativos											
(-) Costos Fijos del Operacion		\$161,000	\$167,440	\$174,138	\$181,103	\$188,347	\$195,881	\$203,716	\$211,865	\$220,340	\$229,153
(-) Costo Variable		\$10,000	\$10,400	\$10,816	\$11,249	\$11,699	\$12,167	\$12,653	\$13,159	\$13,686	\$14,233
(-) Depreciación		\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000
(=) Utilidad Antes de Impuestos		\$1,146,811	\$1,642,056	\$1,722,285	\$1,804,604	\$1,888,469	\$2,134,526	\$2,222,745	\$2,294,340	\$2,367,995	\$4,432,971
(-) Impuesto a la Renta		\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$469,596	\$489,004	\$504,755	\$520,959	\$975,254
Utilidad Neta despues de Impuestos		\$1,146,811	\$1,642,056	\$1,722,285	\$1,804,604	\$1,888,469	\$1,664,930	\$1,733,741	\$1,789,585	\$1,847,036	\$3,457,717
(+) Depreciación		\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$765,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000	\$605,000
FLUJO DE CAJA NETO	-\$9,946,000	\$1,911,811	\$2,407,056	\$2,487,285	\$2,569,604	\$2,653,469	\$2,269,930	\$2,338,741	\$2,394,585	\$2,452,036	\$4,062,717

Anexo 8 Plan de Manejo de Riesgo

Plan de Manejo de Riesgo (PMR)					
Descripción del Riesgo	Probabilidad de ocurrencia	Impacto al proyecto	Indice de Riesgo	Accion a Mitigar	Responsable
	(H / M / L) (1/3/5)	(H / M / L) (1/3/5)	Probabilidad x Impacto		
Riesgo político (El precio Kilowattio hora a nivel nacional se reduzca para el sector industrial ecuatoriano)	1	5	5	N/A	N/A
Precios de los Materiales de Construcción (Inflación de materiales de construcción se incrementa por encima del 10%).	3	5	15	Realizar compra de materiales anticipadamente en el primer cuarto del 2013	Administrador
Tecnología de calor residual (Tecnología obsoleta al final de la construcción)	3	3	9	Realizar visitas a ferias de energías renovables donde se promocionen tecnologías industriales, y estar abiertos a realizar mejoras.	Administrador
Duración Prolongada por la Puesta en Marcha y Posterior Operación de las Instalaciones	5	3	15	Contratación Previa de Personal Operativo (Puesta en Marcha) y Capacitación (Training)	Lider del Proyecto
Altos indices de accidentes por instalación y pruebas de nuevos equipos	3	5	15	Contratación mayor de personal para las pruebas, tanto propio como de contratista	Coordinador de Seguridad

Anexo 9 Cronograma de Actividades Completo

proyecto: Planta de Recuperación de echa: lun 08/10/12
 Tarea  Progreso  Resumen  Tareas externas  Fecha límite 

División  Hito  Resumen del proyecto  Hitos externos 

Página 2

Proyecto: Planta de Recuperacion de
Fecha: lun 08/10/12

—

del proyecto

Hito externo

1. *Ecological*

Id	EDT	Nombre de tarea	Costo	Duración	Comienzo	Fin	2 nov '12 24 dic '12 04 feb '13 18 mar '13 29 abr '13 10 jun '13 22 jul '13 02 sep '13 14 oct '13 25 nov '13 06 ene '14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
							D	J	L	V	M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D	J	L	V	M	S	X	D	J	L	V																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
232	4.4.1	Pruebas en vacío	\$ 33.336,00	164 días	mar 07/05/13	vie 20/12/13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

Proyecto: Planta de Recuperación de
Fecha: lun 08/10/12

Tarea
División

Progreso
Hito

Resumen
Resumen del proyecto

Tareas externas
Hito externo

Fecha límite