

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Estudio de Factibilidad para el Co-procesamiento de las Aguas  
de Sentina en Plantas Cementeras”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA INDUSTRIAL**

Presentada por:

Denise Cristina Cajas Arenas

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este documento y especialmente a mis padres, mi apoyo y guía, por su invaluable ayuda y amor.

# DEDICATORIA

A mi familia

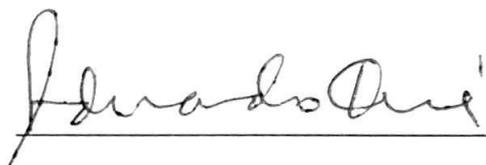
A mis amigos

A mis maestros

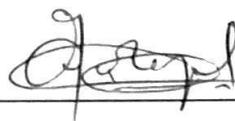
A la ESPOL

A Holcim Ecuador

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Eduardo Orcés P.  
DELEGADO POR EL  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



Ing. Marcos Tapia Q.  
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Duque R.  
VOCAL



Ing. Julián Peña E.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponde exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Denise Cajas Arenas



## RESUMEN

El presente documento analiza la viabilidad comercial, legal, ambiental, técnica y financiera para la implementación y puesta en marcha de un proyecto de co-procesamiento en busca de la reducción del costo específico de la energía térmica de la planta Cerro Blanco, y de la mitigación de los impactos ambientales generados por la industria cementera. En otras palabras, demuestra que la utilización de las aguas de sentina como combustible alternativo es factible y además rentable.

El Capítulo 1 presenta el proceso de fabricación de cemento como antecedente para el desarrollo del proyecto, así como la problemática ambiental que justifica el co-procesamiento como una alternativa técnica y ambientalmente adecuada para la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y la reducción del consumo de combustibles fósiles en el proceso de combustión de los hornos cementeros. El capítulo finaliza con la presentación del proyecto, el cual consiste en la implantación de un sistema integrado de operaciones que incluyen la descarga, recolección, transporte, y co-procesamiento del residuo en la planta Cerro Blanco.

El Capítulo 2 cumple dos objetivos específicos: demostrar la existencia de un mercado de generación de aguas de sentina disponible para el desarrollo del proyecto, así como calcular los costos comerciales propios de la gestión comercial asociada a la captación del mercado de interés.

Dada una oferta “potencial” calculada del residuo en los puertos ecuatorianos de 19500 y 21300 toneladas al 2006 y 2010, respectivamente, con demandas de 13500 y 18400 toneladas para los mismos años, el estudio identifica una oferta no aprovechada de aproximadamente 4500 toneladas anuales, condición que favorece al proyecto y que apoya su factibilidad desde la perspectiva de mercado. Es así que, el estudio calcula una demanda para el proyecto correspondiente al 5% de la oferta potencial al 2006, con incrementos anuales de 5%, esperando llegar a tener una participación de mercado máxima del 30%.

El estudio comercial además identifica a la competencia, analiza la industria de disposición del residuo, y presenta los precios de mercado por la prestación del servicio de recolección y desalojo de las aguas de sentina.

El Capítulo 3 parte de la identificación de los requisitos legales a cumplir para la ejecución del proyecto, como antecedente para la cuantificación de los costos ambientales. Asimismo en él se evalúan los impactos generados por

las actividades del proyecto, con el objetivo de definir medidas asociadas al manejo ambientalmente adecuado de las operaciones y el costo de aplicación de las mismas.

En términos de emisiones, se presenta una comparación entre las emisiones de gases de las chimeneas de ambos hornos bajo la Situación de Línea Base como punto de partida (en ausencia del proyecto), y las emisiones medidas durante la inyección de aceite usado por el quemador de uno de los hornos. Lo anterior, para demostrar que no existe un impacto significativo por la implementación del proyecto, ni en comparación con la Situación de Línea Base ni en comparación con los límites máximos permisibles para los parámetros de NO<sub>x</sub>, PST y SO<sub>2</sub>, regulados por el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), y los parámetros de HCl, CO, metales pesados y dioxinas y furanos, comparados con los límites de la norma ambiental mexicana NOM-040-ECOL-2002.

El Capítulo 4 parte del diagnóstico inicial de los límites técnicos de los hornos de la planta Cerro Blanco para identificar el potencial técnico de cada horno para el co-procesamiento del residuo. Luego, el estudio técnico cuantifica los impactos que el agua y el incremento de los niveles de O<sub>2</sub> generan sobre el consumo calorífico de los hornos, la temperatura de llama y la pérdida de capacidad de producción, determinando incrementos promedios del consumo

calorífico de los hornos de 0.09% y pérdidas de producción promedio de 0.36 toneladas de clinker por tonelada de residuo inyectada.

Para determinar impactos por la presencia de cloro y azufre en el residuo, el documento presenta los Balances Álcali – Cloro – Azufre del proceso de fabricación de clinker para ambos hornos dada la situación actual, a fin de determinar si el proceso presenta limitantes para el co-procesamiento del residuo, por la concentración de estos elementos en el mismo. Sin embargo, los resultados indican que la concentración de azufre es menor en el residuo (máx. 1.84%) que en el combustible tradicional (4%), y que las concentraciones de cloro no sobrepasan el 1.20%,

El estudio técnico culmina con el análisis de las distintas alternativas para el co-procesamiento de las aguas de sentina en función del punto de alimentación de las mismas al sistema. Por comparación de costos por la operación, impactos al proceso, análisis físico-químicos, y demás, el análisis determina como alternativa ganadora la alimentación de las aguas de sentina por el quemador de los hornos, dada una homogeneización previa.

El Capítulo 5 consolida la información de costos de los estudios anteriores y elabora proyecciones financieras que permiten analizar la rentabilidad del proyecto con el uso de herramientas financieras para el análisis de proyectos

de inversión. A partir del flujo de caja proyectado del proyecto, se estima un Valor Presente Neto (VPN) para el proyecto de US\$ 537000, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 48.1% (en comparación con un costo de capital ponderado de 10% anual) y un Periodo Estático de Retorno (payback) de 4 años y 8 meses, de donde se concluye que el proyecto es rentable.

Por otro lado, con sustituciones térmicas (TSR) de 0.57% en el año 2006 creciendo hasta 2.2% en 2009, el proyecto genera un ahorro por sustitución térmica de US\$ 70000 al 2006 y US\$ 416000 al 2009, lográndose finalmente un ahorro en costos de energía térmica de 65 cUSD por tonelada de clinker producida.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN II	
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS .....	XI
DEFINICIONES .....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. ANTECEDENTES .....	3
1.1 Proceso de Fabricación de Cemento .....	3
1.2 Co-procesamiento Desde Su Perspectiva Social .....	17
1.3 Definición y Alcance del Proyecto .....	31
1.4 Etapas del Proyecto .....	33
CAPÍTULO 2	
2. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD COMERCIAL .....	37
2.1 Oferta de Aguas de Sentina .....	37
2.1.1 Puertos del Ecuador .....	37

2.1.2	Tráfico de Buques.....	44
2.1.3	Cálculo de la Oferta .....	49
2.1.4	Oferta Proyectada a 5 Años .....	52
2.2	Demanda de Aguas de Sentina.....	55
2.2.1	Alternativas de Disposición para las Aguas de Sentina .....	55
2.2.2	Competencia Actual y Potencial .....	58
2.2.3	Precios de Mercado para la Disposición.....	64
2.2.4	Demanda Proyectada a 5 Años .....	66
2.3	Costo de Captación del Mercado .....	67
2.3.1	Análisis de la Industria de Disposición de Sentinas.....	67
2.3.2	Expectativas de Captación del Mercado.....	72
2.3.3	Cuantificación del Mercado .....	73
2.3.4	Requerimientos Organizacionales .....	74
2.3.5	Costos Comerciales.....	76
CAPÍTULO 3		
3.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD LEGAL- AMBIENTAL .....	79
3.1	Marco Legal Ambiental.....	79
3.1.1	Autoridades ambientales de control.....	79
3.1.2	Requerimientos de Permisología y Estudios .....	80
3.1.3	Leyes y Reglamentos Relacionados con el Proyecto .....	83
3.1.4	Lineamientos Establecidos por Convenios Internacionales....	89

3.2 Evaluación de Impactos Ambientales.....	91
3.2.1 Caracterización de las aguas de sentina .....	92
3.2.2 Toxicidad de las aguas de sentina.....	94
3.2.3 Impactos en las actividades de gestión .....	96
3.2.4 Impactos en el co-procesamiento.....	100
3.3 Manejo Ambiental.....	104
3.3.1 Política para la gestión ambiental de las aguas de sentina ..	104
3.3.2 Medidas necesarias para la prevención y mitigación de impactos .....	107
3.4 Costo Ambiental .....	118

## CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA.....	122
4.1 Co-procesamiento de aguas de sentina .....	122
4.1.1 Evaluación del impacto del residuo en los hornos cementeros .....	122
4.1.2 Criterios físico-químicos de aceptación .....	133
4.1.3 Consumos esperados.....	136
4.1.4 Inversiones requeridas .....	142
4.1.5 Costos/beneficios económicos del co-procesamiento .....	149
4.2 Logística operativa .....	152
4.2.1 Operación de descarga del buque al tanquero-cisterna .....	152

4.2.2 Transporte del residuo .....	153
4.2.3 Costo de la operación logística .....	155
4.3 Costos operativos totales .....	155

## CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD FINANCIERA .....	157
5.1 Consolidación de costos comerciales, legales-ambientales y técnicos .....	157
5.2 Flujo de caja proyectado .....	159
5.3 Análisis de la rentabilidad del proyecto .....	162
5.4 Plan financiero .....	164

## CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	169
---	-----

## APÉNDICES

## FUENTES DE CONSULTA

## ABREVIATURAS

AAAr	Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable
AF	Combustible alternativo (Alternative Fuel)
AFR	Combustibles y materias primas alternativas (Alternative Fuels and Raw Materials)
Alk	Álcali
AP	Autoridad Portuaria
APE	Autoridad Portuaria de Esmeraldas
APG	Autoridad Portuaria de Guayaquil
APM	Autoridad Portuaria de Manta
APPB	Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar
As	Arsénico
BSE	Bovine Spongiform Encephalopathy
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio
CB	Cerro Blanco
CBG	Combustible de Bajo Grado (Low Grade Fuel)
CEMS	Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones (Continuous Emission Monitoring System)
CC	Cámara de combustión
Cd	Cadmio
CH <sub>4</sub>	Metano
Cl	Cloro
cli	Clinker
CNPT	Condiciones europeas normales de presión y temperatura
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
Cr	Cromo
DMA	Dirección de Medio Ambiente
DRE	Factor de Destrucción y Eficiencia de Remoción (Destruction and Renoval Efficiency Factor)
EIA	Estudio de impacto ambiental
EMR	Monitoreo y Reporte de Emisiones (Emission Monitoring & Reporting)
EPA	Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency)
ESC	Empresa de Servicios Complementarios

F	Flúor
FINPLAN	Plan financiero
G <sub>LL</sub>	Grado de llenado
GAV	Valor Bruto Añadido (Gross Added Value)
H1	Horno 1
H2	Horno 2
H <sub>2</sub> O	Agua
HCl	Ácido Clorhídrico
HFC	Hidrofluorocarbonados
Hg	Mercurio
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LGA	Ley de Gestión Ambiental
M.I.	Muy Ilustre
Mn	Manganeso
n/a	No aplica
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NCB AFR	Beneficio Neto de Efectivo de AFR
Ni	Níquel
NO <sub>x</sub>	Óxido de nitrógeno
NTE	Norma técnica
OH	iones oxidrilo
PAH	Poliaromáticos
Pb	Plomo
PC	Poder calorífico o precalcinador (según el contexto de la oración)
PCB	Bifenilos Policlorados
PCDD	Policlorodibenzo-p-dioxinas (dioxinas)
PCDF	Policlorodibenzofuranos (furanos)
PCI	Poder calorífico inferior
PFC	Perfluorocarbonados
pH	Potencial de hidrógeno
PMA	Plan de Manejo Ambiental
PST	Partículas Suspensas Totales (material particulado)
q	Consumo específico de energía térmica
QH	Quemador del Horno
Rel.	Relación
RGAPE	Reglamento de Servicios Portuarios para las Entidades Portuarias del Ecuador
R <sub>LGA</sub> PCCA	Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
R.O.	Registro Oficial
RPCCDP	Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos
Sb	Antimonio

Se	Selenio
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SO <sub>3</sub>	Anhídrido Sulfúrico (sulfato)
SUMA	Sistema Único de Manejo Ambiental
TEE	Equivalente Económico Térmico (Thermal Economic Equivalent)
TIR	Tasa Interna de Retorno
ton	tonelada(s)
TPH	Hidrocarburos Totales de Petróleo (Total Petroleum Hydrocarbons)
TSR	Tasa de Sustitución Térmica (Thermal Substitution Rate)
TULAS	Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria
UNFCCC	Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (United Nations Framework Convention on Climate Change)
URSS	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
V <sub>act</sub>	Flujo actual de gases
V	Flujo específico normalizado de gases en los hornos
V <sub>horno</sub>	Volumen del horno
V <sub>nor</sub>	Flujo específico normalizado de gases en los hornos
VAN	Valor Actual Neto
VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles (Volatile Organic Compounds)
Zn	Zinc

## DEFINICIONES

- Agencia naviera:** persona que por cuenta del naviero (compañía de transporte marítimo/porteador) se ocupa de gestionar en el puerto todo lo necesario para el despacho del buque, además de las cuestiones que les sean encomendadas por el naviero.
- Agua de sentina:** agua que está en el fondo de los barcos –cerca de la quilla– donde van a parar residuos de combustibles, es decir, de diesel o fuel-oil, más residuos de los lubricantes y de valvulina, los cuales se juntan con las aguas de mar y aguas de lluvia, que normalmente van a parar ahí.
- Autoridad Portuaria (AP):** entidad portuaria de derecho público que ejerce jurisdicción en un puerto comercial estatal y su zona correspondiente.
- Clinker:** Mineral artificial con propiedades hidráulicas, que es componente principal del cemento, fabricado mediante un proceso térmico a altas temperaturas.
- Clinkerización:** Reacción endotérmica que tiene lugar a los 1450°C aproximadamente, mediante la cual se forman los silicatos y aluminatos, que confieren las propiedades de ligante hidráulico al cemento, a partir de los óxidos citados.
- Co-procesamiento:** eliminación ambientalmente segura de residuos industriales, aprovechando en forma eficiente la energía térmica y/o componentes químicos que ese residuo pueda aportar a un proceso productivo.
- Disposición final:** es la acción de depósito permanente de los desechos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a la salud y al ambiente

Gases de Invernadero:	Gases responsables del efecto invernadero, el cual consiste en la absorción en la atmósfera terrestre de las radiaciones infrarrojas emitidas por la superficie, impidiendo que escapen al espacio exterior y aumentando, por tanto, la temperatura media del planeta.
Generador:	se entiende toda persona natural o jurídica, cuya actividad produzca desechos peligrosos u otros desechos. Si esa persona es desconocida, será aquella persona que éste en posesión o control de esos desechos.
Precalcinador:	reactor instalado en la base del precalentador cuyo fin es lograr que la disociación del $\text{CaCO}_3$ (descarbonatación) se lleve a cabo antes de que el material ingrese al horno para disminuir significativamente la carga térmica y flujo de gases en éste.
Precalentador:	intercambiador de calor de extrema eficiencia donde se alimenta el crudo seco con el fin de precalentarlo con los gases de salida del horno, previo a su llegada al horno rotatorio.
Residuo:	sustancias u objetos que se disponen, se intentan disponer o se está obligado a disponer en virtud de lo establecido en la ley. (Convención de Basilea)

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Proceso De Fabricación Del Cemento..... 3
Figura 1.2	Preparación De Materias Primas ..... 6
Figura 1.3	Composición Y Funciones Del Molino Vertical De Crudo ..... 7
Figura 1.4	Molino De Bolas..... 9
Figura 1.5	Pre calentador De Ciclones De 5 Etapas.....12
Figura 1.6	Sistema De Molienda Con Unidad De Premolienda .....14
Figura 1.7	Molienda Con Molino De Bolas.....15
Figura 1.8	Ensacadora De Tipo Rotativo .....16
Figura 1.9	Planta <i>Eclepens</i> De Holcim (Suiza). .....21
Figura 1.10	Lodos De Efluentes.....24
Figura 1.11	Volumen De Residuos Co-Procesados En Cerro Blanco En 2004 .....26
Figura 1.12	Curvas De Temperatura Para Los Materiales Y Gases .....27
Figura 1.13	Reducción De Las Emisiones Dado El Co-Procesamiento De Residuos .....31
Figura 1.14	Esquema General Del Proyecto .....32
Figura 2.1	Puertos Estatales Del Ecuador Y Puertos Privados De Guayaquil .....39
Figura 2.2	Carga Movilizada En Ecuador – Años 1990 A 2004 .....44
Figura 2.3	Movimiento De Buques En Puertos Ecuatorianos .....45
Figura 2.4	Carga Especifica Movilizada.....46
Figura 2.5	Distribución Del Tráfico De Buques En Guayaquil.....47
Figura 2.6	Distribución De Buques En Ptos. Privados (2003).....47
Figura 2.7	Diagrama De Pareto De La Carga Movilizada En Puertos Privados .....48
Figura 2.8	Generación Anual Del Residuo En Los Puertos Ecuatorianos .....53
Figura 2.9	Gráfica De La Proporción De Buques Atendidos En Términos De Descarga De Residuos Líquidos.....61
Figura 2.10	Distribución Por Empresa Del Total De Residuos Líquidos Descargados En Pto. Bolívar .....62
Figura 3.1	Gráfico Radial De Las Emisiones De CO, HCl, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> Y PST .....102
Figura 3.2	Gráfico Radial De Las Emisiones De Metales Pesados Y Dioxinas Y Furanos .....103

Figura 4.1	Cadena Lógica De Impactos Del Residuo .....	127
Figura 4.2	Diagrama Esquemático Para El Co-Procesamiento .....	143
Figura 5.1	Flujo De Caja Del Proyecto.....	162
Figura 5.2	Cálculo Del Beneficio De AFR Por Sustitución .....	165
Figura 5.3	Cálculo Del Beneficio Neto De Efectivo De AFR .....	166

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Componentes Del Cemento .....	4
Tabla 2	Reacciones Presentes Durante La Formación De Clinker .....	10
Tabla 3	Puertos Comerciales Estatales Del Ecuador .....	40
Tabla 4	Puertos Comerciales Privados Del Ecuador.....	41
Tabla 5	Oferta Potencial Del Residuo .....	53
Tabla 6	Alternativas De Disposición Del Residuo .....	56
Tabla 7	Empresas Autorizadas Para La Recolección Y Desalojo De Aguas De Sentina.....	58
Tabla 8	Precios Actuales Por La Descarga Del Residuo .....	64
Tabla 9	Demanda Proyectada Del Residuo .....	66
Tabla 10	Oferta Potencial No Aprovechada .....	73
Tabla 11	Cuantificación Del Mercado A Captar.....	74
Tabla 12	Costo Por La Gestión Comercial Del Proyecto.....	78
Tabla 13	Autoridades Ambientales De Control.....	79
Tabla 14	Estudios Ambientales Y Permisos.....	81
Tabla 15	Regulaciones Ambientales .....	83
Tabla 16	Mecanismos Para El Cumplimiento De La Ley De Régimen Municipal .....	86
Tabla 17	Normativa Para El Manejo De Desechos Peligrosos.....	88
Tabla 18	Lineamientos Internacionales .....	89
Tabla 19	Convenios Internacionales Relacionados Con El Proyecto.....	90
Tabla 20	Características Generales Del Residuo.....	94
Tabla 21	Impactos Ambientales En Las Actividades De Gestión De Las Aguas De Sentina.....	97
Tabla 22	Resumen De Las Emisiones Medidas Por Las Chimeneas De Los Hornos Vs. Límites .....	101
Tabla 23	Política Ambiental.....	105
Tabla 24	Medidas De Manejo Ambiental Para La Prevención Y Mitigación De Impactos Causados Por Las Actividades De Gestión De Las Aguas De Sentina.....	109
Tabla 25	Medidas De Manejo Ambiental Para La Prevención Y Mitigación De Impactos Causados Por El Co-procesamiento De Las Aguas De Sentina.....	115
Tabla 26	Costo Ambiental Del Proyecto.....	118
Tabla 27	Cuellos De Botella De Los Hornos .....	123

Tabla 28	Condiciones Potenciales Para El Co-Procesamiento De Aguas De Sentina.....	124
Tabla 29	Tasas De Sustitución Térmica Máximas .....	126
Tabla 30	Factores De Impacto De Los CBGs .....	127
Tabla 31	Comparativo TSR Calculada Vs. TSR Máxima Para Evitar Impactos Negativos En Producción.....	129
Tabla 32	Evaluación Del Balance Álcali-Azufre-Cloro.....	130
Tabla 33	Análisis Físico-Químicos Requeridos .....	134
Tabla 34	Consumos Esperados Según Alternativa A.....	137
Tabla 35	Consumos Esperados Según Alternativa B.....	138
Tabla 36	Alimentación Al Quemador De Los Hornos (QHs) – Alternativa B .....	139
Tabla 37	Alimentación A La Cámara De Combustión (CC) – Alternativa B .....	140
Tabla 38	Consumos Esperados Según Alternativa C .....	141
Tabla 39	Alimentación Al Quemador De Los Hornos (QHs) – Alternativa C .....	141
Tabla 40	Alimentación A La Cámara De Combustión (CC) – Alternativa C .....	142
Tabla 41	Presupuesto De La Inversión .....	147
Tabla 42	Costos & Beneficios Del Co-Procesamiento .....	149
Tabla 43	Costos Del Co-Procesamiento De Aguas De Sentina .....	150
Tabla 44	Rutas De Transporte Hacia La Planta CB .....	154
Tabla 45	Costo De La Operación Logística.....	155
Tabla 46	Costos Operativos Totales .....	156
Tabla 47	Consolidación De Costos De La Gestión Comercial .....	157
Tabla 48	Consolidación De Costos Ambientales.....	157
Tabla 49	Consolidación De Costos Operativos .....	158
Tabla 50	Flujo De Caja Proyectado A 10 Años .....	160
Tabla 51	Periodo Estático De Retorno .....	163
Tabla 52	Reducción Del Costo Actual Específico De La Energía Térmica .....	168

## **INTRODUCCIÓN**

El presente documento analiza la viabilidad de un proyecto de co-procesamiento de las aguas de sentinas en hornos cementeros, enfocado a la captación de los lodos de buques que arriban a los cuatro puertos comerciales estatales del Ecuador y a los nueve puertos privados de la ciudad de Guayaquil.

Este estudio busca demostrar la factibilidad comercial, legal, ambiental, técnica y financiera, estableciendo como límites del servicio a ofrecer la recepción de buques en los determinados puertos para la descarga de las sentinas, y la destrucción térmica de las mismas en los quemadores de alta temperatura de los hornos cementeros de la Planta Cerro Blanco, ubicada en la ciudad de Guayaquil. Esto incluye costos tanto de la operación logística para la descarga y transporte del residuo y de la disposición del mismo.

El desarrollo del trabajo parte de la síntesis de información histórica acerca del tráfico de buques en el país, a partir del cual se cuantifica un mercado potencial de aguas de sentina. Adicionalmente, con el establecimiento de un marco legal-ambiental que define lineamientos para el manejo del residuo, se establecen requerimientos para la logística operativa y disposición del residuo.

La operación de los hornos cementeros también establece restricciones en cuanto a la cantidad tolerable de sludge en el proceso de fabricación de clinker. De ahí surgen criterios de aceptación del residuo con los que se puede establecer un consumo esperado, a partir del cual se establecerá una tasa de sustitución térmica (TSR) y sus implicaciones económicas.

La validación de las conclusiones acerca de la factibilidad del proyecto se logra sobre la base de análisis estadísticos, resultados de análisis químicos, técnicos y de emisiones, y análisis de rentabilidad, todos los cuales permiten recomendar acciones a seguir en cuanto a la puesta en marcha del proyecto.

# CAPÍTULO 1

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Proceso de Fabricación de Cemento

El proceso de fabricación de cemento es en esencia un conjunto de transformaciones físicas de los distintos componentes del mismo, con una única transformación química, necesaria para la obtención del clinker, componente principal del cemento. Está compuesto por cinco sub-procesos dependientes entre sí: preparación de materias primas, preparación de crudo, fabricación de clinker, molienda de cemento y despacho, para los cuales se ejecuta una serie de operaciones que garantizan la calidad del producto final (Figura 1.1).



FIGURA 1.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO

FUENTE: Holcim Cement Manufacturing Course

### Preparación de materias primas

La base para la fabricación del cemento está en tener garantizada una adecuada provisión de materias primas, donde más que garantizar el abasto de uno u otro material se busca asegurar determinadas cantidades de aquellos componentes químicos (Tabla 1) que le dan al cemento sus características de resistencia. Estos componentes químicos se encuentran en la naturaleza en formaciones rocosas de donde se extrae los minerales que los contienen a través de explotaciones a cielo abierto.

**TABLA 1**  
**COMPONENTES DEL CEMENTO**

Componentes		Designación	Proporción
Calcio	CaO	Elementos principales (óxidos)	64%
Silicio	SiO <sub>2</sub>		22%
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		6%
Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3%
Álcalis	Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	Elementos secundarios	5%
Azufre	SO <sub>3</sub>		
Magnesio	MgO		
Titanio	TiO <sub>2</sub>	Elementos traza	
Cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
Manganeso	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Cloro	Cl		
Flúor	F		

FUENTE: Holcim Cement Manufacturing Course

Los minerales normalmente empleados para la preparación del crudo son la caliza, arcilla, bauxita/fluorita, puzolana y arenilla, mientras que los minerales incorporados como aditivos para la molienda de cemento son el yeso, puzolana y limolita.

Todos los minerales son reducidos de tamaño a través de procesos de trituración. La caliza y limolita se quebrantan por compresión en trituradoras giratorias. La trituradora primaria las reduce a piedras de aproximadamente 8 pulgadas de diámetro; la secundaria, a piedras de no más de 4 pulgadas de diámetro. Estas piedras son luego apiladas en una sala de pre-homogeneización mediante un sistema de apilamiento circular por capas, donde el material ingresa a la sala por la parte superior y se extrae mediante un rascado lateral por la parte inferior.

La arcilla y los minerales aditivos son fraccionados en una trituradora de impacto (martillos) que realiza un desmenuzamiento del material para luego almacenarlo en salas de pre-homogeneización mediante un apilamiento en línea recta con ingreso del material por la parte superior y extracción de la sala mediante un rascado vertical.

La fluorita, utilizada en muy pequeñas proporciones en el crudo (0.3%), es directamente vertida en una tolva de dosificación. Por último, todos los materiales –en las dosis requeridas- son transportados al molino vertical mediante sistemas de bandas transportadoras. (Figura 1.2)

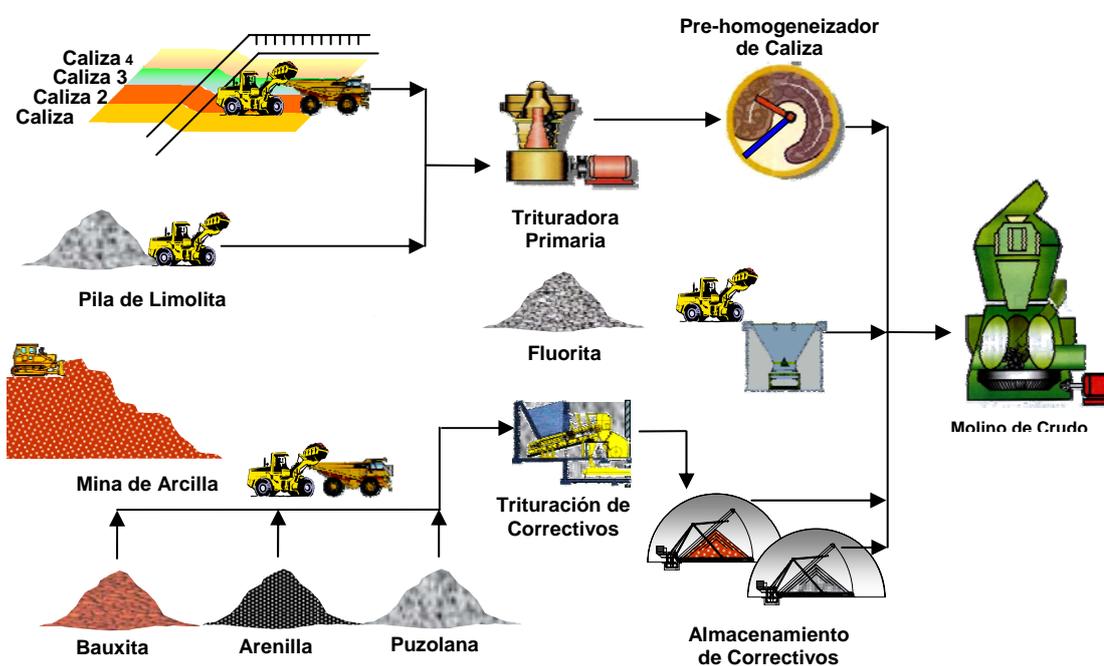


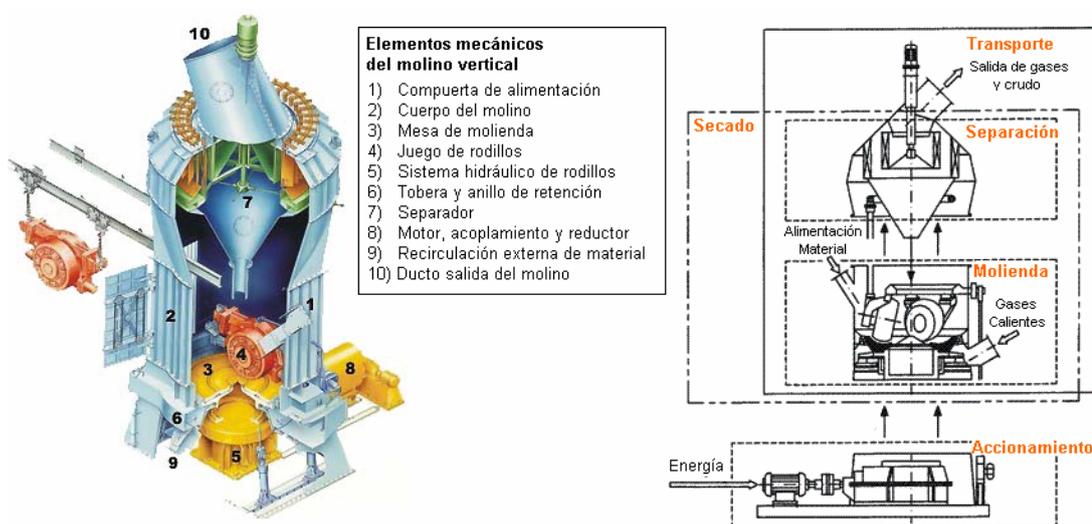
FIGURA 1.2 PREPARACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

FUENTE: Curso de Cemento para No Especialistas – Holcim (Ecuador)

### Preparación de crudo

Éste sub-proceso es un proceso de secado/molienda donde la mayoría del material, denominado crudo, es transportado neumáticamente a través de gases secos.

La materia prima es alimentada a la mesa de molienda de un molino vertical a través de un ducto con una válvula rotatoria que no permite la entrada de aire falso al molino. Luego, la materia prima se mueve desde el centro de la mesa hacia los rodillos, donde el atrapamiento de la misma entre los rodillos y la mesa produce el efecto de molienda. Los rodillos hidráulicos funcionan a través de un sistema de tensión que permite alcanzar una presión de molienda de 120 a 150 bar, con lo que la capacidad de molienda del molino es de 310 ton/h. Paralelamente, se inyecta aproximadamente 190 lts/min de H<sub>2</sub>O durante la operación del molino, a fin de lograr estabilidad en la cama de molienda, y con ello, una operación estable del molino. (Figura 1.3)



**FIGURA 1.3 COMPOSICIÓN Y FUNCIONES DEL MOLINO VERTICAL DE CRUDO**

FUENTE: Curso de Manufactura de Cemento (Holcim) – Módulo de Aprendizaje a Distancia

El material molido que se ha ido moviendo hacia las paredes del molino forma un anillo que es capturado por el flujo vertical de gases calientes provenientes del horno. Este flujo transporta las partículas finas hacia los silos de crudo mientras transfiere su energía al material, reduciendo su humedad. Por otro lado, las partículas con baja finura pasan a un separador dinámico de velocidad variable que está integrado al molino y son transportadas a un molino de bolas para molerlas nuevamente hasta que alcancen la finura deseada.

El molino de bolas es un tubo horizontal con una sola cámara de molienda; en su interior tiene bolas de acero al alto cromo de 30, 40 y 50 mm de diámetro, con lo que logra una capacidad de molienda de 120 ton/h. El material ingresa por un lado del compartimiento al tubo rotatorio, donde el material es molido por el choque de las bolas entre sí y contra el tubo. Luego, el material molido sale del molino y es almacenado en los silos de crudo. En este molino, la finura es controlada por la velocidad del rotor del mismo. (Figura 1.4)



FIGURA 1.4 MOLINO DE BOLAS

FUENTE: [www.machineryandequipment.com](http://www.machineryandequipment.com)

### **Fabricación de clinker**

En esencia, el proceso de fabricación de clinker consiste en la transformación de los minerales naturales que conforman el crudo en un único mineral sintético con propiedades hidráulicas, el clinker. En tal sentido, la introducción de temperaturas altas incrementales es un requisito para la ocurrencia de una secuencia de reacciones necesarias para lograr una clinkerización adecuada (Tabla 2).

**TABLA 2**  
**REACCIONES PRESENTES DURANTE LA FORMACIÓN DE CLINKER**

Rango de temperatura (°C)	Tipo de reacción
<i>Calentamiento</i>	
20 - 100	Evaporación del H <sub>2</sub> O
100 - 300	Pérdida del agua físicamente absorbida
400 - 900	Remoción del agua estructural (H <sub>2</sub> O y OH's) de las arcillas
>500	Cambios estructurales en silicatos
600 - 900	Disociación de carbonatos
>800	Formación de la belita, productos intermedios, aluminato y ferrita
>1250	Formación de la fase líquida (fusión del aluminato y la ferrita)
aprox. 1450	Finalización de la reacción y recristalización de la alita y belita
<i>Enfriamiento</i>	
1300 - 1240	Cristalización de la fase líquida, esencialmente en ferrita y aluminato

FUENTE: Holcim Cement Manufacturing Course

El proceso se inicia con la alimentación del crudo a un sistema de precalentamiento instalado en una torre de concreto de aproximadamente 100 m de altura sobre la entrada de un horno rotatorio. Este sistema está configurado por una a seis etapas (ciclones) de precalentamiento por donde cae el material en

contracorriente con el flujo de gases calientes del horno, produciéndose el efecto deseado de precalentamiento del crudo. Por tanto, mientras más etapas tenga el sistema de precalentamiento, menor es la longitud necesaria del horno al ser las últimas etapas quienes realicen las funciones de secado, calentamiento y calcinación que cumple el horno en los sistemas de pocas etapas.

En la planta Cerro Blanco se tiene dos líneas con sistemas de precalentamiento de cinco etapas. El crudo es alimentado por la parte superior y entra al primer ciclón a una temperatura de aproximadamente 50°C. A medida que va circulando por las cuatro siguientes etapas del precalentador la temperatura del crudo se va incrementando al entrar en contacto con los gases del horno, que ingresan al precalentador –por la parte inferior- a una temperatura de aproximadamente 1000°C. Así, a la entrada del horno el crudo tiene una temperatura cercana a los 850°C. (Figura 1.5)

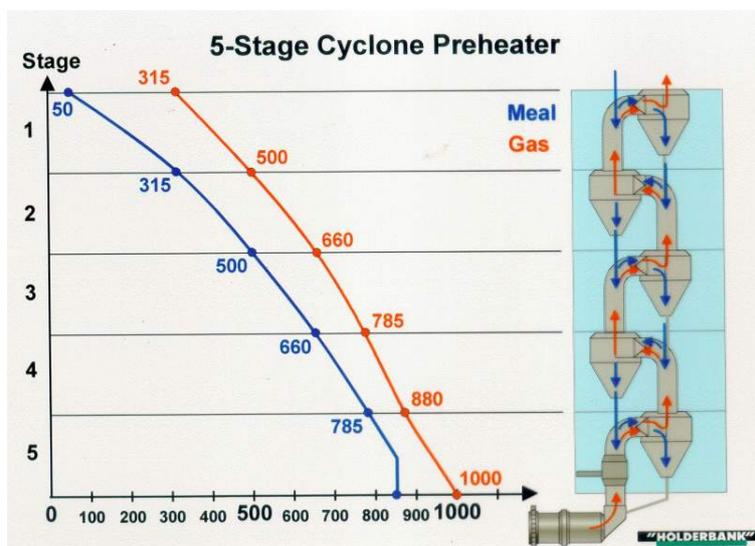


FIGURA 1.5 PRECALENTADOR DE CICLONES DE 5 ETAPAS

FUENTE: Curso de Cemento para No Especialistas – Holcim (Ecuador)

No obstante, antes de la entrada del crudo al horno, éste pasa por un reactor estático ubicado fuera del horno llamado precalcinator. En él ocurre el 90% del proceso de disociación del  $\text{CaCO}_3$  en el crudo (calcinación), para lo cual se inyecta cerca del 60% del combustible empleado en la fabricación de clinker. Esta precalcinación busca reducir la carga térmica del horno en la zona de combustión así como lograr un menor flujo de gases en el horno con la consecuente estabilización de la operación de hornos ante un mejor control en los dos puntos de inyección de combustible.

Luego de la precalcinación el crudo ingresa al horno donde se lleva a cabo el proceso de clinkerización. El horno tiene en su lado terminal un quemador de alta temperatura por donde se inyecta 40%

del combustible, siendo el horno una cámara de combustión en la zona de quemado capaz de generar una temperatura de llama de 2000°C necesaria para lograr los 1450°C en el material, requeridos para la clinkerización.

El clinker caliente a la descarga del horno, que está a aproximadamente 1300°C, se enfría lo más rápido posible usando aire ambiente hasta alcanzar una temperatura de 100 – 200°C. Para ello, el clinker atraviesa un enfriador, que en el caso de la planta CB es un enfriador de parrillas. Este enfriamiento debe ser lo más rápido posible para así estabilizar los minerales del clinker. Además, el enfriamiento pretende recuperar la más alta cantidad de calor del clinker en el aire de enfriamiento pues éste luego es usado como aire de combustión en el horno. Por lo tanto, a mayor cantidad de calor recuperado del clinker, mayor será la eficiencia del sistema.

### **Molienda de Cemento**

Los sistemas comunes de molienda de cemento constan de un molino de bolas (tubo), sea con una unidad de premolienda o sin ella, siendo la unidad de premolienda una prensa de rodillos, un molino vertical, una quebrantadora vertical, etc. Además, estos sistemas pueden estar configurados en circuito abierto o cerrado.

Cerro Blanco cuenta con un circuito cerrado de molienda con un separador mecánico de aire y una unidad de premolienda (Figura 1.6). El clinker y otros componentes del cemento (yeso, puzolana, limolita) son alimentados al molino de bolas a través de balanzas dosificadoras. El material, dentro de la primera cámara del molino, es reducido de tamaño por el choque de las bolas de esta cámara (de 70, 80 y 90 mm de diámetro) contra las paredes del molino, que se encuentra rotando. Cuando el material alcanza la finura deseada es transportado neumáticamente a la siguiente cámara, con bolas de menor diámetro (30, 40 y 50 mm), que muelen el material más fino (Figura 1.7). Igualmente, cuando el material alcanza la finura deseada, éste es transportado neumáticamente fuera del molino y pasa a un filtro electrostático que carga eléctricamente las partículas de cemento, atrayéndolas al fondo del filtro, mientras que el aire sale al ambiente por una chimenea.

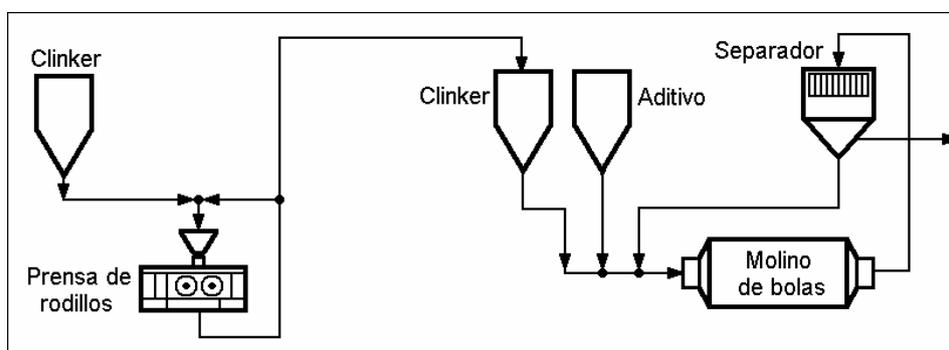


FIGURA 1.6 SISTEMA DE MOLIENDA CON UNIDAD DE PREMOLIENDA

FUENTE: Holcim Cement Manufacturing Course

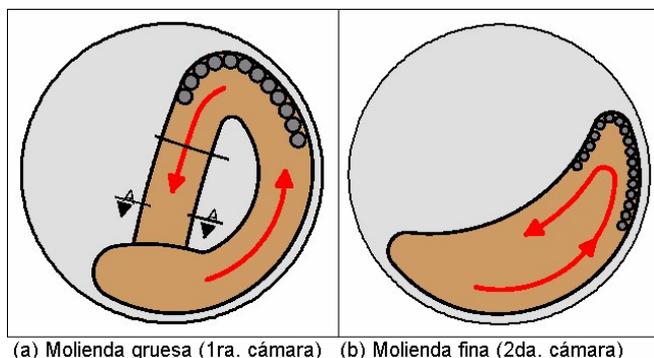


FIGURA 1.7 MOLIENDA CON MOLINO DE BOLAS

FUENTE: Curso de Cemento para No Especialistas – Holcim (Ecuador)

### Despacho de cemento

El área de despacho es aún el área de mayor intensidad de trabajo manual en la industria cementera. No obstante, existe una tendencia a la instalación de máquinas envasadoras automáticas con sistemas aplicadores automáticos; éstas se han instalado en un gran número de plantas obteniendo un rendimiento mayor y un ambiente libre de polvo.

En Cerro Blanco el cemento es despachado desde la planta en sacos de papel y a través de un sistema al granel, siendo en sacos a través de un sistema automático de ensacado y paletizado. Las máquinas de ensacado son de tipo rotativo (Figura 1.8).



**FIGURA 1.8 ENSACADORA DE TIPO ROTATIVO**

FUENTE: Curso de Manufactura de Cemento (Holcim) – Módulo de Aprendizaje a Distancia

El cemento es transportado mecánicamente hacia un elevador, para su almacenamiento a una tolva. De allí pasa a través de una criba vibratoria que rechaza todo tipo de partículas metálicas o sólidas. Un indicador de nivel controla la esclusa rotativa de extracción, localizada debajo de la tolva de almacenamiento y asegura la alimentación continua. Los sacos llenos se transportan a las máquinas estacionarias paletizadoras a través de un sistema de bandas transportadoras. En las paletizadoras, los sacos de cemento son cargados en láminas plastificadas, las cuales son retiradas con unos tenedores especiales una vez que el paquete ha sido montado en la plataforma del vehículo transportador.

## **1.2 Co-procesamiento Desde Su Perspectiva Social**

El hombre, por naturaleza, anhela tener cada día mayor riqueza, bienestar y comodidad. Para ello, se esfuerza por alcanzar niveles sostenidos de desarrollo tecnológico-industrial. No obstante, en este proceso el hombre extrae recursos de la tierra, los utiliza en la producción para su sustento, y con ello va liberando desechos tanto de la extracción como de la producción y el consumo, residuos que para él ya no son de ningún valor.

Por otro lado, la conservación del medio ambiente es, sin lugar a dudas, un tema importante para la sociedad actual. Sea por el temor a enfrentar una falta intempestiva de recursos, por la percepción de cambios climatológicos presentes debido al calentamiento de la corteza terrestre o por el debilitamiento de la capa de ozono de la estratósfera, los ciudadanos del mundo cada día se muestran más preocupados por conservar una tierra que pueda sustentar a la población mundial futura. Tal preocupación se ha manifestado en reuniones mundiales como la llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992, donde se aprobó el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC).

El Protocolo de Kyoto, que desarrolla el UNFCCC, se firmó en diciembre de 1997 y establece una serie de medidas encaminadas a la reducción de emisiones de gases de invernadero por los 39 países industrializados, incluidos los de la antigua URSS. El compromiso obliga a limitar las emisiones conjuntas de seis gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , compuestos perfluorocarbonados (PFC), compuestos hidrofluorocarbonados (HFC) y hexafluoruro de azufre) respecto al año base de 1990 para los tres primeros gases, y 1995 para los otros tres, durante el periodo 2008-2012, con una reducción global acordada del 5,2% para los países industrializados, siendo un 5% en el caso específico del carbono. Así, en aras de apoyar al logro de esta meta, se propuso el llamado "mecanismo de desarrollo limpio" (Clean Development Mechanism). Este mecanismo ayuda a los países industrializados a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones a un coste menor, mediante la disminución de sus esfuerzos domésticos de reducción de emisiones, a través de actividades realizadas en los países en vías de desarrollo.

En respuesta a este gran reto, la industria cementera –contribuyente en un 5% a las emisiones globales de  $\text{CO}_2$ , tanto por su proceso de combustión como por los procesos de calcinación– fue invitada a

asumir el compromiso de contribuir significativamente a la consecución de la reducción global acordada. Luego de un análisis profundo de sus procesos, se definió que la reducción de CO<sub>2</sub> en la actividad cementera podría lograrse a través de tres mecanismos: con el mejoramiento de la eficiencia energética, con la sustitución de caliza y clinker por residuos minerales y otros aditivos, o con la sustitución del combustible fósil por desechos y biomasa... y fue para ejecutar estos dos últimos mecanismos, que nació el proyecto de co-procesamiento de residuos industriales.

En términos generales, el co-procesamiento consiste en la eliminación ambientalmente segura de residuos industriales, aprovechando en forma eficiente la energía térmica y/o componentes químicos que ese residuo pueda aportar a un proceso productivo, siendo éste el caso del proceso de fabricación de cemento. En otras palabras, el co-procesamiento consiste en la utilización de residuos industriales como combustible y materia prima alternativa (AFR).

En casos en los que la minimización, reuso o reciclaje no son alternativas viables, el co-procesamiento es una solución inteligente para la disposición de residuos industriales. A diferencia de la

incineración y el confinamiento, el co-procesamiento evita la emisión adicional de CO y/o CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por un lado al evitar combustiones en otros lugares de disposición y, por el otro, al sustituir la energía del combustible por aquella de los residuos co-procesados. Esto a su vez, ayuda a preservar recursos no-renovables, como es el caso del combustible fósil empleado en los hornos cementeros.

Globalmente, cerca del 80% de combustibles alternativos empleados como empleados por el Grupo Holcim son aceites usados y desechos no-peligrosos como llantas usadas, plástico, madera y lodos industriales. En Europa occidental, donde más del 50% de los desechos empleados corresponden a desechos industriales, se está incrementando la utilización de desechos peligrosos como combustibles alternativos, tales como solventes, pinturas y lodos de fondo de tanques.

#### **Casos: Corrientes de utilización de desechos como AFR**

- a) *Materia prima alternativa y agua contaminada:* La planta de *Obourg*, parte de Holcim (France Benelux), ha utilizado materia prima alternativa por más de 30 años. En el año 2000, se

produjeron 1.6 millones de toneladas de clinker, para lo cual se co-procesaron casi 2.5 millones de toneladas de materia prima en pasta tal como arena de moldes de fundición y escoria de aluminio y aproximadamente 16000 ton de agua contaminada.

- b) *Harina animal y solventes:* La mayoría de los países tienen harina animal vetada proveniente de la industria de fabricación de alimento balanceado. El temor está en que esta harina contenga BSE (Bovine Spongiform Encephalopathy), la cual podría ser responsable de la transmisión de la enfermedad de las 'vacas locas' a los humanos. No sólo Holcim, sino todas la plantas cementeras de Europa se encargaron de la eliminación de las vacas con BSE, en la década de los 90.



FIGURA 1.9 PLANTA ECLEPENS DE Holcim (Suiza).

FUENTE: [www.holcim.com](http://www.holcim.com)

Por otro lado, los solventes son clasificados como desechos peligrosos. Como tales, su disposición final es de gran preocupación para la sociedad. *Eclepens* produce, en promedio, 475000 ton anuales de clinker. En el año 2000 invirtió en instalaciones específicas para el manejo de harina animal y ese mismo año co-procesaron 1300 ton de este desecho. Por otra parte, se co-procesaron 710 ton de solventes, cubriendo del 4 al 10% del total de combustible requerido.

- c) *Biomasa y aceite usado*: La planta *Yocsina*, de Holcim (Argentina) regularmente utiliza cáscara de maní como combustible alternativo para su horno. En el 2000, la planta quemó 5000 ton de cáscara de maní; esto representa el 7% del requerimiento total de combustible de la planta, y el 17% del total de AFR's utilizados por la planta.

Así mismo, esta planta también utiliza aceite usado como combustible alternativo de uso diario. La producción estándar de clinker es cercana a las 1700 ton por día por lo que en 1999, 350057 ton de clinker fueron producidas. Este año, 3600 ton de

aceite usado fueron co-procesadas en el horno cementero, alcanzando cerca del 3% del combustible anual requerido.

- d) *Lodos de petróleo:* Son los residuos del proceso de refinación del petróleo, considerados como desechos peligrosos. Cientos de miles de toneladas de este desecho se generan en todo el mundo y con la gran dependencia del hombre al petróleo, se espera que esta situación se mantenga en el futuro.

En junio de 2001, Cementos Apasco (México) ganó un contrato de 90 días para tratar 16000 m<sup>3</sup> de lodos de una refinería de petróleo ubicada a 100 km de la planta Ramos Arizpe.

- e) *Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales:* Estos lodos fueron introducidos en la planta *Siggenthal* de Holcim (Suiza) en 1994 en reemplazo de carbón y bunker. Para ello, primeramente es secado y luego molido para cumplir con los requerimientos técnicos del proceso.



FIGURA 1.10 LODOS DE EFLUENTES

FUENTE: [www.holcim.com](http://www.holcim.com)

El horno produce cerca de 2000 ton de clinker por día y quema aproximadamente 2.7 ton de lodos por hora. Esto es cerca del 10% del requerimiento total de energía.

- f) *Llantas usadas*: Cada año Europa por sí sola genera una llanta usada por habitante, sumando cerca de ¡350 millones de llantas usadas por año que caen en desuso! La planta *Ciments Saint Laurent* de Holcim (Canadá) es uno de los mejores ejemplos en materia de co-procesamiento de llantas. Las llantas son trituradas e inyectadas por el quemador del horno. En 2001, la planta utilizó cerca de 20000 ton de llantas de carros, representando 13% del requerimiento total de combustible en la planta.

### **Co-procesamiento en Ecuador**

En Septiembre de 2001 se dio inicio al co-procesamiento en hornos cementeros de ciertos desechos peligrosos a algunos sectores de la industria manufacturera y comercio del Ecuador. La prestación de este servicio fue posible con la utilización de las instalaciones de la Planta Cerro Blanco (CB) ubicada en el kilómetro 18.5 de la vía a la Costa, a lo largo de la cordillera Chongón-Colonche, en la ciudad de Guayaquil.

Para estos fines, a través de Fundación Pro-Ambiente –empresa gestora del servicio–, el 22 de noviembre de 2002 se obtuvo el permiso de la Dirección de Medio Ambiente (DMA) de la M. I. Municipalidad de Guayaquil para la disposición de aceites minerales usados. Para el caso de otros residuos peligrosos, se trabajó sobre la base de permisos individuales específicos para el co-procesamiento de cantidades y tipos definidos de residuos.

En el año 2004, se co-procesaron 2469 toneladas de residuos peligrosos, principalmente residuos oleosos como aceites lubricantes, residuos de bunker y lodos de petróleo (Figura 1.11). Cerro Blanco produjo 1'569 802 toneladas de clinker en 2004, con lo

que los residuos co-procesados aportaron un 1.5% al requerimiento total de energía por parte de los hornos.

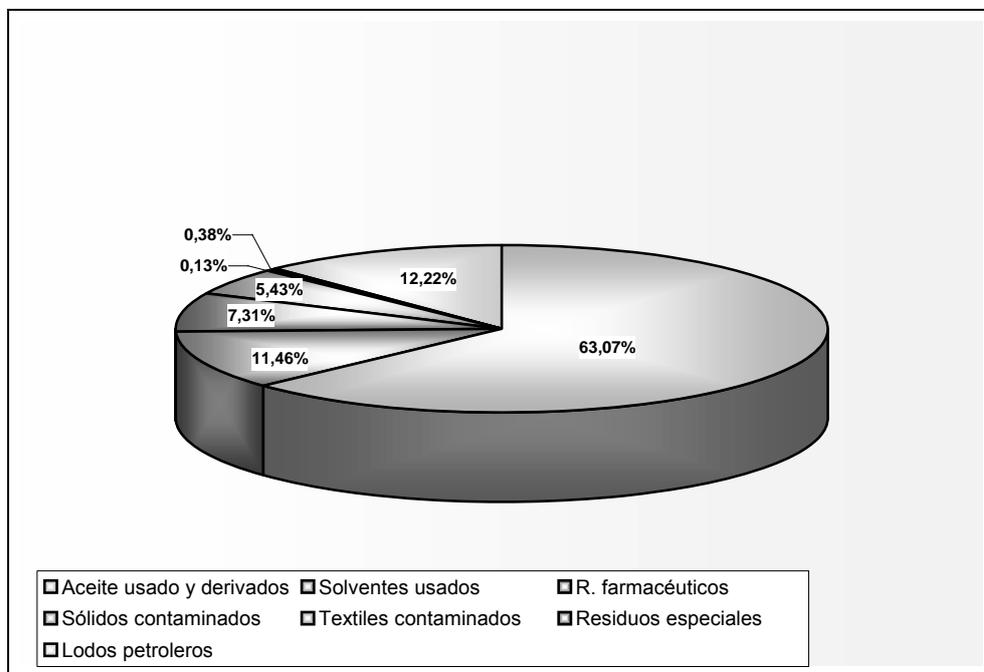


FIGURA 1.11 VOLUMEN DE RESIDUOS CO-PROCESADOS EN CERRO BLANCO EN 2004

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: AFR Score L2 – 12.04

### Aspectos técnicos del co-procesamiento

Las características que hacen de los hornos de cemento una alternativa técnica y ambientalmente adecuada para el tratamiento de residuos se explican a partir de los siguientes cuatro aspectos: la destrucción de componentes orgánicos, la no generación de residuos líquidos o sólidos, la fijación de elementos metálicos al clinker, y la recuperación de energía y reducción de emisiones a la atmósfera.

## 1) Destrucción de componentes orgánicos

La nueva directiva europea en Incineración de Residuos Peligrosos impone una temperatura superior a 850°C por al menos 2 segundos para la incineración de residuos peligrosos no clorados. Como se mencionó anteriormente, en un horno de cemento la temperatura debe llegar a los 1450°C en la harina cruda para lograr la fusión de las materias primas que la componen y obtener clinker, componente principal del cemento. Esto hace necesario garantizar una llama de 2000°C en el horno para lograr una buena clinkerización.

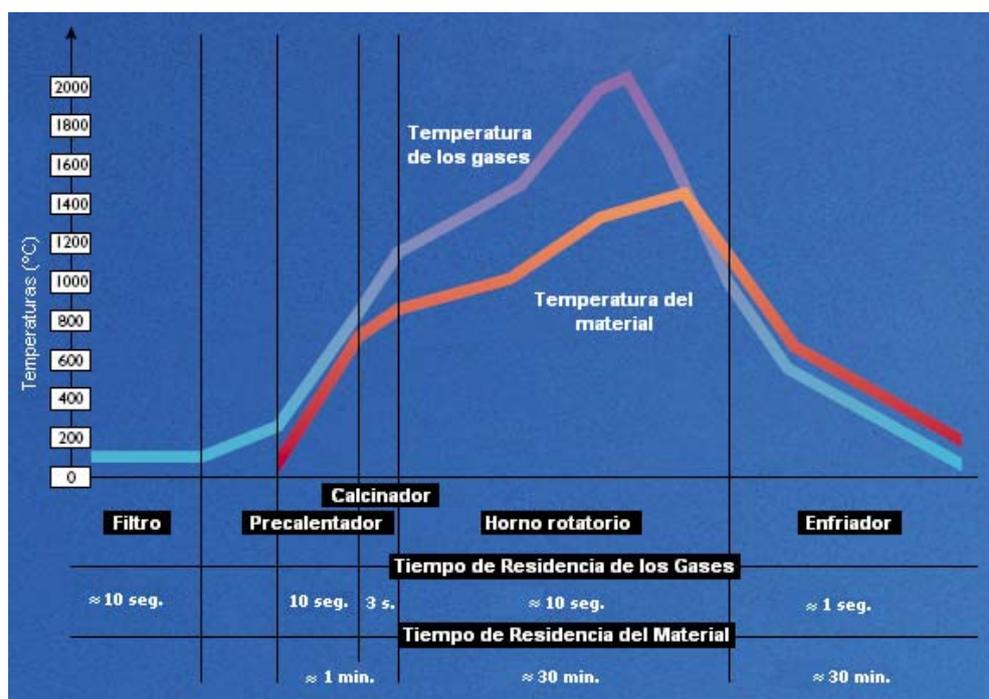


FIGURA 1.12 CURVAS DE TEMPERATURA PARA LOS MATERIALES Y GASES

FUENTE: CEMBUREAU – Alternative Fuels in Cement Manufacture

Los hornos de la planta Cerro Blanco presentan tiempos de residencia de gases de 6.3 seg y 6.8 seg para el Horno 1 y Horno 2, respectivamente, a temperaturas superiores a los 1200°C. Su cálculo se presenta en el Apéndice 1 de este estudio.

Bajo las condiciones antes descritas, el factor de destrucción y eficiencia de remoción DRE de los compuestos orgánicos más estables supera el 99.999%, suficiente aún bajo las regulaciones más estrictas como las impuestas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

## **2) No generación de residuos líquidos o sólidos**

Los elementos minerales como carbonato de calcio, sílice, aluminio y óxidos de hierro son integrados al proceso de fabricación de clinker mientras que otros elementos metálicos misceláneos presentes sea en las rocas, combustibles fósiles y/o residuos, son fijados en la matriz cristalizada del clinker. Es decir que, en combinación con la harina cruda, los componentes principales de las cenizas de la combustión de combustibles fósiles y/o residuos, sílice y aluminio, reaccionan con el calcio y se convierten en clinker.

Adicionalmente, las plantas que fabrican clinker tienen sistemas para la recolección del polvo fugitivo, diseñados para cumplir con las regulaciones locales y nacionales. La planta Cerro Blanco tiene, previo a la salida de gases por la chimenea de los hornos, dos filtros de mangas con siete cámaras que logran una eficiencia de 99.9999%. Lo anterior garantiza que, mientras los filtros operen adecuadamente, el 99.9999% del polvo generado es recogido, reciclado y reinyectado al proceso.

### **3) Fijación de elementos metálicos en el clinker**

Durante los procesos térmicos en los hornos de cemento las trazas de metales pesados, la mayoría provenientes de la materia prima, son fijados al clinker a través de combinaciones químicas muy estables. Es más, al someter clinkers y morteros a las pruebas de lixiviación más exigentes (US EPA – TCLP, prueba de disponibilidad NVN 2508, etc) se ha demostrado que éstos cumplen aquellos estándares sin importar si se usan combustibles tradicionales o alternativos en el proceso de fabricación de clinker (Karstensen, 1994).

Los resultados anteriores pueden ser explicados por fusiones químicas, como hidróxidos, generadas debido a la precipitación de los metales pesados dado un potencial de hidrógeno pH alto (9 a 13) en la matriz del cemento. Estas fusiones son realizadas por la absorción de los hidróxidos metálicos en los hidratos cementicios. En otras palabras, la solidez de concretos y morteros debido a los hidratos de calcio es una garantía de la fusión de largo plazo de los elementos metálicos.

#### **4) Recuperación de energía y reducción de emisiones a la atmósfera**

Con el co-procesamiento de residuos industriales, contrario a lo que podría pensarse, no existe un incremento en las emisiones de los hornos, sino un ahorro relevante en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> liberadas a la atmósfera dado que los residuos reemplazan otros combustibles fósiles que generan mayores niveles de CO<sub>2</sub>, y debido a que su eliminación en hornos cementeros impide la generación de emisiones adicionales de producto de la operación de otras fuentes fijas de combustión (incineradores, quemas a cielo abierto, combustiones incontroladas) para la incineración de los residuos.

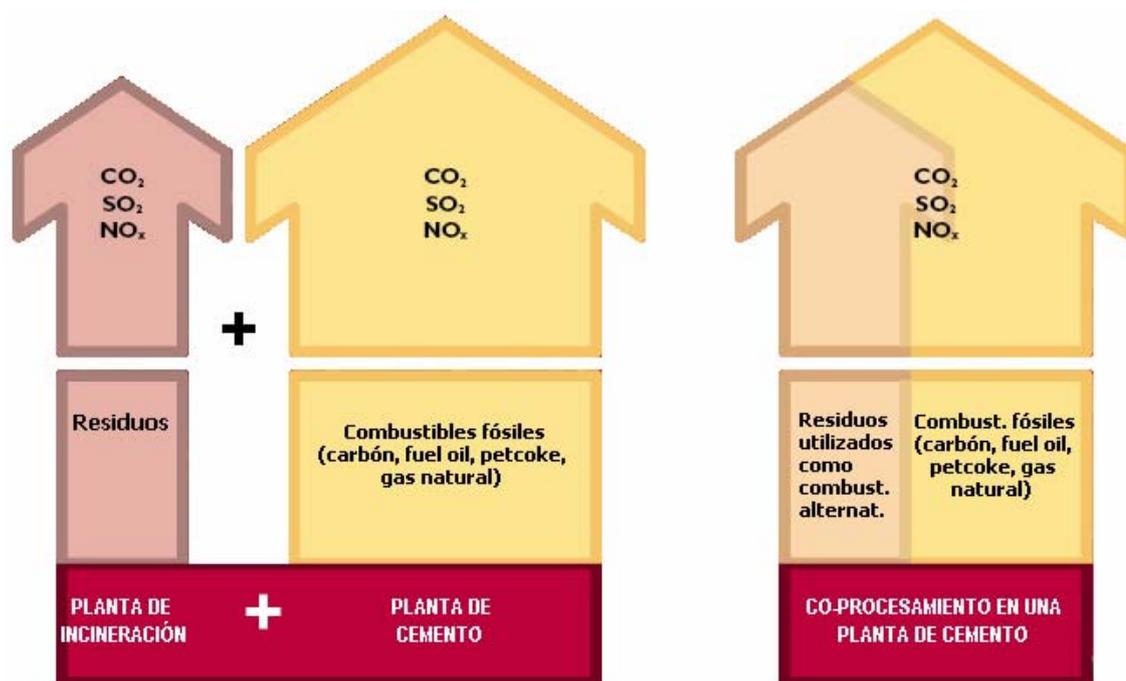


FIGURA 1.13 REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DADO EL CO-PROCESAMIENTO DE RESIDUOS

FUENTE: CEMBUREAU – Alternative Fuels in Cement Manufacture

En otras palabras, el co-procesamiento de residuos en hornos cementeros posibilita la utilización del potencial calórico de los residuos, donde la recuperación de la energía contenida en los residuos conlleva a la preservación de los combustibles fósiles.

### 1.3 Definición y Alcance del Proyecto

En respuesta a la preocupación de la Municipalidad de Guayaquil por el daño ambiental que está generando el vertimiento clandestino de las aguas de sentina en el puerto de Guayaquil, en el año 2004 se pensó en ampliar el alcance del servicio de co-procesamiento de

aceites usados, haciéndolo extensivo a la disposición de las aguas de sentina generadas por las embarcaciones navieras que acoderan en los puertos ecuatorianos.

El proyecto de co-procesamiento de las aguas de sentina consiste en la implantación de un sistema integrado de operaciones que incluyen la descarga, recolección, transporte, y disposición final (co-procesamiento) del residuo en los hornos cementeros de la planta Cerro Blanco (Figura 1.14).

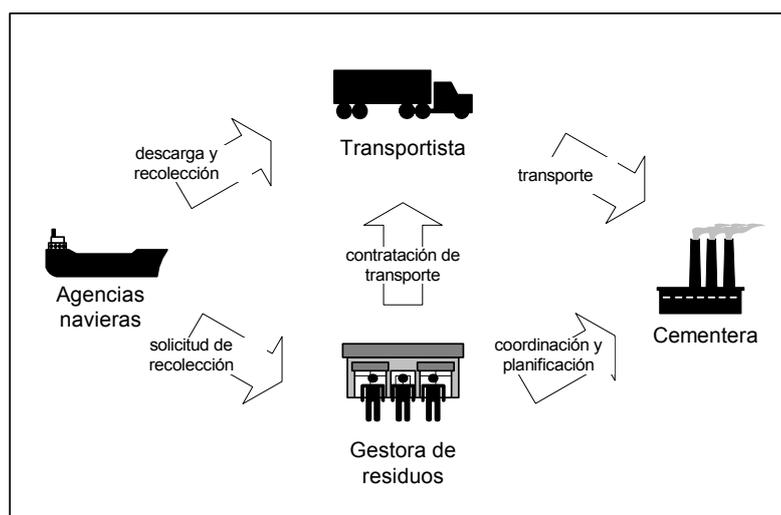


FIGURA 1.14 ESQUEMA GENERAL DEL PROYECTO

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, el estudio tiene como alcance el análisis de la factibilidad para el desarrollo de un proyecto de co-procesamiento de las aguas de sentina generadas en los cuatro puertos comerciales principales del Ecuador –puerto de

Guayaquil, puerto Bolívar, puerto de Manta, y puerto Nuevo Millenium– y en los puertos privados de Guayaquil, en los hornos de fabricación de clinker de la plata Cerro Blanco, de Holcim Ecuador S.A., ubicada en la ciudad de Guayaquil.

#### **1.4 Etapas del Proyecto**

De acuerdo a lo definido, en el proyecto participan cuatro actores, fundamentales para el desarrollo del mismo: las agencias navieras, la empresa de transporte, la empresa gestora de residuos y la planta de cemento, donde a cada cual se le han atribuido funciones de cuyo cumplimiento depende el éxito del mismo (Apéndice 2).

Las líneas navieras normalmente trabajan con agencias navieras. Estas agencias tienen como función la realización de todas las actuaciones jurídicas/administrativas necesarias para el pronto despacho del buque en puerto; todo ésto, con el objetivo de permitir a los capitanes de las navieras ocuparse solamente de las cuestiones técnicas de la navegación y el buque. En tal sentido, son estas agencias quienes se encargan de gestionar la recolección de las aguas de sentina de los buques que arriban a los puertos, por lo que constituyen el primer eslabón de la cadena de creación de valor del proyecto, los clientes.

La empresa gestora de residuos deberá ponerse en contacto, negociar y coordinar todas las actividades referentes a la descarga, recolección, transporte y disposición final de las aguas de sentina con las agencias navieras. En contraparte, las agencias navieras deberán buscar empresas gestoras autorizadas, en tanto las líneas navieras que manejen les exijan certificados de disposición final de sus residuos avalados por una autoridad ambiental local.

A fin de quitarle responsabilidades a las agencias navieras y de perder cualquier desventaja frente a la competencia, adicional al servicio de recepción, descarga y co-procesamiento en CB, el proyecto incluye la recepción del buque en puerto, la descarga del buque al tanquero, y el transporte del residuo a su destino final. Así, la empresa gestora de residuos deberá contar, sea con una flota de tanqueros o con una base de datos de empresas autorizadas para el transporte de este material, tanto a nivel local como a nivel nacional. En el proyecto propuesto, la empresa gestora de residuos subcontratará el servicio de transporte del residuo por lo que adicional a la coordinación que debe establecer con las agencias y CB, deberá garantizar que siempre habrá un vehículo disponible para recibir los buques en el puerto.

En términos operativos, el servicio se desarrollaría de la siguiente manera: la agencia naviera y la gestora de residuos establecen un convenio de operaciones por lo que la primera entrega a la segunda un itinerario de arribos de los buques que ella asiste. Sobre la base de lo programado, la gestora de residuos coordina las operaciones de descarga y transporte del residuo con la empresa de transporte. En tal sentido, a fin de garantizar la disponibilidad de tanqueros, la gestora de residuos deberá contar con más de un proveedor para el transporte.

La empresa de transporte bombeará el residuo del buque al tanquero y lo transportará a la empresa gestora de residuos. En esta empresa, se realizará un análisis químico del residuo a fin de certificar la calidad del mismo. Paralelamente, la gestora de residuos se pondrá en contacto con CB para verificar los requerimientos de AF's líquidos en la planta. Si CB necesitara AF's y el residuo cumpliera con los requerimientos de calidad, el tanquero se despachará a CB junto con su certificado. Si no fuera así, se procederá a la descarga del mismo en el tanque de almacenamiento de la empresa gestora de desechos, sea con el objetivo de almacenar temporalmente el residuo o con la intención de mezclarlo con otros residuos y mejorar la calidad del AF.

La planta de cemento recibirá los embarques de aguas de sentina pero la empresa gestora se encargará de la descarga del residuo al tanque de almacenamiento. En el tanque se llevará a cabo una homogeneización del material, con la utilización de un agitador de paletas. El material homogéneo es bombeado por tuberías al quemador del horno y es inyectado en cierta proporción como combustible alternativo en sustitución del combustible tradicional, coque de petróleo.

# **CAPÍTULO 2**

## **2. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD COMERCIAL**

### **2.1 Oferta de Aguas de Sentina**

Los puertos han sido identificados como puntos de sumo interés desde el punto de vista del desarrollo del proyecto de co-procesamiento en la planta CB debido al número actual de embarcaciones que solicitan el servicio de cambio y descarga de aceite gastado de sus máquinas, junto a las aguas negras y lodos residuales. Por procedimientos de operación de las embarcaciones así como de las empresas que tienen el permiso de operación de descarga, recolección y transporte de éstos residuos, en el mayor de los casos, éstos tres tipos de residuos son depuestos o vertidos en una misma cámara o tanque de recolección, conociéndose el material resultante como sludge, mezclas oleosas, aguas de sentina o inclusive aceite usado.

#### **2.1.1 Puertos del Ecuador**

Los tres puertos comerciales estatales, Guayaquil, Manta y Puerto Bolívar, están ubicados a una distancia relativamente equidistante entre sí, cubriendo casi los 700 km. de costa

ecuatoriana. Por su ubicación geográfica cubren en gran parte las necesidades teóricas del país; Puerto Bolívar está localizado cerca de la frontera sur, y Guayaquil y Manta cubren la zona central del país. El puerto Nuevo Millenium, (antes Puerto de Esmeraldas), concesionado el 15 de Julio de 2004 al Consorcio Millenium, cubre las necesidades de la zona norte. Adicionalmente, Guayaquil cuenta con nueve terminales privados, que por los volúmenes significativos de carga que manejan, son objeto de este estudio. (Figura 2.1)

En forma concreta, las características de los puertos antes mencionados, que interesan para efecto de este documento, se muestran en las Tablas 3 y 4.

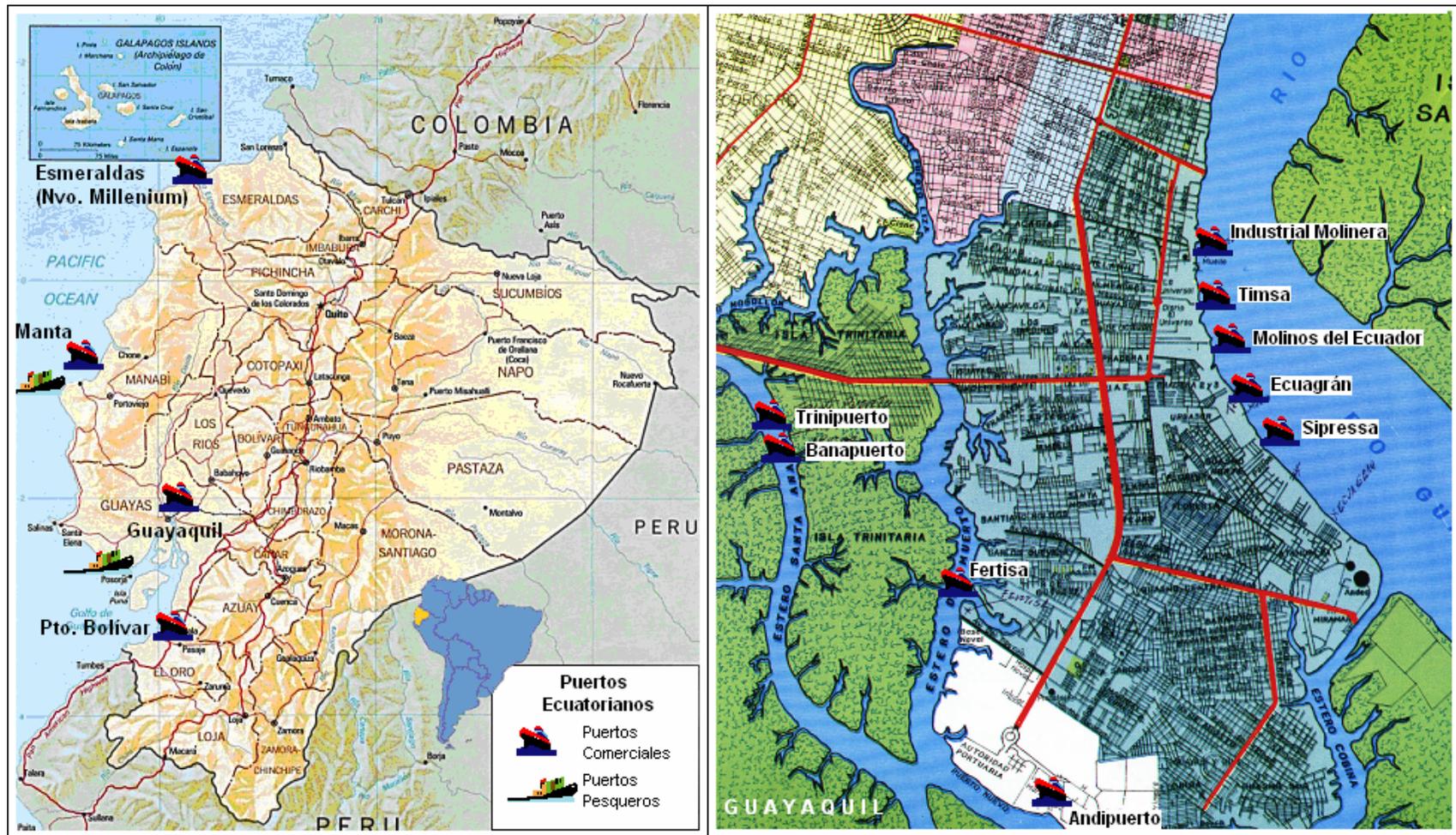


FIGURA 2.1 PUERTOS ESTATALES DEL ECUADOR Y PUERTOS PRIVADOS DE GUAYAQUIL  
 (a) Ecuador: Puertos Ecuatorianos (b) Guayaquil: Puertos Comerciales Privados

**TABLA 3  
PUERTOS COMERCIALES ESTATALES DEL ECUADOR**

<b>Caract.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Distancia a Guquil. (km)</b>	<b>N° Muelle(s)</b>	<b>Detalle de los muelles</b>
<b>Puertos</b>					
Guayaquil (APG)	Instalación portuaria mayor, muelles públicos.	Provincia del Guayas, en el Estero del Muerto del Golfo de Guayaquil, frente a la Isla Trinitaria.  Latitud: 2° 16' 51" (S) Longitud: 79° 54' 49" (O)	n/a	9	- Cinco <i>muelles de carga gral.</i> : 185m (l) y 30m (a) - Tres <i>terminales p/contenedores</i> : 185m (l) y 30m (a) - <i>Terminal de carga al granel</i> : 155m (l)
Manta (APM)	Instalación portuaria mediana, muelles públicos.	Provincia de Manabí, puerto abierto de gran calado (10-12 m) de la ciudad de Manta.  Latitud: 00° 55' 35" (S) Longitud: 80° 43' 02" (O)	196	7	- Tres <i>muelles de aguas profundas</i> : 200m (l), 45m (a) y 11m (c). - Un <i>muelle de aguas profundas</i> : 200m (l), 45m (a) y 12m (c). - Un <i>muelle marginal de cabotaje</i> : 620m (l), 12m (a) y 2.4 - 9.6m (c). - Dos <i>muelles Roll On-Roll Off</i> : 12m (l) y 9m (c).
Pto. Bolívar (APPB)	Instalación portuaria mediana, muelles públicos.	Provincia de El Oro, al borde Este del Estero Santa Rosa frente a la Isla Jambelí.  Latitud: 3° 15' 55" (S) Longitud: 80° 00' 01" (O)	182	3	- Un <i>espigón con dos atraques</i> : 130m (l), 30m (a) y 10.5m (c) - Un <i>muelle marginal con dos atraques</i> : 180m (l), 25m (a) y 10.5m (c) - Un <i>espigón de cabotaje (turismo)</i> : 60m (l) y 5.7 (c).

**TABLA 4**  
**PUERTOS COMERCIALES PRIVADOS DEL ECUADOR**

<b>Caract.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Distancia a Guquil (km)</b>	<b>N° Muelle(s)</b>	<b>Detalle de los muelles</b>
<b>Puertos</b>					
Andipuerto Guayaquil S.A.	Terminal para importación de graneles líquidos y secos y exportación de banano.	Guayaquil, Puerto Nuevo, en el muelle "D" de la APG. Latitud: 2° 16' 55" (S) Longitud: 79° 53' 40" (O)	n/a	1	Muelle de 150m de longitud y un área de trabajo de 15m (a) para acomodar buques de hasta 210m de eslora y un calado máximo de 9.75m.
Bananapuerto - Naportec S.A.	Instalación multipropósito. Principal actividad: exportación de fruta.	Guayaquil, Estero de Santa Ana. Latitud: 2° 14' 55" (S) Longitud: 79° 55' 25" (O)	n/a	1	
Cangel	Terminal para la descarga de aceite básico de petróleo y lubricantes	Cantón Eloy Alfaro (Durán), al margen izquierdo del río Babahoyo		1	Puede recibir buques de hasta 5000 TRB.
Ecuatoriana de Granos S.A. (ECUAGRAN)	Terminal para importación de graneles sólidos.	Guayaquil, a orillas del Río Guayas, en la zona S-O. Latitud: 2°14' 20" (S) Longitud: 79° 52' 50" (O)	n/a	1	Muelle que puede recibir buques de hasta 20000 TRB con un calado máximo de 7 mts.

<b>Caract.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Distancia a Guquil (km)</b>	<b>N° Muelle(s)</b>	<b>Detalle de los muelles</b>
<b>Puertos</b>					
Fertisa Fertilizantes, Terminales y Servicios S.A. (Fertisa)	Terminal para importación de fertilizantes y exportación de banano.	Guayaquil, Estero del Muerto. Latitud: 2° 15' 55" (S) Longitud: 79° 54' 40" (O)	n/a	1	Muelle de 10 m de calado. Pueden atracar naves de hasta 180 m eslora y 10000 TRB.  Se está desarrollando proyecto de ampliación para poder atender 2 naves simultáneamente.
Industrial Molinera	Terminal para el manejo de graneles.	Guayaquil, en las riberas del río Guayas.	n/a	1	Muelle con capacidad para recibir naves de hasta 20000 TRB con calado máximo de 10 mts. Ocupa un área de 32825 m <sup>2</sup> .
Molinos del Ecuador C.A.	Terminal para descarga de trigo y aceites base para lubricantes.	Guayaquil, en las riberas del río Guayas. Latitud: 2° 13' 55" (S) Longitud: 79° 53' 00" (O)	n/a	1	Muelle con capacidad para recibir buques de hasta 20000 TRB con calado máximo de 7 mts. Ocupa un área de 83145 m <sup>2</sup> .
Sociedad Nacional de Inversiones y Servicios S.A. (Sipressa)	Terminal para importación de graneles líquidos y sólidos.	Al sur de Guayaquil, en las riberas del Río Guayas. Latitud: 2° 14' 21" (S) Longitud: 79° 52' 48" (O)	n/a	1	Muelle marginal que ocupa un área total de 57000 m <sup>2</sup> .

<b>Caract.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Distancia a Guquil (km)</b>	<b>N° Muelle(s)</b>	<b>Detalle de los muelles</b>
<b>Puertos</b>					
Terminal Internacional Marítimo S.A. (TIMSA)	Terminal multipropósito.		n/a	1	Muelle de alto bordo multipropósito con una longitud de 200mts y un calado máximo de 7 mts. Ocupa un área de 24607 m <sup>2</sup> .
Puerto Trinitaria S.A. (TRINIPUERTO)	Terminal para importación y exportación de graneles sólidos.	Guayaquil, Estero de Santa Ana. Latitud: 2° 14' 45" (S) Longitud: 79° 55' 28" (O)	n/a	1	
Nuevo Millenium (antes APE)	Instalación portuaria mediana, muelles privados.	Esmeraldas, junto a la desembocadura del río Esmeraldas. Latitud: 0° 59' 40" (S) Longitud: 70° 38' 48" (O)	464	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Muelle marginal:</i> 350 m (l) x 26 m (a) x 11.5 m (c) al MLWS, para recibir hasta dos buques.</li> <li>- <i>Plataforma roll-on roll-off</i> ubicada contigua al muelle marginal.</li> <li>- <i>Muelle de servicios:</i> 120 m (l) x 20 m (a) x 5 (c).</li> </ul>

ELABORACIÓN: PROPIA

## 2.1.2 Tráfico de Buques

Las estadísticas generadas por la Dirección General de la Marina Mercante y del Litoral del Ecuador (DIGMER) indican un creciente y paulatino aumento de la carga movilizada por efecto de importaciones y exportaciones, la cual en 1990 alcanzaba solo los 4'735210 toneladas y catorce años después, en 2004, llega a los 12'130469 toneladas movilizadas<sup>1</sup>. Es decir, se experimentó un crecimiento del 156% en el total nacional de carga movilizada (Figura 2.2).

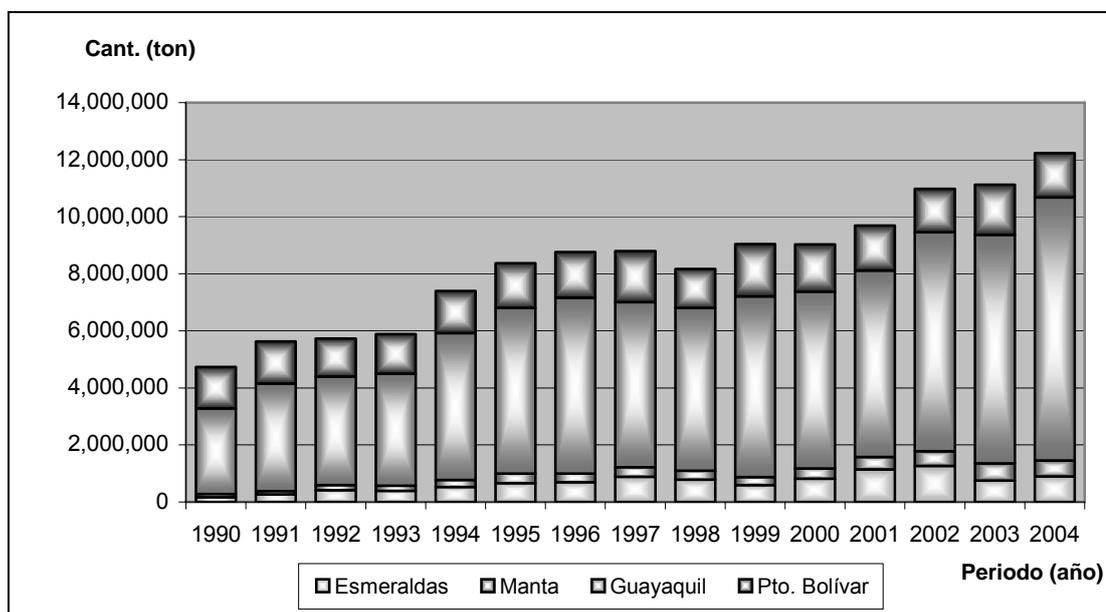


FIGURA 2.2 CARGA MOVILIZADA EN ECUADOR – AÑOS 1990 A 2004

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: DIGMER

<sup>1</sup> El histórico de buques y carga movilizada en el periodo 1990 – 2004 se encuentra en el Apéndice 3.

Un aumento tan significativo en el volumen de carga movilizada está relacionado con el incremento en la cantidad de buques mercantes que recalán a los puertos ecuatorianos (Figura 2.3) así como con el aumento de tamaño de los buques que transportan la carga movilizada (Figura 2.4).

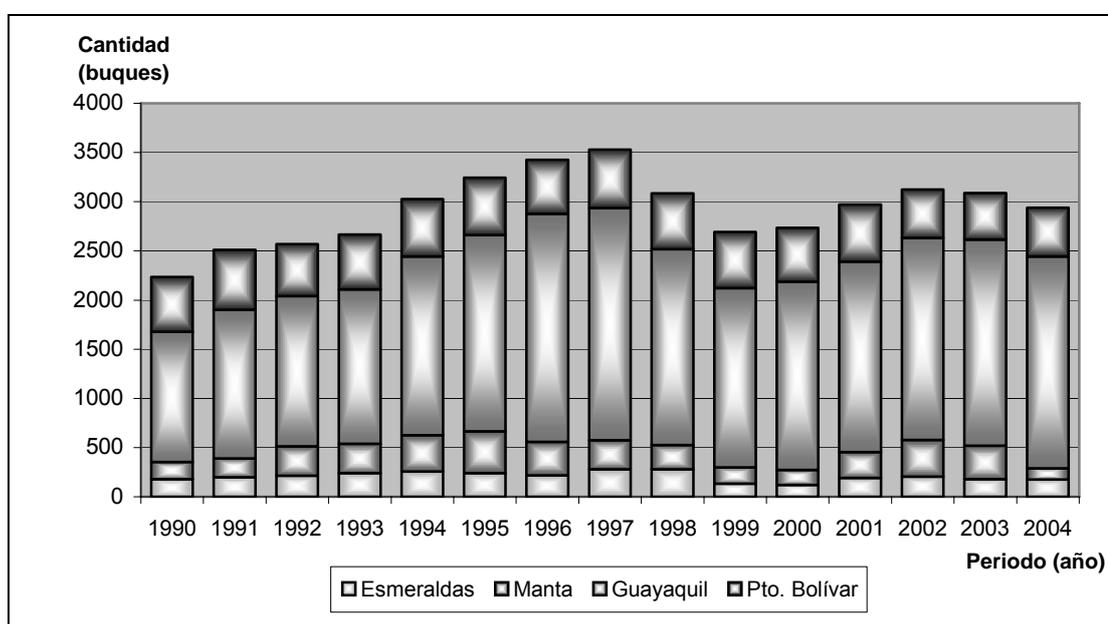


FIGURA 2.3 MOVIMIENTO DE BUQUES EN PUERTOS ECUATORIANOS

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: DIGMER

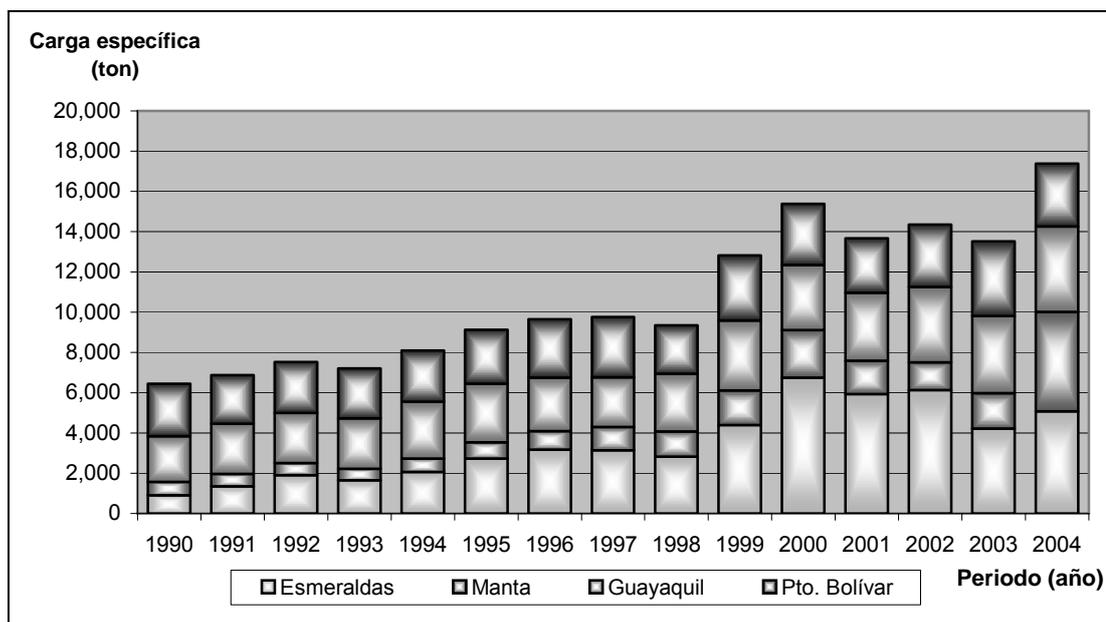


FIGURA 2.4 CARGA ESPECÍFICA MOVILIZADA

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: DIGMER

### Movimiento de buques en Guayaquil

Sobre la base de los datos presentados en el Apéndice 3, de 1990 a 1998 aproximadamente el 93% del movimiento de buques en Guayaquil ocurría en el puerto estatal. No obstante, a partir de 1999 los puertos privados generan más del 20% del movimiento de naves en Guayaquil, llegando a representar en los últimos 3 años un 27% del movimiento naviero a nivel local (Figura 2.5).

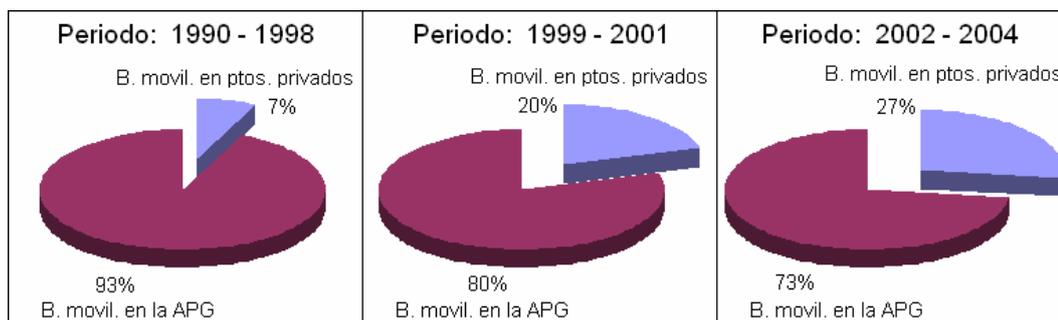


FIGURA 2.5 DISTRIBUCIÓN DEL TRÁFICO DE BUQUES EN GUAYAQUIL

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: DIGMER

Por lo tanto, en la actualidad, las operaciones navieras llevadas a cabo en los puertos privados son relevantes y objeto de este estudio. Tomando los datos del año 2003, el tráfico total de buques en puertos privados se distribuye según se muestra en la Figura 2.6. (Apéndice 4).

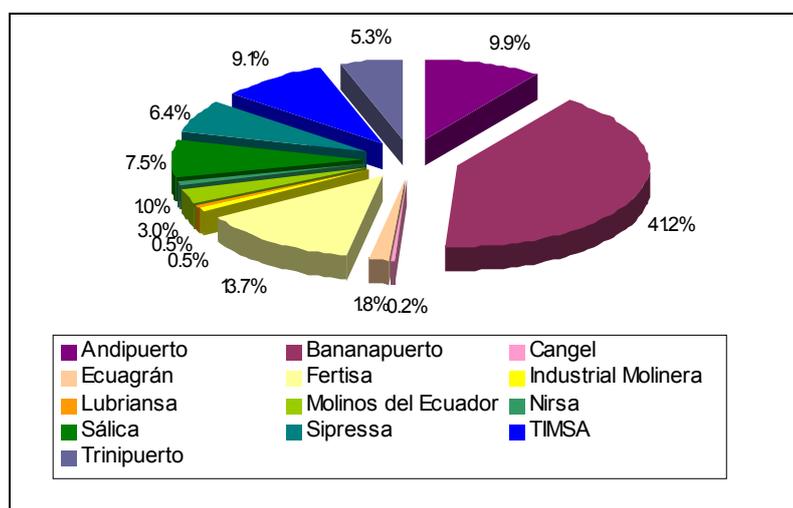


FIGURA 2.6 DISTRIBUCIÓN DE BUQUES EN PTOS. PRIVADOS (2003)

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: DIGMER

Sin embargo, hay puertos que movilizan más carga aún cuando reciben menos buques por año; es decir, en estos puertos arriban buques de mayor tamaño. En 2003, sólo 4 puertos generaron el 80% del movimiento de carga en los puertos privados.

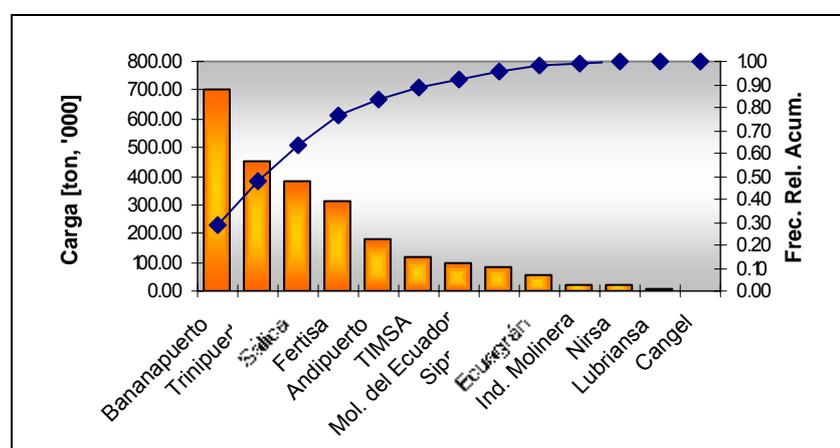


FIGURA 2.7 DIAGRAMA DE PARETO DE LA CARGA MOVILIZADA EN PUERTOS PRIVADOS

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: DIGMER

Lo anterior implica que puertos como Bananapuerto, Fertisa, Andipuerto y Sálica, que no sólo cubren el 80% del tráfico de buques sino el 80% del movimiento de carga, son especialmente importantes sobre los demás puertos privados, ya que a ellos podría llegar una mayor cantidad de aguas de sentina.

### 2.1.3 Cálculo de la Oferta

Para cuantificar la oferta potencial del residuo en el país, se partió de la definición de la cantidad de residuo ingresada al país por buque arribado. Tomando como datos experimentales las cantidades descargadas en Puerto Bolívar durante los meses de enero a mayo de 2004, se concluyó lo siguiente, luego de la realización de pruebas de hipótesis (Apéndice 5):

- La aplicación de la **dócima Kolmogorov-Smirnov** sobre los datos evaluados, a un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0.01, indica que no hay evidencia estadística para rechazar el supuesto de que la variable “*cantidad descargada del residuo por buque*” se aproxima a una normal.
- La aplicación de una **prueba de hipótesis de medias cuando no se conoce la desviación estándar de la población**, indica que no hay evidencia estadística para rechazar el supuesto de que la cantidad media de residuo descargada por buque es de 15 toneladas.

Del **“Análisis y Estudio sobre la Disposición de Aceites Usados del Sector Naviero Nacional e Internacional así como Sector Pesquero”**, realizado por Vertinspec Certificaciones e Inspecciones del Ecuador, se tomaron las siguientes conclusiones:

- El 40% de los buques que arriban a puertos ecuatorianos incineran sus aceites usados y residuos aceitosos a bordo. Por lo tanto, **sólo un 60% de los buques arribados podría generar una potencial oferta de residuos oleosos.**
- Existen tres categorías de buques arribando al país: los bananeros, graneleros o de cargas masivas; los de frecuencia de arribo quincenal; y los pesqueros.
- La frecuencia estimada de arribo de los buques bananeros o similares es de tres semanas o más, tiempo durante el cual se podría generar una carga de residuo suficiente como para requerir una descarga del mismo.
- Un periodo de quince días no es suficiente para que los buques de arribo quincenal requieran descargar su residuo. Por tanto, se necesitarían dos recaladas de

estas embarcaciones para reunir suficiente cantidad de residuo para descargar.

- Por el menor tamaño de las naves pesqueras, se considera que en cada arribo éstas habrían acumulado aproximadamente media tonelada de residuo. No se toma en cuenta pequeñas embarcaciones de pesca artesanal.

Con lo anterior, sobre la base de la información presentada en el estudio de Vertinspec (Apéndice 6), la oferta potencial del residuo analizado se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Oferta potencial} = \sum_{i=1}^n (15 \cdot 0.6 \cdot x_i + 15 \cdot 0.5 \cdot 0.6 y_i + 0.5 \cdot z_i)$$

donde,

$i = 1, 2, \dots, n$  representando los 17 puertos que están siendo analizados (3 estatales y 14 privados),

$x_i$  = cantidad de buques bananeros o similares que arriban al puerto  $i$ ,

$y_i$  = cantidad de buques de arribo quincenal que recalcan en el puerto  $i$ ,

$z_i$  = cantidad de buques pesqueros que arriban al puerto  $i$ ,

siendo 15 la cantidad promedio descargada por buque (expresada en toneladas), 0.6 el factor incinerador y 0.5 la representación de que cada 2 recaladas se haría una descarga del residuo.

#### **2.1.4 Oferta Proyectada a 5 Años**

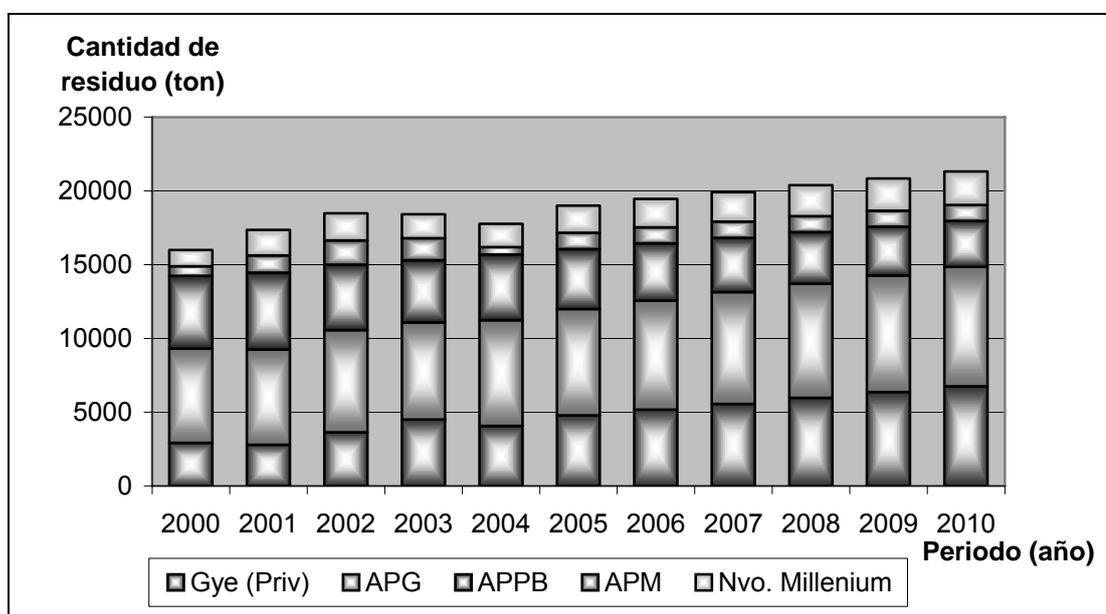
Para proyectar la oferta potencial del residuo se utilizó el método cuantitativo de *análisis de series de tiempo*, el cual permitió estimar las ecuaciones de la tendencia secular del tráfico de buques en los distintos puertos ecuatorianos utilizando para ello los datos históricos del tráfico de buques declarados en las Estadísticas Portuarias de 1990 a 2004 generadas anualmente por la DIGMER (Apéndice 7).

El análisis de la tendencia secular permitió pronosticar la dirección a largo plazo del tráfico de buques, para luego aplicar la ecuación de “*oferta potencial*” y proyectar la oferta del residuo siguiendo un escenario relativamente conservador.

**TABLA 5**  
**OFERTA POTENCIAL DEL RESIDUO**

Año	Nuevo Millenium (antes APE)	Pto. de Manta (APM)	Puerto Bolívar (APPB)	Pto. de Gquil (APG)	Puertos Privados (Gquil)	TOTAL PAÍS
2000	1089	669	4923	6382	2928	15991
2001	1728	1157	5229	6453	2785	17351
2002	1854	1641	4428	6921	3646	18489
2003	1611	1491	4239	6582	4493	18415
2004	1584	497	4455	7177	4062	17775
2005	1835	1088	4077	7219	4776	18995
2006	1922	1087	3884	7391	5173	19458
2007	2010	1086	3692	7563	5571	19921
2008	2097	1085	3499	7735	5968	20385
2009	2184	1085	3307	7907	6366	20848
2010	2272	1084	3114	8079	6764	21312

ELABORACIÓN: PROPIA



**FIGURA 2.8** GENERACIÓN ANUAL DEL RESIDUO EN LOS PUERTOS ECUATORIANOS

ELABORACIÓN: PROPIA

A nivel nacional, se proyectó un incremento del tráfico de buques de 3129 a 3392 naves, un 8.41%, en el periodo 2005-2010. No obstante, analizando la proyección por puerto, notamos que se proyectó una disminución del tráfico de buques tanto en el Puerto de Manta como en Puerto Bolívar, en este último siendo mucho menor. Ésto se debe a que el histórico muestra una disminución de número de buques arribados con el pasar de los años, aunque paralelamente se ve un aumento de la carga específica en estos puertos, lo que significa que llegan buques cada vez más grandes. En términos de generación del residuo, lo anterior significaría que un buque que solicitara descargar su residuo en estos puertos podría traer más residuo que el estimado, pero para efectos de mantener un escenario conservador, se han mantenido los valores promedio de generación por lo que a nivel anual se presencia un decremento de la cantidad generada de residuo, hecho que no necesariamente es cierto.

En términos de la generación del residuo, a nivel nacional se ve un incremento de la misma en un 12.20% del 2005 al 2010, con incrementos anuales de apenas 2.3% en

promedio. No obstante, analizando el escenario particular de cada puerto, puertos como el de Guayaquil y los privados se vuelven interesantes, con incrementos anuales de 2.3% y 7.2% respectivamente. El puerto Nuevo Millenium también presenta un escenario positivo con un incremento anual de 4.4% en la generación del residuo, pero por la distancia entre Esmeraldas y Guayaquil, el costo de transporte podría hacer de éste un mercado no atractivo.

## **2.2 Demanda de Aguas de Sentina**

Según información suministrada por la Dirección General de la Marina Mercante y Del Litoral del Ecuador DIGMER, en el país existen once empresas de servicios complementarios autorizadas para la recolección y desalojo de basura y residuos sólidos y líquidos, siendo éstos últimos los de interés para el proyecto. El residuo demandado es extraído de los buques, muchas veces procesado, para luego dar un uso al material resultante.

### **2.2.1 Alternativas de Disposición para las Aguas de Sentina**

Por tratarse de un residuo contaminado con aceite usado, y siendo el aceite usado considerado como un residuo peligroso, las aguas de sentina no pueden ser vertidas en el

mar y mucho menos en las alcantarillas de las distintas ciudades donde se ubican los puertos. La Tabla 6 muestra la jerarquía en el tratamiento responsable de residuos, indicando cuáles son las alternativas de disposición para el residuo, así como sus pros y contras.

**TABLA 6**  
**ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN DEL RESIDUO**

<b>Alternativa (de mejor a peor)</b>	<b>Aplica</b>	<b>Pros</b>	<b>Contras</b>
Minimización	No	n/a	
Reutilización/ reuso	No	n/a	
Reciclaje	No	Para poder reciclar el aceite usado que contaminó el agua habría que hacer muchos pre-procesos al residuo y añadir muchos aditivos durante el reciclaje del aceite recuperado, lo cual hace del reciclaje una alternativa poco viable.	
Recuperación de recursos (e.g. co-procesamiento)	Sí	Permite una valorización del residuo por el aprovechamiento de la energía en el mismo, disminuyendo el uso de combustibles fósiles y promoviendo la preservación de los recursos naturales	El residuo debe pre-procesarse para poder aprovechar al máximo su energía, sin impactar tanto el proceso al que es alimentado.  El costo de pre-proceso sería cargado al costo del servicio de descarga y eliminación de aguas de sentina.

<b>Alternativa (de mejor a peor)</b>	<b>Aplica</b>	<b>Pros</b>	<b>Contras</b>
Destrucción de recursos (e.g. incineración, neutralización)	Sí	Garantiza la eliminación del residuo.  Como el residuo no va a tener ningún uso, el mismo no requiere de ningún pre-proceso mayor.	Cuando se trata de incineración se generan cenizas, las cuales contendrán los elementos contaminantes que tenía el aceite (e.g. metales pesados). Por ende, habrá que disponer de las cenizas apropiadamente.  Dado que el residuo no es aprovechado, el servicio tiene un costo, normalmente mayor.
Confinamiento	No	No debe considerarse como una alternativa pues hay dos anteriores que garantizan la eliminación del residuo, y aunque no fueran atractivas en Ecuador, lo son en otros países.	

ELABORACIÓN: PROPIA

En concordancia con lo anterior, actualmente las empresas que recogen este residuo, someten el mismo a pre-procesos como decantación o centrifugación, para la separación del aceite, agua, y/o sólidos, demulsificación, neutralización del agua, etc. En términos de disposición final, el agua decantada normalmente es utilizada para riego, limpieza y/o usos sanitarios; el aceite es normalmente comercializado

para su utilización como combustible alternativo en empresas de fabricación de asfalto, ladrillos (cerámicas), cemento y empresas metalúrgicas. Se conoce también del uso de las aguas de sentina para el riego de carreteras (y así reducir el levantamiento de polvo), pero este destino final es incorrecto y por ende debe eliminarse.

### 2.2.2 Competencia Actual y Potencial

La Tabla 7 muestra el listado de todas las empresas de servicios complementarias autorizadas por la DIGMER para la recolección y desalojo de aguas de sentina, empresas que componen la competencia actual:

**TABLA 7**  
**EMPRESAS AUTORIZADAS PARA LA RECOLECCIÓN Y**  
**DESALOJO DE AGUAS DE SENTINA**

<b>i</b>	<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Puerto(s) de influencia</b>
1	Articarga S.A.	Guayaquil	Guayaquil y privados
2	Bopal Shipping Services S.A.	Guayaquil	Guayaquil y privados
3	Concreto y Prefabricados Cía. Ltda.	Durán	Guayaquil y privados
4	International Marine Service INTERMASE Cía. Ltda.	Guayaquil	Guayaquil, privados y Puerto Bolívar

<b>i</b>	<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Puerto(s) de influencia</b>
5	Servicios Técnicos y Marítimos (SERTEPORMAR) S.A.	Guayaquil	Guayaquil y privados
6	RAGUETI S.A.	Guayaquil	Guayaquil y privados
7	Vitafull S.A.	Guayaquil	Guayaquil y privados
8	Proveedora Marítima y Portuaria PORTOKEROS Cía. Ltda.	Esmeraldas	Nuevo Millenium
9	Servicios Marítimos SERVICRES Cía. Ltda.	Machala Guayaquil	Puerto Bolívar, Guayaquil y privados
10	Servicios Marítimos Danilo Salinas SERVIDASA	Machala	Puerto Bolívar
11	Servicios Marítimos Generales SERMAGENSAS	Machala	Puerto Bolívar

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: SRI Y DIGMER

La competencia potencial está conformada por las empresas a las que finalmente les interesa la fracción aceitosa del residuo, que estarían dispuestas a integrarse verticalmente, dar el servicio de descarga del residuo y pre-tratarlo para luego consumirlo. En este grupo podría estar el Grupo cementero Lafarge, con su planta Selva Alegre al norte del país.

La prestación del servicio de descarga y recolección de aguas de sentina en puertos ecuatorianos se inició en el

Puerto Bolívar, provincia de El Oro, donde las empresas ya están bien establecidas y trabajando a su plena capacidad. Es así que, para estimar la capacidad de la competencia se ha tomado los registros del Departamento de Operaciones de la APPB referentes a los servicios de provisión y descarga de materiales prestados por las empresas de servicios complementarios.

Para este análisis se han tomado en consideración tanto los registros de desalojo de aceite usado como los de desalojo de mezclas oleosas realizados en el año 2004 en Puerto Bolívar (Apéndice 8) puesto que, al estudiar a las aguas de sentina como residuo aprovechable en un proceso térmico, el interés está –más que en el agua– en el aceite usado como elemento contaminante que debe disponerse correctamente.

Según datos de la APPB, en el año 2004 al 22.18% del total de buques movilizados se les prestó el servicio de desalojo de aceite usado y al 9.27% se les prestó el servicio de desalojo de mezclas oleosas, siendo ambas variables excluyentes; es decir, que a ninguno se le prestó ambos servicios en una misma fecha de arribo. Por tanto, habiendo

comprobado que las proporciones de buques a las que se les prestó los servicios de descarga de aceites y mezclas oleosas son 0.20 y 0.10 respectivamente, se puede ratificar a un nivel de significancia de 0.01, que hasta el 30% de las naves arribadas anualmente a Puerto Bolívar puede ser atendido por las compañías ya establecidas (Apéndice 9).

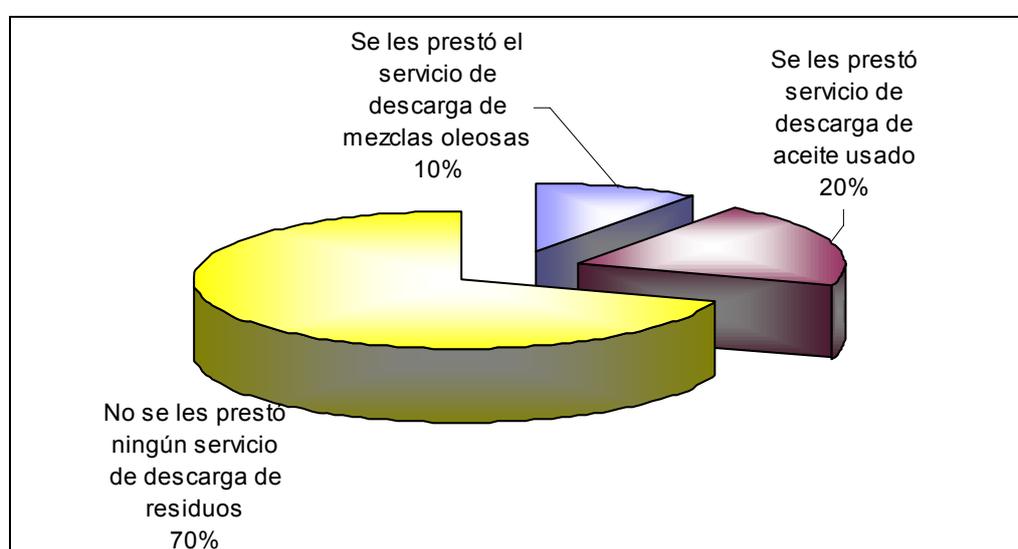


FIGURA 2.9 GRÁFICA DE LA PROPORCIÓN DE BUQUES ATENDIDOS EN TÉRMINOS DE DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: APPB

Dentro del mercado de Puerto Bolívar, el residuo se reparte según lo muestra la Figura 2.10, siendo el principal competidor la empresa SERVICRES Cía. Ltda., habiendo captado un 69.7% de la cantidad total de residuos oleosos descargados en Puerto Bolívar en el año 2004 (Apéndice 10).

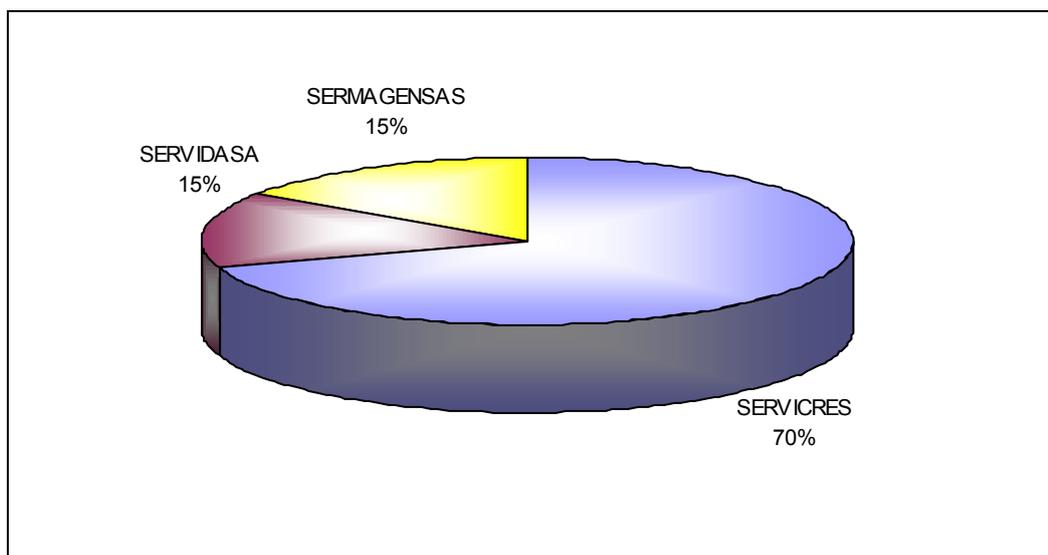


FIGURA 2.10 DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA DEL TOTAL DE RESIDUOS LÍQUIDOS DESCARGADOS EN PTO. BOLÍVAR

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: APPB

Tomando nuevamente en consideración el factor incinerador mencionado en el punto 2.1.3 de este documento para el cálculo de la oferta potencial del residuo, decimos que de los 469 buques de la muestra analizada en Puerto Bolívar, el 40% de ellos quemó sus residuos a bordo por lo que sólo 281 buques podrían haber arribado con residuos para descargar. No obstante, según los registros de descarga de aceite y mezclas oleosas, sólo 155 de los 469 buques registrados descargaron residuos, de donde podemos inferir, sin tomar en cuenta los buques que arribaron sin residuos, que hubo una demanda desperdiciada del 44.84%; es decir, 126 buques de los 281 que llegarían con residuo podrían haberlo

descargado en Puerto Bolívar pero no lo hicieron, sea porque las empresas oferentes del servicio no estaban en capacidad de atenderlos, o porque el servicio es más económico en algún otro puerto al que se dirigen.

Tomando los datos de las empresas de Puerto Bolívar y partiendo del supuesto de que la variable  $u_j$  “capacidad de la empresa  $j$ ” sigue una distribución uniforme entre 24 y 108 buques, la misma, es decir la demanda de cada empresa, se simuló según la siguiente fórmula (Apéndice 11):

$$\boxed{\text{Demanda unitaria (capacidad)} = 24 + 84R_j}$$

donde,

$R_j$  = número entre 0 y 1 para la variable  $u_j$ , expresado como un valor de probabilidad, obtenido a partir de la generación de un número aleatorio.

Con la demanda unitaria de cada empresa oferente del servicio de descarga y recolección de aguas de sentina, se pudo simular las cantidades de residuo que cada empresa descargaría en un año, desde las 400 toneladas/año en el

2005, hasta las 2600 ton/año en el 2010. El detalle de estos valores se presenta en el apartado 2.2.4 y su cálculo se encuentra en el Apéndice 11.

### 2.2.3 Precios de Mercado para la Disposición

La Tabla 8 presenta los precios actuales de mercado registrados para la prestación del servicio de descarga de aguas de sentina en los puertos ecuatorianos donde actualmente operan las empresas autorizadas por la DIGMER.

**TABLA 8**  
**PRECIOS ACTUALES POR LA DESCARGA DEL RESIDUO**

<b>Punto de prestación del servicio</b>	<b>Tarifa [US\$/ton]</b>
Puerto de Guayaquil	50.00
Puerto Bolívar	15.00
Puerto de Manta	20.00
Nuevo Millenium	No se registra

FUENTE: VERTINSPEC

El estudio de Vertinspec indica que la tarifa ofertada en el Puerto de Guayaquil implica la descarga del residuo y su transporte hacia Puerto Bolívar donde las empresas

autorizadas para la recolección del mismo le darían el tratamiento y destino final pertinente.

En Puerto Bolívar la tarifa por la descarga del residuo normalmente oscila entre US\$ 20.00 y US\$ 30.00 por tonelada. Sin embargo, la Tabla 8 registra una tarifa de US\$ 15.00 por tonelada en este puerto por tratarse del menor valor registrado en Octubre de 2003, tarifa que, de volver a imponerse, sería más difícil de superar (en términos de mejorar el precio a la agencia naviera que requiera el servicio).

Adicionalmente, se descubrió que en el Puerto de Manta, al igual que en Puerto Bolívar, el residuo es vendido en valores cercanos a 18 ctvos. por galón, el cual a su vez es re-vendido en zonas industriales en alrededor de 30 ctvos. por galón.

Hasta el año 2003, la Capitanía del Puerto Nuevo Millenium no permitía la descarga del residuo, considerando que en la zona no hay medios seguros para una disposición adecuada del mismo. No obstante, la Autoridad Marítima está dispuesta

a permitir el manejo de residuos si se comprueba que las operaciones requeridas no atentan contra el medio ambiente. Respecto al mercado internacional, se conoce que en Costa Rica los buques pagan US\$ 20-25/ton, mientras que en Panamá y El Salvador se cobra US\$ 50/ton y en Guatemala se da el servicio gratis.

#### 2.2.4 Demanda Proyectada a 5 Años

Partiendo del cálculo de la demanda anual por empresa autorizada para la descarga y recolección de aguas de sentina, se proyectó la demanda del residuo para el periodo 2006-2010 según se muestra en la Tabla 9, donde los números del 1 al 10 encabezando la tabla se refieren a las 10 empresas nombradas en la Tabla 7. La empresa 11, SERMAGENSAS, no se incluye en el estudio dado que la DIGMER revocó su autorización en 2005.

**TABLA 9**

#### **DEMANDA PROYECTADA DEL RESIDUO**

<b>Año</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>Total</b>
2005	1208	948	1546	1409	1613	940	1063	1639	1755	395	<b>12516</b>
2006	1305	1023	1670	1522	1742	1016	1148	1770	1896	427	<b>13517</b>
2007	1409	1105	1803	1643	1881	1097	1240	1912	2048	461	<b>14599</b>
2008	1522	1194	1947	1775	2032	1185	1339	2065	2211	498	<b>15767</b>

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
2009	1644	1289	2103	1917	2194	1279	1446	2230	2388	537	<b>17028</b>
2010	1775	1392	2272	2070	2370	1382	1562	2408	2579	580	<b>18390</b>

ELABORACIÓN: PROPIA

Se partió de una demanda anual de 18390 toneladas de aguas de sentina por parte del mercado demandante actual, proyectando incrementos anuales de la demanda de 8%, porcentaje promedio de las variaciones de la producción nacional, registrados por el INEC, que fueron 5% y 10% en los años 2002 y 2003, respectivamente.

### **2.3 Costo de Captación del Mercado**

Para poder cuantificar y definir el costo comercial por la captación del mercado de aguas de sentina, es necesario conocer: el costo en que se incurriría por el simple hecho de entrar a ser competidor así como el porcentaje de la demanda desperdiciada que se pretende captar, dado que de ello depende la cantidad de recursos que habría que asignar al negocio y por ende su costo.

#### **2.3.1 Análisis de la Industria de Disposición de Sentinas**

Siguiendo el modelo de las Cinco Fuerzas de Porter para el análisis estructural de la industria, se pudo inferir lo siguiente

de la industria de recolección y disposición de aguas de sentina:

### **1) Competidores Potenciales**

A pesar de que un competidor potencial para la industria podría ser cualquier empresa a la cual le interesa la fracción aceitosa de las aguas de sentina, empresas como Alfadomus, Andec, Cementos Guapán, Cementos Chimborazo, y muchas otras empresas cerámicas y de ladrillos presentes especialmente en Cuenca, no son consideradas como competidores realmente potenciales puesto que el giro de su negocio es otro y no se las percibe dispuestas a invertir tiempo, capital, recursos y energía en instalar la infraestructura para la recolección y tratamiento del residuo. A empresas de este tipo sólo les interesa conseguir un combustible más barato, objetivo que logran siendo otras las empresas encargadas del residuo.

No obstante, el Grupo Lafarge sí es visto como un competidor potencial. No en la actualidad, pero tal vez en unos dos años, se prevé el arranque de proyectos de co-

procesamiento de residuos industriales, iguales a los de Holcim, donde de interesarse en el residuo, la empresa tendría en el Puerto Nuevo Millenium un mercado cercano y relativamente fácil de acceder.

En general, se considera que no existen grandes barreras para ingresar al mercado; las inversiones requeridas no son muy grandes y el gobierno sólo pide la tenencia de una licencia ambiental y calificación ante la DIGMER, siendo éstas barreras superables, especialmente para empresas que ya se dedican al tratamiento y disposición de otras corrientes de residuos.

## **2) Rivalidad entre Competidores Existentes**

Se puede decir que la rivalidad entre las empresas establecidas en el país no es tan intensa puesto que hay mucho más residuo que lo que las empresas han podido captar. No obstante, la rivalidad es grande cuando se ve más allá de las fronteras nacionales; hay muchos competidores similares, y como no hay una diferenciación entre el servicio que ofrece una empresa u otra, la decisión sobre escoger a una u otra está dada

básicamente por el precio que le ofrezcan al capitán del buque en cada uno de los puertos dentro de su ruta.

### **3) Amenaza de Productos Sustitutos**

La fracción aceitosa obtenida luego del tratamiento de las aguas de sentina es comercializada entre las empresas que buscan aceite usado como combustible alternativo. El aceite usado es ya un sustituto de los combustibles fósiles tradicionalmente utilizados en los procesos térmicos: fuel-oil, carbón, coque de petróleo y/o gas natural. Por ende, el precio al que puede comercializarse depende mucho del precio de los combustibles que sustituye por lo que estos precios ejercen gran presión sobre el costo del servicio de descarga de aguas de sentina.

### **4) Poder de Negociación de los Compradores**

Por el mismo concepto de que el aceite de las aguas de sentina se comercializa como combustible alternativo, los compradores del mismo son poderosos dado que ejercen presión para que el precio del residuo se mantenga por debajo del precio de su combustible tradicional. Aparte,

los compradores son realmente un grupo pequeño, adquieren grandes cantidades y eso les da poder para negociar.

#### **5) Poder de Negociación de los Proveedores**

Si tomamos a los buques como proveedores de la material prima para el servicio, las aguas de sentina, podemos decir que son poderosos. Aunque son muchos y eso representa una desventaja para ellos, los buques tienen alternativas que salen de las fronteras del país y por ello pueden ejercer una presión indirecta para la baja de las tarifas por descarga del residuo.

En general se puede decir que la industria de descarga y disposición de aguas de sentina es una industria de fácil ingreso donde la estrategia para competir y permanecer en la competencia es el *bajo costo*, especialmente por tener restricciones a ambos lados, tanto en la tarifa que se puede cobrar por el servicio como en costo por tonelada del combustible tradicional que no se puede exceder. Esto obliga a cualquier competidor potencial interesado en entrar

al mercado, a prestar especial atención a lograr una eficiencia operativa.

### **2.3.2 Expectativas de Captación del Mercado**

Técnicamente, la planta Cerro Blanco no presenta limitaciones para la cantidad de residuo que podría recibir para co-procesar. Cada uno de los dos hornos tiene una capacidad diaria de producción de aproximadamente 3100 toneladas de clinker cada uno, con un requerimiento diario de aproximadamente 20 millones de MJ de energía térmica.

A nivel de poder de captación de mercado, se esperaría empezar con la recepción de al menos un tanquero de 10000 galones del residuo por semana (con 30 toneladas en promedio); esto es, aproximadamente 104 buques anuales (2 buques por tanquero).

Haciendo la comparación con los datos estimados para el 2006, del total de buques arribados al país con residuos para descargar (el 60% de 3181 buques) en el primer año de ejecución del proyecto se esperaría captar un 5% de la oferta potencial total, y anualmente ir aumentando un 5% el

porcentaje de captación del mercado hasta llegar a captar un 30% de la oferta potencial total, porcentaje de participación en el que se decidió mantener el proyecto.

### 2.3.3 Cuantificación del Mercado

La Tabla 10 muestra la oferta potencial perdida del servicio de descarga de aguas de sentina en puertos ecuatorianos, que resulta de la diferencia entre la oferta potencial y la demanda nacional. Lo anterior significa que, habiendo llegado un buque con residuos para descargar, el mismo no lo hizo sino que descargó luego en un puerto internacional.

**TABLA 10**

#### **OFERTA POTENCIAL NO APROVECHADA**

<b>Año</b>	<b>Oferta Potencial [ton]</b>	<b>Demanda anual [ton]</b>	<b>Oferta No Aprovechada [ton]</b>
2006	19458	13517	5941
2007	19921	14599	5323
2008	20385	15767	4618
2009	20848	17028	3820
2010	21312	18390	2921

ELABORACIÓN: PROPIA

La Tabla 11 cuantifica el mercado que se pretende captar; es decir, las toneladas de aguas de sentina que se esperaba atraer a la planta Cerro Blanco para su co-procesamiento.

**TABLA 11**  
**CUANTIFICACIÓN DEL MERCADO A CAPTAR**

Año	Oferta No Aprovechada [ton]	Demanda del proyecto [ton]	% de la oferta potencial perdida [%]
2006	5941	973	16%
2007	5323	1992	37%
2008	4618	3058	66%
2009	3820	4170	109%
2010	2921	5328	182%

ELABORACIÓN: PROPIA

Durante el periodo 2006-2008, la demanda proyectada de residuo para co-procesamiento es cubierta por la oferta potencial perdida que hay del residuo; es decir, que la ejecución del proyecto no afectaría las participaciones de mercado de la competencia (para el mercado actualmente explotado). No obstante, en los años 2009 y 2010 el mercado que se pretende captar supera la oferta potencial perdida por lo que habría que quitar participación de mercado a la competencia, para cumplir con el objetivo planteado.

#### **2.3.4 Requerimientos Organizacionales**

Tomando en consideración los datos presentados en la Tabla 5, sólo el Puerto de Guayaquil y los puertos privados de

Guayaquil generan el 65% de la oferta potencial del residuo y junto con Puerto Bolívar alcanzan el 85% de la misma, de donde se puede asumir que, durante los tres primeros años de ejecución del proyecto, el mercado a captar estará principalmente en Guayaquil.

Lo anterior implica que, para el periodo 2006-2008, no sería necesaria la instalación de una oficina en alguna de las otras ciudades donde se ubican los demás puertos. Se prevé que la gestión comercial y logística podrán manejarse desde Guayaquil, en la actual oficina ubicada dentro de la planta Cerro Blanco. Ahora, por los volúmenes de captación esperados, al menos para los dos primeros años se espera poder trabajar con el mismo ingeniero de servicio que maneja los residuos gestionados de la ciudad de Guayaquil. No así a partir del 2008, por el crecimiento del volúmenes de captación esperados así como el seguro incremento de los volúmenes gestionados de otras corrientes de residuos, se estima necesaria la contratación de un ingeniero de servicio sólo para manejar el mercado de aguas de sentina, pues él no sólo deberá encargarse del tema comercial sino coordinar

la logística y gestión legal necesaria para movilizar el residuo desde una ciudad a otra.

A partir del 2009 se hace necesario el enfoque hacia un mercado adicional, fuera de Guayaquil. Por la evolución esperada de la oferta potencial del residuo (Tabla 5), se considera pertinente el enfoque en el mercado de Puerto Bolívar por sobre Manta y Esmeraldas. Manta no es considerada como un puerto atractivo para el proyecto y Esmeraldas, aunque atractivo en términos de cantidades de residuo, no lo es al considerar la distancia de Esmeraldas a Guayaquil; esto es, sin considerar que Esmeraldas está cerca de Lafarge por lo que en un corto plazo el residuo podría empezar a demandarse por esta empresa.

### **2.3.5 Costos Comerciales**

Los costos vinculados a las actividades comerciales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) **Costos de personal.** En una primera etapa, es el costo proporcional asociado al ingeniero de servicio manejando la gestión de residuos en Guayaquil,

asumiendo que inicialmente dedicará el 20% de su tiempo y luego el 40%, a gestionar las aguas de sentina. A partir del 2008, se considera el costo de un ingeniero de servicio dedicado únicamente a gestionar el residuo. Incluye costos de capacitación y gastos de viaje.

- b) **Costos de ventas, publicidad y mercadeo.** Incluye costos en investigación del mercado, gastos en publicidad del servicio, comunicación, gastos de ventas y de representación.
- c) **Costos administrativos.** Implica los pagos por telefonía y telecomunicaciones, suministros de hardware y software, y suministros para la oficina.
- d) **Alquiler.** Adicional al costo de la renta de la oficina requerida en Puerto Bolívar, incluye costos fijos asociados a la utilización de la misma.

La Tabla 12 muestra los costos estimados por la gestión comercial, los mismos que serán utilizados en el Capítulo 5 para el análisis de la factibilidad financiera.

**TABLA 12**  
**COSTO POR LA GESTIÓN COMERCIAL DEL PROYECTO**

<b>Tipo costo</b>	<b>Mes</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
<b>De personal</b>		<b>3,780.00</b>	<b>7,020.00</b>	<b>18,725.76</b>	<b>23,803.54</b>	<b>24,727.73</b>
Sueldos y salarios		2,880.00	6,048.00	15,876.00	16,669.80	17,503.29
Capacitación gral		300.00	324.00	349.92	377.91	408.15
Gastos viaje		600.00	648.00	2,499.84	6,755.83	6,816.29
<b>De vtas, publ y mkt</b>		<b>5,170.00</b>	<b>4,974.00</b>	<b>6130.99</b>	<b>7,643.21</b>	<b>9,208.67</b>
Comunicación		600.00	1,260.00	1,360.80	1,469.66	1,587.24
Inv. de mercado		3,000.00	1,500.00	1,590.00	1,685.40	1,786.52
Publicidad		820.00	885.60	956.45	1,032.96	1,115.60
Gastos de ventas		600.00	1,328.40	2,223.74	3,266.23	4,515.24
Gastos de represent.		150.00	162.00	174.96	188.96	204.07
<b>Administrativos</b>		<b>1,740.00</b>	<b>2,138.40</b>	<b>2,309.47</b>	<b>2,494.23</b>	<b>2,693.77</b>
Telecomunicaciones		240.00	518.40	559.87	604.66	653.03
Hardware/ software		1,320.00	1,425.60	1,539.65	1,662.82	1,795.85
Sum. para oficina		180.00	194.40	209.95	226.75	244.89
<b>Renta o alquiler</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1,800.00</b>	<b>1,980.00</b>	<b>2160.00</b>
<b>TOTAL</b>		<b>10,690.00</b>	<b>14,132.40</b>	<b>28,966.22</b>	<b>35,920.98</b>	<b>38,790.17</b>

ELABORACIÓN: PROPIA

# CAPÍTULO 3

## 3. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD LEGAL- AMBIENTAL

### 3.1 Marco Legal Ambiental

#### 3.1.1 Autoridades ambientales de control

Considerando el marco institucional vigente a continuación se presentan los principales reguladores que en materia legal-ambiental conciernen a las actividades del proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina.

TABLA 13

#### AUTORIDADES AMBIENTALES DE CONTROL

Ente regulador	Instrumento (otorga competencias)	Competencias relevantes
Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE)	Ley de Gestión Ambiental	Dirigir, coordinar y regular el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental.  Coordinar, con los organismos competentes, el cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes a desechos y otros agentes contaminantes.  Definir un sistema de control y seguimiento del régimen de permisos y licencias sobre actividades potencialmente contaminantes.

Ente regulador	Instrumento (otorga competencias)	Competencias relevantes
Concejo Provincial del Guayas	Convenio Marco de Transferencia de Competencias del Ministerio del Ambiente hacia los Gobiernos Seccionales	Promover y ejecutar obras de alcance provincial en vialidad, <i>medio ambiente</i> , riego y manejo de las cuencas y microcuencas hidrográficas de su jurisdicción.
Concejo Municipal de Guayaquil	Convenio de Transferencia de Competencias entre el Ministerio del Ambiente y la M. I. Municipalidad de Guayaquil	Revisar y aprobar estudios ambientales.  Emitir y recaudar tasas y multas en materia de contaminación ambiental.  Otorgar Licencias Ambientales a las entidades del sector público o privado que efectúen obras y/o desarrollen proyectos de inversión públicos o privados en los límites de Guayaquil.
	Ley de Régimen Municipal	Velar por el fiel cumplimiento de las normas legales sobre saneamiento ambiental y especialmente de la que tienen relación con ruido, olores desagradables, humo, gases tóxicos, polvo atmosférico, emanaciones y demás factores que puedan afectar la salud y bienestar de la población
Dirección General de la Marina Mercante del Litoral DIGMER	Decreto Ejecutivo del 31 de Diciembre de 1.958	Fortalecer la protección marítima y portuaria del país.  Cumplir con el marco regulatorio de los convenios internacionales relacionados con la Administración Marítima y Portuaria.

ELABORACIÓN: PROPIA

### 3.1.2 Requerimientos de Permisología y Estudios

De acuerdo a lo establecido en el Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA) y en el Reglamento a la Ley de Gestión

Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (R<sub>LGA</sub>PCCA), toda persona natural o jurídica que pretenda emprender proyectos de gestión de residuos industriales peligrosos debe cumplir con los requerimientos listados en la Tabla 14.

**TABLA 14**  
**ESTUDIOS AMBIENTALES Y PERMISOS**

Nombre	Solicita	Objetivo	Requisitos*
Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	SUMA	Presentar el proyecto completo y su cumplimiento con la regulación ambiental vigente.	<p>Evaluar los impactos ambientales del proyecto tanto en sus fases de construcción, operación y abandono.</p> <p>Presentar y valorar el Plan de Manejo Ambiental (PMA) para la mitigación de los impactos ambientales.</p>
Licencia Ambiental	SUMA	Determinar el cumplimiento del proyecto con la regulación ambiental vigente.	<p>Hacer un análisis institucional para definir la autoridad ambiental de aplicación responsable (AAAr), quien lideraría el proceso de licenciamiento.</p> <p>Presentar el EIA como punto de partida del proceso de licenciamiento.</p>

Nombre	Solicita	Objetivo	Requisitos*
Permisos de descarga	R <sub>LG</sub> A PCCA	Obtener el permiso de descargas, emisiones y vertidos al ambiente.	Las descargas al ambiente deben estar dentro de los parámetros establecidos en las normas técnicas ambientales nacionales o las que se dictaren en el cantón Guayaquil.
Auditoría Ambiental (AA)	R <sub>LG</sub> A PCCA	Renovar el permiso de descarga de emisiones y vertidos.	Presentar al menos cada 2 años la AA de cumplimiento con el PMA y la normativa ambiental vigente a la AAAR.
Matrícula como Empresa de Servicios Complementarios (ESC)	Reglamento de Servicios Portuarios para las Entidades Portuarias del Ecuador	Obtener calificación ante la DIGMER como empresa de servicios complementarios en capacidad de realizar la recolección de residuos de sentina	Presentar EIA con la evaluación de los impactos de las actividades del proyecto sobre los medios marinos y su PMA asociado.  Presentar licencia ambiental para la disposición final del residuo.  Renovar matrícula cada 5 años.
Habilitación de la Matrícula como ESC por la AP competente	Reglamento de Servicios Portuarios para las Entidades Portuarias del Ecuador (RGAPE)	Tener la autorización para prestar el servicio de recolección del residuo en el puerto de interés	Matrícula como ESC  Renovar autorización cada 2 años

\* Se refiere a los requisitos relevantes para la ejecución del estudio

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Eficácitas, EIA para las Actividades de Gestión y Co-procesamiento de Residuos

### 3.1.3 Leyes y Reglamentos Relacionados con el Proyecto

Al presentar el proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina como una extensión del programa para la gestión del aceite usado como residuo peligroso y contaminante, a él se aplican un sinnúmero de regulaciones, leyes y normativas.

#### Regulaciones ambientales

El concepto general de las regulaciones ambientales más relevantes se resume en la Tabla 15 presentada a continuación. El resumen de todas las leyes ecuatorianas vigentes con respecto a la protección ambiental se presenta en el Apéndice 12.

**TABLA 15**

#### REGULACIONES AMBIENTALES

Nombre	Detalle
Constitución Política del Ecuador	Estipula, en el capítulo relacionado con los derechos colectivos, Sección II referente al Medio Ambiente, en los Artículos 86 al 91, que <i>“El Estado debe proteger el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable...”</i>
Ley Reformatoria al Código Penal	Tipifica los delitos contra el patrimonio cultural, contra el medio ambiente y las contravenciones ambientales; además de sus respectivas sanciones, incluidas al Libro II del Código Penal.

Nombre	Detalle
Ley de Gestión Ambiental (LGA)	Establece los principios y directrices de la política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.
Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS)	Actualiza la legislación en materia ambiental y permite ubicar con exactitud la normativa vigente en cada materia.
Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA)	Reglamenta al SUMA señalado en los artículos 19 hasta 24 de la LGA, en lo referente a: Marco institucional, mecanismos de coordinación interinstitucional y los elementos del sub-sistema de evaluación de impacto ambiental, el proceso de evaluación de impacto ambiental, así como los procedimientos de impugnación, suspensión revocatoria y registro de licencias ambientales.
Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (R <sub>LGA</sub> PCCA)	Establece las normas generales nacionales aplicables a la prevención y control de la contaminación ambiental y de los impactos ambientales negativos de las actividades dentro de la CIU, las normas técnicas nacionales que fijan los límites permisibles de emisión, descargas y vertidos al ambiente; y, los criterios de calidad de los recursos agua, aire y suelo, a nivel nacional.
Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua	Establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado; los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y, los métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.
Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación de Suelos Contaminados	Establece normas de aplicación general, prevención de la contaminación al recurso suelo, de las actividades que degradan la calidad del suelo, suelos contaminados, criterios de calidad de suelo y criterios de remediación, y normas técnicas de evaluación agrológica del suelo.

Nombre	Detalle
Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión	Establece límites permisibles de emisión de contaminantes al aire desde combustión en fuentes fijas, métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión, y límites permisibles de emisión de contaminantes al aire para procesos productivos.
Norma de Calidad del Aire Ambiente	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo y provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.
Límites Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas y Fuentes Móviles, y para Vibraciones	Establece los métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido en el ambiente, así como disposiciones generales en lo referente a la prevención y control de ruidos y los niveles de ruido máximo permisibles para vehículos automotores y de los métodos de medición de estos niveles de ruido. También provee valores para la evaluación de vibraciones en edificaciones.
Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos No-Peligrosos	Establece los criterios para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta su disposición final.
Ley de Patrimonio Cultural	Pretende velar por la protección del patrimonio cultural y establece qué bienes son considerados pertenecientes al Patrimonio Cultural del Estado.

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Eficácitas, EIA para las Actividades de Gestión de Residuos

### **Ley de Régimen Municipal**

Fue expedida mediante R. O. 331 de 15 de Octubre de 1971, con el objetivo de velar por el fiel cumplimiento de las normas legales sobre saneamiento ambiental y especialmente de la que tienen relación con ruido, olores desagradables, humo,

gases tóxicos, polvo atmosférico, emanaciones y demás factores que puedan afectar la salud y bienestar de la población. Los mecanismos para el cumplimiento de la Ley de Régimen Municipal se detallan en la Tabla 16.

**TABLA 16**  
**MECANISMOS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA LEY DE RÉGIMEN MUNICIPAL**

<b>Nombre</b>	<b>Detalle</b>
Ordenanza de Estudios Ambientales Obligatorios en Obras Civiles, la Industria, el Comercio y Otros Servicios	Enumera las facultades de la Dirección de Medio Ambiente de la M.I. Municipalidad de Guayaquil, e introduce las definiciones de estudios ambientales y los clasifica de acuerdo al momento de su evaluación, y presenta el plazo y frecuencia para la presentación de los estudios ambientales.
Ordenanza del Plan Regulador Urbano de la Ciudad de Guayaquil	Entre otros puntos, establece que la normativa físico espacial vigente debe incorporar regulaciones relacionadas con la protección del medio ambiente, y la conservación de los recursos patrimoniales, arquitectónicos y urbanos.
Ordenanza de Circulación del Cantón Guayaquil	Establece las normas que regulen el movimiento de vehículos y personas en los espacios públicos y en los privados de uso público, y establece normativas ambientales para prevenir contaminación por ruido y desechos sólidos desde los vehículos.
Ordenanza que Regula el Transporte de Mercancía por Medio de Vehículos Pesados, Extrapesados y el Transporte de Sustancias Peligrosas en la Ciudad de Guayaquil.	Establece las condiciones de transporte y las vías por las cuales pueden transitar los vehículos y establece restricciones a la circulación en función de tipo de carga y de automotores (según su número de ejes).

Nombre	Detalle
Ordenanza que Reglamenta la Recolección, Transporte y Disposición Final de Aceites Usados	Establece las responsabilidades y obligaciones que tienen los generadores y transportadores para una adecuada recolección, transporte y disposición final de los de aceites usados y/o grasas lubricantes usadas; determina las normas y obligaciones a seguir; y establece la incineración como medio adecuado de disposición final de aceites usados, previo cumplimiento del proceso respectivo, que no afecte al medio ambiente.
Ordenanza que Establece los Requisitos y Procedimientos para el Otorgamiento de las Licencias Ambientales a las Entidades del Sector Público y Privado que se Efectúen obras y/o desarrollen proyectos de inversión públicos o privados dentro del Cantón Guayaquil	Establece los requisitos y procedimientos que se deberán cumplir, por parte de las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas, para la obtención de las licencias ambientales luego de la aprobación del respectivo Estudio de Impacto Ambiental.

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Eficácitas, EIA para las Actividades de Gestión de Residuos

### **Normativa para Manejo de Desechos Peligrosos**

En términos específicos de manejo de desechos peligrosos, existen cinco documentos que regulan la forma como debe manejárselos, cuya esencia se presenta en la Tabla 17.

TABLA 17

## NORMATIVA PARA EL MANEJO DE DESECHOS PELIGROSOS

Nombre	Detalle
Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Por Desechos Peligrosos	Regula las fases de gestión y los mecanismos de prevención y control de la los desechos peligrosos, al tenor de los lineamientos y normas técnicas previstos en las leyes de Gestión Ambiental, de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en sus respectivos reglamentos, y en el Convenio de Basilea.
Régimen Nacional para la Gestión de Productos Químicos Peligrosos	Regula la gestión de los productos químicos peligrosos, en todas sus fases: abastecimiento (importación, formulación y fabricación), transporte, almacenamiento, comercialización, utilización y disposición final.
Listados Nacionales de Productos Químicos prohibidos, peligrosos y de uso severamente restringido que se utilicen en el Ecuador	Sustancias sujetas de control por parte del Ministerio del Ambiente y que deberán cumplir en forma estricta los reglamentos y las normas INEN que regulen su gestión adecuada.
NTE INEN 2 266: Transporte, Almacenamiento y Manejo de Productos Químicos Peligrosos	Establece los requisitos y precauciones que deben considerarse para el transporte, almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos. Guarda relación con las actividades de producción, comercialización, transporte, almacenamiento y eliminación de sustancias químicas peligrosas.
NTE INEN 2 288: Productos Químicos Industriales Peligrosos. Etiquetado de Precaución. Requisitos	Se aplica a la preparación de etiquetas de precaución de productos químicos peligrosos, como se definen en ella, usados bajo condiciones ocupacionales de la industria.

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Eficácitas, EIA para las Actividades de Gestión de Residuos

**Código de Policía Marítima**

Establece que se prohíbe la descarga de hidrocarburos o sus residuos u otras sustancias tóxicas en las aguas, costas o

zonas de playas, ríos o vías navegables, así como los provenientes de plantas industriales, refinerías, instalaciones costeras fijas o flotantes (Artículos 3 y 4).

### 3.1.4 Lineamientos Establecidos por Convenios Internacionales

Las tablas 18 y 19 se refieren a los lineamientos internacionales existentes relacionados con la co-incineración de residuos peligrosos y los convenios internacionales suscritos por Ecuador, respectivamente, que condicionan el desarrollo del proyecto.

**TABLA 18**

#### **LINEAMIENTOS INTERNACIONALES**

<b>Zona de Aplicación</b>	<b>Descripción General</b>
Comunidad Europea	<p>La <b>Directiva 2000/76/CE</b> del Parlamento Europeo y del Consejo del 4 de Diciembre de 2000 relativa a la incineración de residuos se aplica a instalaciones de incineración y co-incineración de residuos.</p> <p>Se consideran límites máximos permisibles de emisión y requerimientos mínimos que deben cumplir las instalaciones de incineración y co-incineración; se mencionan procedimientos para la entrega y recepción de residuos; y se mencionan diferentes condiciones para la incineración del residuo.</p>

Zona de Aplicación	Descripción General
Estados Unidos de América	<p>La normativa específica para plantas cementeras como co-incineradores se encuentra descrita en la siguiente norma: <i>“Boiler and Industrial furnace regulation”</i> (CFR 40, part 63).</p> <p>Exige suscribir una certificación de precumplimiento (COP), para la cual se establecen condiciones y límites de operación basados en el mejor conocimiento de ingeniería (e.g. velocidades de alimentación de residuos peligrosos, metales pesados y cloro).</p>

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Efficáctas, EIA para las Actividades de Co-procesamiento de Residuos

**TABLA 19**

**CONVENIOS INTERNACIONALES RELACIONADOS CON  
EL PROYECTO**

Nombre	Descripción General
Convenio de Basilea	<p>Entró en vigencia a partir del 05 de mayo de 1992, y fue ratificado por el Ecuador, el 23 de Febrero de 1993, a través del cual aceptó internacionalmente que será responsable de la contaminación por el mal manejo de los desechos peligrosos:</p> <p><i>Art.4. “...Cada parte tomará las medidas apropiadas para: ... c) Velar por que las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos dentro de ella adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación y, en caso de que se produzca ésta, para reducir al mínimo sobre la salud humana y el medio ambiente.”</i></p>

Nombre	Descripción General
Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)	<p>Es un tratado global para proteger la salud humana y el ambiente de los contaminantes orgánicos persistentes (COPs). El Ecuador lo ratificó el 7 de Junio del 2004.</p> <p>Establece que los gobiernos deberán tomar medidas para eliminar o reducir la emisión de los COPs dentro del medio ambiente (e.g. las dioxinas y los furanos).</p>
MARPOL 73/78 Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978	<p>Contiene las reglas aplicables a las diversas fuentes de la contaminación ocasionadas por los buques.</p> <p>En su Anexo I establece las reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos y con ello regula el manejo de mezclas oleosas en los buques y las condiciones básicas de recepción de estos residuos en los puertos.</p>

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Efficáctas, EIA para las actividades de Gestión y Co-procesamiento de Residuos MARPOL 73/78

### 3.2 Evaluación de Impactos Ambientales

En este apartado se evalúan la magnitud y significancia de los potenciales impactos ambientales, positivos y negativos, identificados durante la operación de las instalaciones para la gestión y co-procesamiento de las aguas de sentina en los hornos de fabricación de clinker de la planta Cerro Blanco. El análisis no evalúa impactos durante las fases de construcción y abandono de las instalaciones puesto que, de llevarse a cabo el proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina, se utilizarían las instalaciones actuales de la planta Cerro Blanco para residuos líquidos, las cuales

seguirían en funcionamiento aunque se decidiera abandonar el proyecto en cuestión.

Para la evaluación, se considera que se generará un impacto ambiental cuando la actividad se ejecuta acompañada de un evento o accidente, el cual se denomina ***nexo de impacto ambiental*** pues conecta la actividad desarrollada con la posible afectación al medio. La identificación de los nexos es de gran importancia como paso previo para identificar los recursos afectados; considera eventos de probable ocurrencia durante las actividades normales previstas así como eventos accidentales de baja probabilidad de ocurrencia, requiriendo estos últimos la ocurrencia de un evento adicional (e.g. fuente de ignición cercana) para que se den.

### **3.2.1 Caracterización de las aguas de sentina**

Las aguas de sentina no son más que la mezcla física de los hidrocarburos que se fugan en los espacios de máquinas, los fangos resultantes de la purificación de los combustibles y aceites lubricantes, agua de mar e inclusive aguas lluvias. Por lo tanto, el residuo pertenece al grupo de los compuestos químicos orgánicos por la presencia de compuestos de carbono en la composición de la fracción aceitosa del mismo.

En la mayoría de los casos, los átomos de carbono comparten electrones con átomos no metálicos como hidrógeno, cloro, oxígeno y azufre.

El Apéndice 13 presenta los resultados de la caracterización de 63 muestras de aguas de sentina tomadas de 63 buques que solicitaron el servicio de descarga y recolección del residuo. El poder calorífico inferior (PCI) máximo registrado fue de 42710 MJ/ton, mientras que el mínimo fue de 6929 MJ/ton. Lo anterior es una clara evidencia de lo heterogéneo que puede ser el residuo; el primer resultado mostrado indica la presencia de aceite usado casi puro, considerando el lote como un combustible alternativo de alto grado, mientras que el segundo resultado indica la presencia de un material que difícilmente puede llamarse “combustible”.

La presencia de azufre en el residuo, 0.87% en promedio, es el azufre propio del hidrocarburo en la mezcla; mientras que la presencia de cloro, 0.10% aproximadamente, es resultado de la filtración de agua de mar en el depósito para el residuo en el buque.

La Tabla 20 presenta la clasificación del residuo como desecho peligroso de acuerdo a la nomenclatura adoptada por el Convenio de Basilea.

**TABLA 20**  
**CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL RESIDUO**

<b>Estado físico</b>	<b>Desecho</b>	<b>Clasif. según Basilea</b>	<b>Constituyente peligroso</b>	<b>Constituyente inerte</b>	<b>Origen</b>
Líquido	Agua residual de la sentina de barcos	Y9	Aceites o hidrocarburos	Agua	Mantenimiento de barcos

Y9- Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua  
FUENTE: Eficácitas, EIA para las Actividades de Gestión de Residuos

### 3.2.2 Toxicidad de las aguas de sentina

Como se indicó en la Tabla 20, los constituyentes peligrosos en las aguas de sentina son los hidrocarburos totales de petróleo presentes en el mismo, donde el aceite usado es uno de los principales componentes del mismo.

El término hidrocarburos totales de petróleo (abreviado TPH, en inglés) se usa para describir una gran familia de varios cientos de compuestos con origen en el petróleo crudo. Los TPH están divididos en grupos de hidrocarburos del petróleo, llamados fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada

fracción contiene muchos productos químicos individuales, y concentraciones variables de metales pesados como vanadio, níquel, cobre y hierro.

Algunos de los hidrocarburos presentes en el crudo presentan una conocida toxicidad para el ser humano, pero de la mayoría de ellos se desconoce el grado de peligrosidad.

Entre los efectos a la salud, se encuentran:

- **Por Ingesta:** Afectaciones al pulmón, aparato gastrointestinal y sistema nervioso.

- **Por Aspiración:** Afectaciones al pulmón.

El riesgo por aspiración depende de las propiedades de viscosidad, volatilidad, y tensión superficial del hidrocarburo. El mayor riesgo por aspiración corresponde a un producto de baja viscosidad, baja tensión superficial y gran volatilidad.

- **Por Contacto:** Dermatitis, irritación de los ojos.

Se ha asociado un aumento del riesgo de cáncer de piel con la presencia de hidrocarburos (Poliaromáticos -PAH).

### **3.2.3 Impactos en las actividades de gestión**

La Tabla 21 indica los impactos identificados y asociados a cada una de las actividades que se desarrollarían durante las diferentes etapas que comprende el manejo o gestión de las aguas de sentina.

**TABLA 21**

**IMPACTOS AMBIENTALES EN LAS ACTIVIDADES DE GESTIÓN DE LAS AGUAS DE SENTINA**

Actividad	Nexo identificado		Causal del nexo	Impacto potencial
	Tipo	Detalle		
Carga y/o descarga del residuo	M	Derrame mayor/menor del residuo	Por ruptura de tuberías, mangueras o válvulas durante el bombeo del residuo al carro tanque.	Alteración de la calidad del suelo, aguas superficiales y/o subterráneas.
Transporte	A	Emisiones al aire y ruido	Salida de gases por los tubos de escape y generación de ruido por el uso de bocines y el funcionamiento propio del vehículo.	Molestias o daños a la salud.
	B	Derrame del residuo	Por ruptura de alguna de las paredes del carro tanque, tapas o válvulas, dado un choque automovilístico, salida de carretera, volcamiento, etc.	Muerte o herida de transeúntes. Afectación del suelo, aguas subterráneas y/o aguas superficiales cercanas
		Incendio y/o explosión	Por presencia cercana de una fuente de ignición.	Alteración de la calidad del medio: daños a la propiedad, daños a servicios básicos , daños en vías de comunicación.

Actividad	Nexo identificado		Causal del nexo	Impacto potencial
	Tipo	Detalle		
Recepción	A	Generación de desechos en cantidades no significativas.	Debido a las actividades de muestreo y análisis de los lotes recibidos	Alteración del suelo, contaminación de aguas superficiales si las muestras son dispuestas incorrectamente.
	M	Incumplimiento de los criterios mínimos de aceptación	El residuo pudo haberse mezclado con algún producto que contenga elementos contaminantes, por lo que el resultado total supera los límites permisibles.	Separación y almacenamiento del residuo hasta que se le pueda dar un procesamiento adecuado.
Almacenamiento	B	Derrame desde los tanques de almacenamiento	Por ruptura de paredes o válvulas de tanques	Impacto a la calidad del suelo y aguas subterráneas
	B	Incendio	Por las características de volatilidad e inflamabilidad que podría presentar el residuo (según la mezcla), de presentarse una ventilación inadecuada.	Muerte o herida de personal trabajando en el área, daños a la propiedad, daños a la salud y al aire por emanación de gases contaminantes.

Actividad	Nexo identificado		Causal del nexo	Impacto potencial
	Tipo	Detalle		
	B	Explosión	Por el mal manejo de las válvulas o niveles de líquido en los tanques de almacenamiento, además de una inadecuada implementación de las medidas de seguridad.	Muerte o herida de personal trabajando cerca o dentro del área, daños a la propiedad.
Pre-proceso	M	Derrame durante el pre-proceso	Por ruptura de tuberías, mangueras o válvulas durante la preparación del <i>blending</i> o mezcla acondicionada	Impacto a la calidad del suelo y aguas subterráneas
	M	Incumplimiento de los criterios de composición del <i>blending</i>	Por errores en la preparación de la mezcla o en el análisis de la mezcla preparada.	Alteración de la calidad del clinker. Afectación del aire por alteración de las emisiones resultantes del proceso de fabricación de cemento

Tipo: (A) De probabilidad de ocurrencia alta (M) De probabilidad de ocurrencia media (B) De probabilidad de ocurrencia baja

ELABORACIÓN: PROPIA

Los impactos inducidos por las emisiones al aire de gases de escape de los vehículos y el ruido generado por su circulación no serán valorados en este proyecto dado que forman parte del proceso del proyecto de vía de comunicación (autopistas, carreteras). Además, el volumen de tráfico de camiones cabezales con cisternas del residuo sería mínimo en relación con el volumen global de una vía.

#### **3.2.4 Impactos en el co-procesamiento**

La identificación y evaluación de impactos en el co-procesamiento se realizó a partir de la comparación entre las emisiones de gases emitidos por las chimeneas de ambos hornos bajo la Situación de Línea Base (en ausencia del proyecto), como punto de partida, y las emisiones medidas durante el desarrollo de actividades de co-procesamiento en uno de los hornos.

Se consideró que al recibir un lote de aguas de sentina el peor escenario sería, en términos de impactos en emisiones, que el mismo contenga en su mayoría aceite usado. Lo anterior puesto que el aceite, como elemento contaminante

en la mezcla que conforma el residuo, podría ser la fuente de metales pesados a emitirse por la chimenea.

La Tabla 22 presenta el resumen de los resultados de las mediciones de emisiones presentados en el Apéndice 14 del presente estudio, donde se presentan los valores medio diarios de las emisiones registradas por el sistema CEMS (Continuous Emission Monitoring System) y/o las mediciones puntuales realizadas en la Planta Cerro Blanco durante un mes de muestreo en operación compuesta, bajo las condiciones normales europeas de presión y temperatura CNPT (0°C y 1 atm) y a 7% de O<sub>2</sub>. Cabe recalcar que los valores presentados no son valores oficiales, ni han sido validados por los especialistas en el tema.

**TABLA 22**  
**RESUMEN DE LAS EMISIONES MEDIDAS POR LAS**  
**CHIMENEAS DE LOS HORNOS VS. LÍMITES**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Situación de Línea Base</b>	<b>Con el proyecto</b>	<b>Límite máximo</b>
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	999	822	3000
NOx	mg/Nm <sup>3</sup>	1335	1303	1800
PST	mg/Nm <sup>3</sup>	34.45	36.91	150
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	202	255	800
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	0.754	1.384	70
Sb+As+Se+Ni+Mn	mg/Nm <sup>3</sup>	< 0.0229	< 0.0215	0.7

Parámetro	Unidad	Situación de Línea Base	Con el proyecto	Límite máximo
Pb+Cr+Zn	mg/Nm <sup>3</sup>	< 0.0450	< 0.0326	0.7
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	0.0034	0.0028	0.07
Cd	mg/Nm <sup>3</sup>	< 0.0005	< 0.0003	0.07
PCDD & PCDF	ng EQT/Nm <sup>3</sup>	< 0.0006	< 0.0008	0.2

ELABORACIÓN: PROPIA

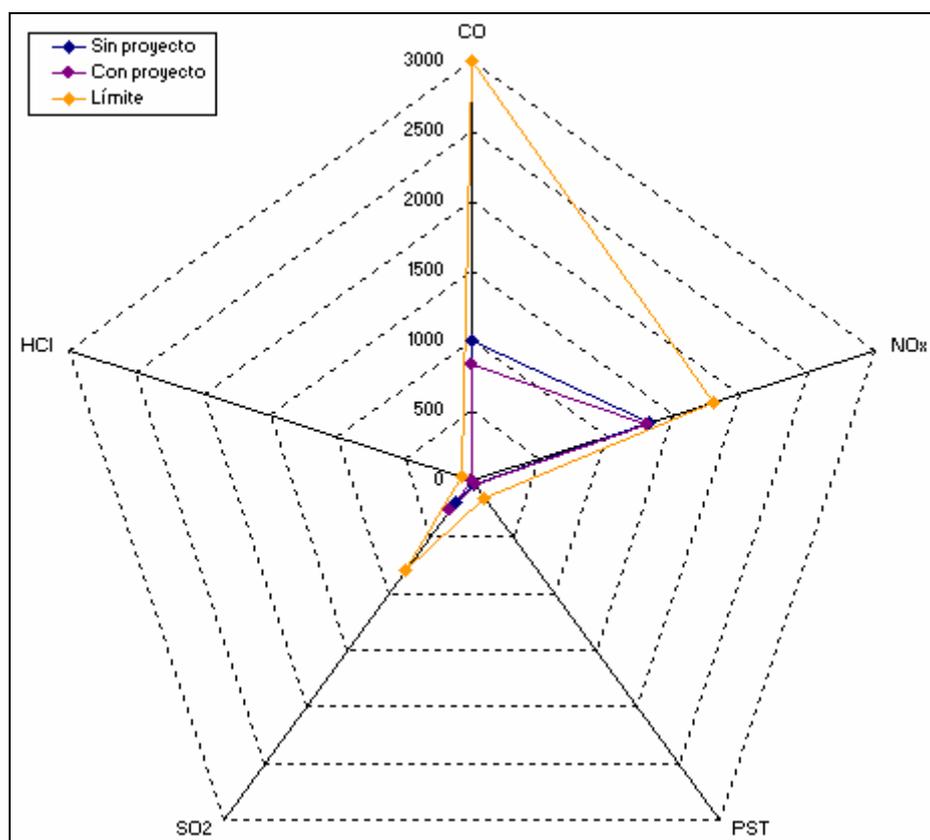
FUENTE: Informe preliminar de mediciones de Lab. ABC  
Cuestionario PEP de Holcim

FIGURA 3.1 GRÁFICO RADIAL DE LAS EMISIONES DE CO, HCl, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> Y PST

Gráficamente, es posible deducir que bajo ninguna de las dos alternativas planteadas (con o sin el proyecto) las emisiones generadas por la chimenea, para los parámetros graficados,

se acerca al límite máximo permisible, sea para los parámetros de NO<sub>x</sub>, PST y SO<sub>2</sub>, regulados por el TULAS, como para los parámetros de HCl y CO, regulados por la norma ambiental mexicana NOM-040-ECOL-2002.

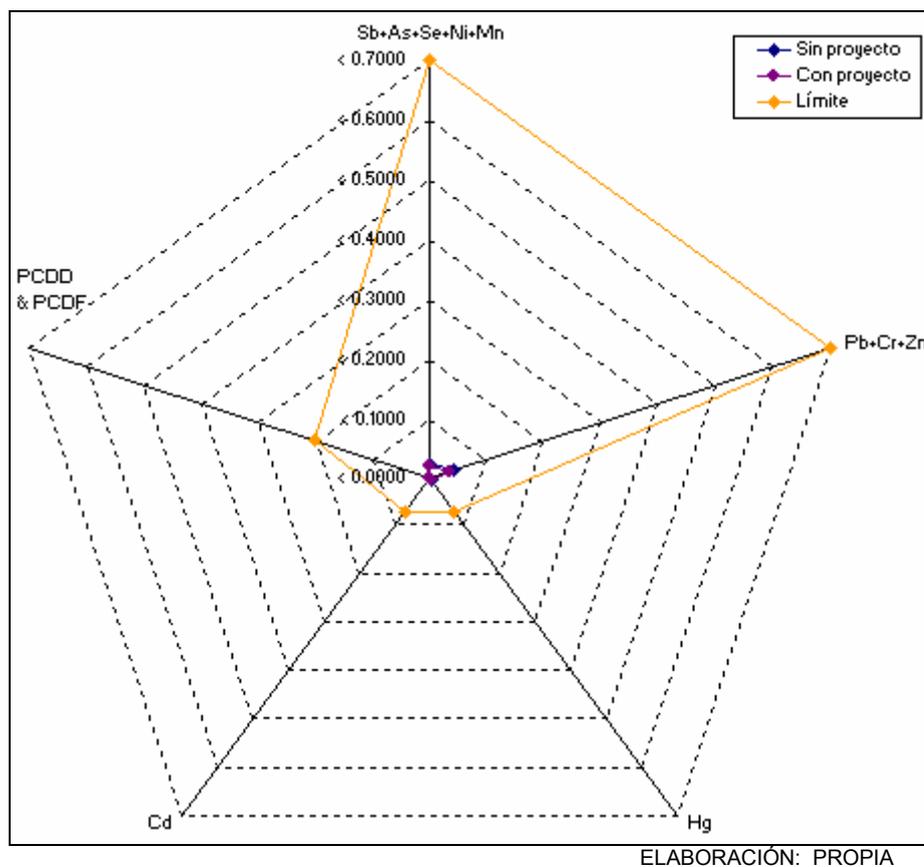


FIGURA 3.2 GRÁFICO RADIAL DE LAS EMISIONES DE METALES PESADOS Y DIOXINAS Y FURANOS

En relación a las mediciones de metales pesados y dioxinas y furanos, presentadas en la Figura 3.2, la situación es similar. La inyección de aceite usado por el quemador del horno no

genera un impacto o influencia significativa y en comparación con los límites máximos establecidos por la NOM-040-ECOL-2002, los valores registrados en la planta Cerro Blanco están muy por debajo de los límites permisibles.

Por lo anterior, desde la perspectiva ambiental, la ejecución del proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina es factible, siempre que se continúen las mediciones de las emisiones, para garantizar el cumplimiento de la ley.

### **3.3 Manejo Ambiental**

#### **3.3.1 Política para la gestión ambiental de las aguas de sentina**

La Política Ambiental propuesta para el desarrollo del proyecto de co-procesamiento de las aguas de sentina pretende establecer objetivos ambientales considerando requisitos ambientales y la información relativa a los impactos ambientales significativos que generarán las actividades del proyecto.

Por otro lado, la política pretende contribuir a la minimización de los impactos ambientales y sociales negativos significativos, evitar censuras públicas por responsabilidad

ante eventos ambientales, y responder oportunamente a las preocupaciones de las partes interesadas. Es así que, en concordancia con la Política AFR del Grupo Holcim, el objetivo al co-procesar aguas de sentina será:

**TABLA 23**  
**POLÍTICA AMBIENTAL**

Criterios de Sostenibilidad	<p>I. Actuar como colaborador de la sociedad, ofreciendo una solución para la gestión del residuo</p> <p>II. Mantener el medio ambiente seguro</p> <p>III. Añadir valor al negocio principal de la planta Cerro Blanco</p>
Qué hacer	<p>IV. Asegurar la salud y seguridad laboral del personal manejando el residuo</p> <p>V. Garantizar la calidad del clinker y cemento</p>
Cómo hacerlo	<p>VI. Respetando las disposiciones vigentes y promoviendo las mejores prácticas del Grupo Holcim</p> <p>VII. Midiendo y controlando las entradas, el proceso, los productos y las emisiones</p> <p>VIII. Comunicando de forma transparente</p>

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: Holcim AFR Policy

Recordando que el objetivo ulterior del proyecto es contribuir al compromiso de la planta de cemento para con el desarrollo sostenible del país, lejos de causar impactos negativos con la

ejecución del proyecto, la política exige el manejo del residuo se realice de manera que se eviten derrames y lixiviación y se limiten, a niveles razonablemente aceptables, las emisiones, la dispersión de polvo, los olores y el ruido.

Para garantizar la seguridad y salud laboral de las personas manejando el residuo, el compromiso es proporcionar a todos los empleados relacionados con el proyecto las medidas preventivas necesarias para el efecto tales como información, equipos, formación, controles, procedimientos, vigilancia de la salud, diseño de instalaciones y planes de emergencia.

En términos de control, la política exige el conocimiento previo de las propiedades físico-químicas de los lotes de residuo que entran a la planta, con especial atención en los metales volátiles y lixiviables. El apartado 4.1.2 presenta los criterios aplicables para la aceptación de las aguas de sentina. El incumplimiento de alguno de los criterios mencionados no significa un rechazo inmediato del lote, al poderse considerar la opción de realizar mezclas de materiales a fin de obtener un material acondicionado.

Adicionalmente, se implica la introducción del residuo en los puntos de alimentación adecuados, supervisando las condiciones técnicas de la planta que influyen en las emisiones, la calidad del producto y en la capacidad de producción. El control de las emisiones se haría según la norma corporativa ***“Emission Monitoring & Reporting”*** (EMR).

### **3.3.2 Medidas necesarias para la prevención y mitigación de impactos**

Las medidas de prevención y mitigación tienen el objetivo de evitar, disminuir, reducir o eliminar los impactos ambientales negativos que poseen un alto potencial de ocurrencia a lo largo de las etapas de la gestión y co-procesamiento del residuo.

Las Tablas 24 y 25 presentan una adaptación, según los requerimientos del proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina, de los ***Cronogramas de Implementación de Medidas de Manejo Ambiental*** propuestos por la empresa consultora Efficáctas en los Estudios de Impacto Ambiental para las Actividades de Gestión y Co-procesamiento de

Residuos en la planta Cerro Blanco presentado a la AAAr. La Tabla 24 se refiere a las medidas ambientales para la prevención y mitigación de impactos causados por las actividades de gestión de las aguas de sentina, mientras que la Tabla 25 se refiere a las medidas aplicables a las actividades de co-procesamiento. Las tablas, adicional al listado y categorización de las medidas ambientales sugeridas, incluyen el costo asociado a la ejecución de las medidas y el tiempo de ejecución de las medidas. El consolidado de la columna de costos será un elemento constituyente del costo ambiental del proyecto, a calcularse en el apartado 3.4.

**TABLA 24**

**MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS CAUSADOS  
POR LAS ACTIVIDADES DE GESTIÓN DE LAS AGUAS DE SENTINA**

<b>No</b>	<b>Categoría General</b>	<b>Tema Específico</b>	<b>Medida Ambiental</b>	<b>Descripción de la Medida</b>	<b>Rango de Costo de Medidas (US\$)</b>	<b>Tiempo de Ejecución de Medida</b>
1.	Gestión Ambiental	Política de Gestión Ambiental	Elaboración de Planes de Gestión Ambiental	Se dispondrá de una Política de Gestión Ambiental, la cual servirá de guía para elaborar los planes de gestión ambiental. Estos planes incluirán medidas para el manejo del residuo.	Administrativo	4 meses
2.	Gestión Ambiental	Auditorías Ambientales	Auditorías Ambientales Internas de Cumplimiento	Asignación de presupuesto y programación de Auditoría Ambiental Interna conforme lo descrito en el R <sub>LG</sub> A PCCA.	Dependerá del Alcance de la Auditoría US\$ (8 000 – 10 000)	Primera auditoría un año después de aprobado el EIA. Las siguientes de manera bianual
3.	Plan de Medidas de Prevención y Mitigación	Aguas Residuales	Manejo de descargas líquidas de laboratorio	Para el manejo de los efluentes y residuos líquidos, provenientes de las actividades de laboratorio se deberá considerar la incorporación de los efluentes en el proceso de co-procesamiento.	Administrativo	Durante vida útil del proyecto

No	Categoría General	Tema Específico	Medida Ambiental	Descripción de la Medida	Rango de Costo de Medidas (US\$)	Tiempo de Ejecución de Medida
4.	Plan de Manejo de Desechos Gestionados	Manejo de desechos peligrosos	Cumplimiento de la Legislación Ambiental Ecuatoriana	<p>Se deberá cumplir con los lineamientos establecidos en la Legislación Ambiental Ecuatoriana para el manejo de desechos peligrosos, entre los que se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos Libro VI De la Calidad Ambiental (RPCCDP).</li> <li>▪ Ordenanza que Reglamenta la Recolección, Transporte y Disposición Final de los Aceites Usados, expedida el 11 de Septiembre del 2003.</li> <li>▪ Normas INEN 2266 y 2288.</li> </ul>	Administrativo	Durante vida útil del proyecto
5.	Plan de Manejo de Desechos Gestionados	Manejo de desechos peligrosos	Requerimientos generales	<p>Durante el manejo de las aguas de sentina, se deberá verificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la planta de cemento, previa inyección del residuo.</li> <li>▪ Para la caracterización del residuo se deberá considerar lo establecido en el Art. 73 del R<sub>LGA</sub>PCCA<sup>2</sup>, sobre las prácticas de laboratorio para la realización de los análisis, además de los requerimientos a los laboratorios.</li> </ul>	Prácticas de manejo	Durante vida útil del proyecto

<sup>2</sup> R<sub>LGA</sub>PCCA: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental; Libro VI De la Calidad Ambiental. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. D.E. 3399 R.O. 725, Diciembre 16, 2002 & D.E. 3516 R.O. Edición Especial N° 2, Marzo 31, 2003.

No	Categoría General	Tema Específico	Medida Ambiental	Descripción de la Medida	Rango de Costo de Medidas (US\$)	Tiempo de Ejecución de Medida
				<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Implementación de normativas nacionales y buenas prácticas operacionales.</li> </ul>		
6.	Plan de Manejo de Desechos Gestionados	Transporte de desechos peligrosos	Cumplimiento de la Legislación Ambiental Ecuatoriana, referente al transporte de los desechos peligrosos.	<p>Se deberá verificar que la empresa encargada de las actividades de transportación de las aguas de sentina, cumpla con lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estar constituida legalmente, disponiendo de la licencia ambiental requerida por la Unidad Técnica del Ministerio del Ambiente para el transporte de los desechos peligrosos.</li> <li>▪ Normativa de Desechos Peligrosos.</li> <li>▪ Norma Técnica INEN 2266, respecto al Transporte, Almacenamiento y Manejo de Productos Químicos.</li> <li>▪ Regulaciones para Transporte de Carga Peligrosa y Sustancias Peligrosas, establecidas por la M.I. Municipalidad de Guayaquil y los lineamientos establecidos por el Ministerio del Ambiente, para las actividades de transportación de los desechos peligrosos.</li> </ul>	Administrativo (Indirecto)	Durante vida útil del proyecto

No	Categoría General	Tema Específico	Medida Ambiental	Descripción de la Medida	Rango de Costo de Medidas (US\$)	Tiempo de Ejecución de Medida
7.	Plan de Manejo de Desechos Gestionados	Medidas de Salud y Seguridad Laboral	Procedimientos básicos	<p>Se realizarán las operaciones considerando procedimientos de seguridad. Entre los procedimientos están:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seguridad en el puesto de trabajo</li> <li>▪ Prevención de accidentes</li> <li>▪ Manejo de los Desechos Peligrosos</li> <li>▪ Equipo de Protección Personal</li> <li>▪ Primeros Auxilios</li> </ul>	Administrativo US\$ 5 000 (capacitación)	Durante vida útil del proyecto
8.	Plan de Contingencias	Contingencia ante incendios, explosiones, desastres naturales o amenazas de explosión	Simulacros de evacuación	<p>Se deberá:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disponer de Planes de contingencias que faciliten la ejecución de procedimientos y actividades en caso de posibles eventualidades y/o accidentes durante las acciones de manejo del residuo.</li> <li>▪ Realizar simulacros de los planes de contingencias y en especial simulacros de evacuación de las instalaciones, en caso de eventualidades.</li> </ul>	Administrativo	Una vez al año, durante vida útil del proyecto
9.	Plan de Relaciones Comunitarias	Relaciones comunitarias	Establecimiento de políticas y actividades	Se deberá establecer las políticas, líneas de acción y actividades a ejecutarse como parte del plan de relaciones comunitarias.	Administrativo	Una vez al año, al inicio del proyecto
10.	Plan de Monitoreo	Registros	Elaboración e Implementación	Se deberá llevar registros de cualquier incidente o accidente que involucre el	Administrativo	Durante vida útil del proyecto

No	Categoría General	Tema Específico	Medida Ambiental	Descripción de la Medida	Rango de Costo de Medidas (US\$)	Tiempo de Ejecución de Medida
	Ambiental y Registros		de registros	<p>manejo del residuo co-procesado. Los principales eventos a ser registrados serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Derrames</li> <li>▪ Principio de incendio.</li> </ul>		
11.	Plan de Monitoreo Ambiental	Descarga de Efluentes Industriales	Monitoreo de Efluentes Industriales	En caso de que se genere efluentes industriales, previo a su descarga al sistema de alcantarillado sanitario del sector o cuerpo de agua cercano se deberá proceder a la realización de acciones de monitoreo.	US\$ 750 /muestra	El DMA de la Municipalidad de Guayaquil, determinará la frecuencia de las actividades de monitoreo.
12.	Plan de Monitoreo Ambiental	Calidad de Aguas Subterráneas	Monitoreo de Aguas Subterráneas	<p>El monitoreo de las aguas subterráneas se deberá realizar en el caso de eventualidades o accidentes que involucren un derrame del residuo.</p> <p>A fin de verificar las condiciones del agua subterránea del sector donde se asientan las instalaciones, se podrá también ejecutar monitoreos semestrales o anuales en pozos de agua subterránea cercanos a la instalación.</p>	US\$ 600 /muestra	Eventualidad / accidentes.
13.	Plan de Monitoreo Ambiental y Registros	Registros	Elaboración e Implementación de registros	<p>Se deberá registrar las cantidades del residuo co-procesadas en la planta Cerro Blanco.</p> <p>La comprobación de los registros será la</p>	Administrativo	Durante vida útil del proyecto

No	Categoría General	Tema Específico	Medida Ambiental	Descripción de la Medida	Rango de Costo de Medidas (US\$)	Tiempo de Ejecución de Medida
				<p>comparación con las cantidades reportadas en las Actas de Destrucción Térmica.</p> <p>Se mantendrá archivo de las cantidades eliminadas por al menos 5 años.</p>		
14.	Plan de Cierre del proyecto (no de instalaciones)	Plan de Cese de actividades	Implementación de medidas de término del co-procesamiento de aguas de sentina en la planta Cerro Blanco.	El Plan de cierre del proyecto contemplará una evaluación ambiental, a fin de determinar la posible afectación de los recursos naturales en el área de influencia de la instalación.	Administrativo	-

FUENTE: Eficiencia Energética y Ambiental Eficácitas Consultora Cía. Ltda..

**TABLA 25**

**MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS CAUSADOS  
POR EL CO-PROCESAMIENTO DE LAS AGUAS DE SENTINA**

<b>No.</b>	<b>Categoría General</b>	<b>Tema Específico</b>	<b>Medida Ambiental</b>	<b>Descripción de la Medida</b>	<b>Rango de Costo de Medidas (US\$)</b>	<b>Tiempo de Ejecución de Medida</b>
1.	Plan de Medidas de Prevención y Mitigación	Emisiones al aire y Proceso	Mitigación de emisión de dioxinas y furanos	Medidas para mitigación de emisiones de dioxinas y furanos <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantener temperatura de filtros de mangas debajo de 200°C</li> <li>▪ Mantener temperaturas dentro de horno arriba de 1000°C</li> <li>▪ Mantener temperaturas estables</li> <li>▪ Suspendir la operación de inyección de materiales durante períodos de parada o arranque de operaciones de las líneas de producción de clinker.</li> </ul>	Prácticas Operativas. Costo administrativo	Durante vida útil del proyecto de co-procesamiento
2.	Plan de Medidas de Prevención y Mitigación	Emisiones al aire y Proceso	Especificación de composición de residuos alimentados al horno	La composición admisible de residuos alimentados al horno debe ser la definida en la sección 3.2.4	ND	Durante actividades de co-procesamiento
3.	Plan de Monitoreo Ambiental y Registros	Emisiones al aire	Mediciones puntuales	La Dirección de la planta Cerro Blanco deberá contratar servicio externo para la realización de mediciones puntuales de los siguientes contaminantes: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</li> </ul>	US\$ 10 000 por medición	Durante vida útil del proyecto (anualmente)

No.	Categoría General	Tema Específico	Medida Ambiental	Descripción de la Medida	Rango de Costo de Medidas (US\$)	Tiempo de Ejecución de Medida
				<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Monóxido de Carbono (CO)</li> <li>▪ Partículas Totales</li> <li>▪ Carbono orgánico total (COT)</li> <li>▪ Ácido clorhídrico (HCl)</li> <li>▪ Dióxido de azufre (SO2)</li> </ul>		
4.	Plan de Monitoreo Ambiental y Registros	Emisiones al aire	Mediciones puntuales de metales y dioxinas y furanos	<p>La Dirección de la planta Cerro Blanco deberá contratar un servicio externo, que acredite experiencia en la realización de mediciones puntuales de los siguientes contaminantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Metales</li> <li>▪ Dioxinas y Furanos</li> </ul>	US\$ 50 000 por medición	Durante vida útil de proyecto de co-procesamiento (anualmente)
5.	Plan de Monitoreo Ambiental y Registros	Emisiones al aire	Medición Continua	<p>Se deberán realizar mediciones continuas de los siguientes contaminantes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Óxidos de Nitrógeno (NOx)</li> <li>▪ Monóxido de Carbono (CO)</li> <li>▪ Partículas Totales</li> <li>▪ Carbonos orgánicos totales (TOC)</li> <li>▪ Ácido clorhídrico (HCl)</li> <li>▪ Ácido fluorhídrico (HF)</li> <li>▪ Dióxido de azufre (SO2)</li> </ul>	Costo atribuible a plan de monitoreo ambiental de la Planta Cerro Blanco	Durante actividades de co-procesamiento
6.	Plan de Monitoreo Ambiental y Registros	Auditoría Ambiental	Auditoría Ambiental de actividades de co-procesamiento	Se deberá contratar la realización de una auditoría ambiental, con el objetivo verificar la implementación de las diferentes actividades del plan de manejo ambiental, así como proveer una actualización con el marco legal	US\$ (6 000 – 7 000) por auditoría	Durante actividades de co-procesamiento Primera auditoría luego

No.	Categoría General	Tema Específico	Medida Ambiental	Descripción de la Medida	Rango de Costo de Medidas (US\$)	Tiempo de Ejecución de Medida
				ambiental, esto cuando el caso lo requiera.		del primer año de implementación del proyecto. Luego, una auditoría cada dos (2) años.

FUENTE: Eficiencia Energética y Ambiental Eficácitas Consultora Cía. Ltda..

### 3.4 Costo Ambiental

En cumplimiento con los requisitos de estudios y permisología presentados en el apartado 3.1.2 y con las medidas para la prevención y mitigación de impactos ambientales negativos, el costo ambiental del proyecto se obtendría según se muestra en la Tabla 26 presentada a continuación.

**TABLA 26**  
**COSTO AMBIENTAL DEL PROYECTO**

Tipo	Nombre	Costo total para el proyecto de co-procesamiento [US\$]	% del costo atribuible al proy. de aguas de sentina	Costo legal-ambiental del proyecto de aguas de sentina [US\$]
Valores únicos	Obtención de Licencia Ambiental:			
	▪ Realización de EIA (consultora)	8000.00	21%	1658.84
	▪ Revisión de EIA (por AAAr)	200.00	21%	41.47
	▪ Tasa por Otorgamiento de Licencia Ambiental	1248.00	12 %	155.28
	Obtención de Matrícula como Empresa de Servicios Complementarios	N/A	N/A	160.00
Anualidades	Acciones para el cumplimiento del PMA:			
	▪ Para el primer año	66350.00	21%	13758.04
	▪ Anual recurrente	73350.00	21%	15209.52
	Tasa de Seguimiento y Monitoreo del PMA	1200.00	21%	248.83

Tipo	Nombre	Costo total para el proyecto de co-procesamiento [US\$]	% del costo atribuible al proy. de aguas de sentina	Costo legal-ambiental del proyecto de aguas de sentina [US\$]
	Prima de póliza de seguros como Garantía por daños ambientales para enfrentar posibles incumplimientos del PMA (considerando una tasa de 4%)	2934.00	21%	608.38
	Derechos anuales (mtto. Matrícula como ESC)	N/A	N/A	160.00
	<b>Total Costo Ambiental para el primer año</b>			<b>16630.84</b>
	<b>Total Costo Ambiental anual recurrente calculado</b>			<b>16226.73</b>

ELABORACIÓN: PROPIA

Los valores a pagar para la obtención de la licencia ambiental son valores de cancelación única, al inicio del proyecto. Dado que los valores a cancelar por la realización y revisión del EIA al igual que los de las medidas a implementar para mitigar los impactos ambientales identificados en las tablas 24 y 25 de este capítulo, corresponden a la gestión y co-procesamiento de múltiples corrientes de residuos industriales, únicamente se ha atribuido al proyecto de aguas de sentina un 20.74% del costo total calculado. Lo anterior dado que, dentro del análisis del desarrollo del proyecto completo de co-procesamiento, en términos de volumen las aguas de sentina apenas corresponden el 20.74% del total de residuos a manejar en el año 1.

Respecto a la Tasa por Otorgamiento de Licencia Ambiental , la misma corresponde al 0.1% del costo total del proyecto de co-procesamiento (inversión), el mismo que fue valorado en US\$ 2148000. No obstante, según el cálculo de las inversiones para los sistemas de sólidos, líquidos y lodos, el sistema de manejo de líquidos corresponde al 30% del total de la inversión. Adicionalmente, dado que el volumen de aguas de sentina a manejar corresponde, en promedio para los 5 años analizados, al 41% del total de líquidos a manejar, el porcentaje del costo total del proyecto atribuible al proyecto de aguas de sentina es el 12.44%, en términos de inversión.

El valor a pagar como costo de la Garantía por daños ambientales para enfrentar posibles incumplimientos del Plan de Manejo Ambiental (PMA) fue fijado en un 4% del valor que cubre la póliza de seguros, el mismo que corresponde al 100% del costo anual recurrente calculado por la implementación de las medidas del PMA.

Respecto a la Tasa de Seguimiento y Monitoreo del PMA, según la Ordenanza para Otorgamiento de Licencias Ambientales, la misma se calculó así:

$$\boxed{Tasa\ de\ Seguimiento\ y\ Monitoreo = 100 \times t \times D \times T}$$

donde,

100 = Cien dólares americanos

t = número de técnicos asignados al seguimiento (1)

D = número de días requeridos (se supuso un promedio de 3 días)

T = trimestres del año a monitorear (se asumió un escenario en que la AAAr decide monitorear los cuatro trimestres del año).

La Matrícula como Empresa de Servicios Complementarios (ESC) tiene validez por 5 años, por lo que el valor pago en el primer año, deberá volver a cancelarse en el año 6, luego del inicio del proyecto. No obstante, los derechos anuales por concepto de mantenimiento de la Matrícula como ESC son del mismo valor que el pago inicial, por lo que este rubro se considerará únicamente como una anualidad a partir del año 2.

# **CAPÍTULO 4**

## **4. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA**

### **4.1 Co-procesamiento de aguas de sentina**

El objetivo de esta sección es cuantificar los impactos del residuo sobre el proceso de fabricación de clinker, identificar las medidas necesarias para compensar o aliviar los impactos encontrados, y consolidar los costos asociados a los impactos negativos con los beneficios asociados a los impactos positivos, a fin de identificar la factibilidad del proyecto desde su perspectiva técnica.

#### **4.1.1 Evaluación del impacto del residuo en los hornos cementeros**

##### **Diagnóstico Inicial**

Previo a la evaluación de los impactos del residuo sobre el proceso de fabricación de clinker, es conveniente partir del diagnóstico inicial de los límites técnicos de los hornos de la planta Cerro Blanco. Este diagnóstico permitirá identificar el potencial técnico de cada horno para el co-procesamiento del

residuo. El Apéndice 15 muestra los resultados del análisis llevado a cabo en el año 2004 para este efecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de ambos hornos, la Tabla 27 resume sus principales limitantes técnicos así como sus causas de origen o razones que hacen de las condiciones enumeradas, cuellos de botella:

**TABLA 27**  
**CUELLOS DE BOTELLA DE LOS HORNOS**

<b>Cuello de Botella</b>	<b>Causas/Razones/Efectos</b>
Probabilidad inminente de taponamientos del ciclón 3 (sólo para el H1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Altas temperaturas de salida del calcinador (a veces superiores a 900°C)</li> <li>▪ Perfil de temperaturas muy alto en el precalentador con inyección de agua por el down comer</li> <li>▪ Tendencia de sobrecalentar el sistema (grado de calcinación aparentemente alto) con un bajo nivel de cal libre,</li> <li>▪ Fomento de la condensación de elementos críticos por la introducción de aire falso durante las limpiezas de la recámara,</li> <li>▪ Entrada alta de azufre a través del coque de petróleo</li> </ul>
Impulsión axial específica de operación del quemador de solo 5.8 N/MW para el H1 y 6.5 N/MW para el H2 (sólo aire axial, central, radial)	Dada la utilización de coque de petróleo, la impulsión axial específica de operación del quemador recomendada es 10 N/MW.

Cuello de Botella	Causas/Razones/Efectos
Instrumentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Falta de medición de temperatura en la entrada del horno,</li> <li>▪ La medición de temperatura de la harina caliente en el ciclón 5 está constantemente inactiva dado el frecuente deterioro de las termocuplas (especialmente en el H1)</li> </ul>
Atmósfera polvosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mineralización del clinker y baja producción de cal libre</li> <li>▪ Incremento del polvo de clinker debido al cambio de combustible de carbón a coque de petróleo</li> <li>▪ <i>Efecto:</i> diagnóstico pobre de la zona de quemado y de la distribución del aire para el enfriamiento del clinker</li> </ul>
Equipo de dosificación de AFR	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es una instalación pequeña, de prueba</li> <li>▪ Condiciones pobres de almacenamiento, mezclado y dosificación.</li> </ul>

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Technical AFR Assessment Cerro Blanco, HGRS

En contraparte, la Tabla 28 hace referencia a las condiciones potenciales para la utilización de AFR, y en este caso, de las aguas de sentina.

**TABLA 28**  
**CONDICIONES POTENCIALES PARA EL CO-PROCESAMIENTO DE**  
**AGUAS DE SENTINA**

Potenciales	Causas/Razones/Efectos
Combustión del quemador del horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO en la entrada del horno aceptablemente bajo, &lt; 50 ppm</li> <li>▪ O<sub>2</sub> en la entrada del horno suficientemente alto (alrededor de 5.7% en H1 y 4.6% en H2)</li> <li>▪ Alta fijación del azufre en el clinker ⇒ baja volatilidad (sólo 30% en H1 y 40% en H2)</li> </ul>

Potenciales	Causas/Razones/Efectos
Quemabilidad de la harina cruda	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suficiente fase líquida a 1450°C (alrededor de 25.3%) con contenido de flúor de 0.3% en el clinker</li> <li>▪ Alta finura de la alimentación: 13.5% de residuo a 90 mm y 1% de residuo a 200 mm</li> </ul>
Sistemas de horno con precalcinadores en línea (con cámara de combustión en H1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La combustión en aire puro es favorable para la ignición del 100% del coque de petróleo</li> <li>▪ Tiempo de retención de gases de 6.3 seg en H1 y 6.8 seg en H2, suficiente para la utilización del residuo</li> </ul>
Cubierta del quemador	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La presencia de tubos concéntricos en el quemador permiten la inyección de otros 2 materiales, además del coque, por el quemador del horno.</li> </ul>
Entradas bajas de CI	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los ingresos bajos de CI al sistema y la presencia insignificante de CI en la harina caliente generan un gran potencial para la inyección de aguas de sentina (entradas adicionales de CI)</li> </ul>
Reserva en el flujo de gases	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Todavía hay una reserva suficiente en el ventilador principal, para la utilización adicional del residuo</li> </ul>

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Technical AFR Assessment Cerro Blanco, HGRS

Dados los resultados anteriores, las tasas de sustitución (TSR) potenciales del requerimiento de energía térmica para el sistema por la energía que aportan las aguas de sentina, se muestran en la tabla a continuación.

TABLA 29

## TASAS DE SUSTITUCIÓN TÉRMICA MÁXIMAS

Ptos de inyección	TSR[%]
Quemador del horno	100% del consumo térmico de la zona de quemado
Entrada del horno	15% del consumo total de energía térmica
Precalcinador	100% del consumo térmico del precalcinador

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Technical AFR Assessment Cerro Blanco, HGRS

**Evaluación de los impactos del residuo sobre el proceso**

En el marco de la valorización de residuos como combustibles alternativos, las aguas de sentina se denominan “**combustibles de bajo grado**” (CBG) por su alto contenido de agua y bajo poder calorífico cuando la mezcla contiene una humedad superior al 10%. Su inyección al proceso genera impactos, sean éstos visibles o no. Si es alimentado en pequeñas dosis, puede suceder que los efectos no puedan ser medidos con precisión, o que el efecto desaparezca por entre las fluctuaciones normales del proceso. La figura 4.1 muestra las cadenas lógicas de posibles impactos a generarse por las aguas de sentina.

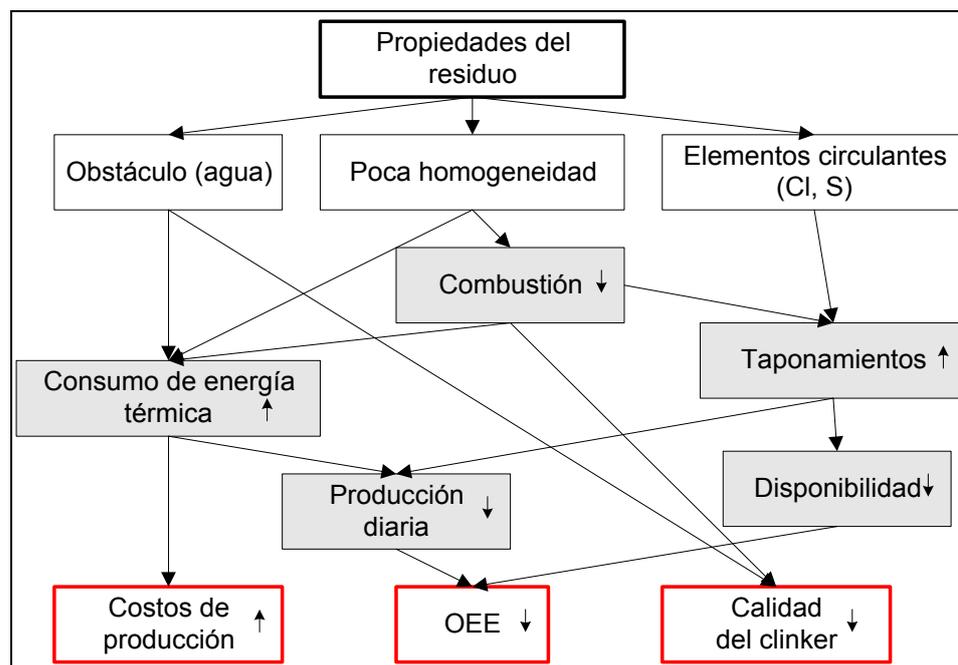


FIGURA 4.1 CADENA LÓGICA DE IMPACTOS DEL RESIDUO

FUENTE: Holcim Low Grade Fuel Study

Dado el esquema anterior los **impactos debido a la presencia de agua en el residuo y el incremento del nivel de oxígeno en el proceso**, se calcularon en el Apéndice 16 según los factores presentados en la tabla siguiente.

TABLA 30

FACTORES DE IMPACTO DE LOS CBGs

Factor	Impacto en el consumo calorífico		Impacto en la capacidad de producción		Factor máximo posible por enfriamiento de temperatura de llama principal	
	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor
H <sub>2</sub> O	GJ/t H <sub>2</sub> O	2.15*	t cli/ t H <sub>2</sub> O	2.0	t H <sub>2</sub> O/t cli	0.042

Factor	Impacto en el consumo calorífico		Impacto en la capacidad de producción		Factor máximo posible por enfriamiento de temperatura de llama principal	
	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor
Nivel de O <sub>2</sub>	% q/% O <sub>2</sub>	1.8	% cap/% O <sub>2</sub>	5.7**	% incr. O <sub>2</sub>	5

\* Cuando el agua está incluida en el cálculo del PCN del combustible

\*\* Incremento de oxígeno luego de la última adición de combustible.

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Holcim Low Grade Fuel Study

El análisis de los impactos del residuo parte de tres escenarios: uno optimista, donde la mayoría del residuo es aceite, otro pesimista, donde más del 50% del residuo es agua; y el escenario más común (la media) donde aproximadamente el 18% del residuo es agua.

En combinación lineal del poder calorífico común de un aceite usado con los porcentajes de humedad y cenizas en el residuo, se estimó el poder calorífico (PC) neto del residuo, a partir del cual se calculó la tasa de sustitución térmica (TSR) para el proceso, de acuerdo a una tasa de alimentación del residuo impuesta como mínima posible para poder cubrir la demanda semanal actual del servicio de co-procesamiento de residuos líquidos y al menos un tanquero de aguas de sentina por semana (% inicial de mercado a captar).

La Tabla 31 muestra las TSR calculadas para los escenarios analizados versus las TSR máximas aplicando la regla de homogeneidad que indica que la fluctuación del aporte energético del residuo (%) por la TSR (%) debe ser menor a 100% para evitar impactos negativos en la capacidad de producción.

**TABLA 31**  
**COMPARATIVO TSR CALCULADA VS. TSR MÁXIMA**  
**PARA EVITAR IMPACTOS NEGATIVOS EN PRODUCCIÓN**

<b>Escenario</b>	<b>Fluctuación PC [%]</b>	<b>TSR calculada [%]</b>	<b>TSR máxima [%]</b>
Humedad 1.9%	0.1	9.2	100
Humedad 18.4%	6.0	7.6	16.7
Humedad 53.0%	28.4	4.1	3.5

ELABORACIÓN: PROPIA  
FUENTE: IMPACTOS CALCULADOS EN APÉNDICE 16

Si las fluctuaciones son altas, como en el caso del *peor escenario*, donde la humedad del residuo llega al 53%, el impacto en el desempeño del horno se vuelve sensible; el residuo es muy variable, y al ser alimentado al final del horno donde el tiempo de respuesta ante variaciones en el proceso es casi nulo, los resultados son pérdidas de producción (114 ton cli/día). Para una humedad de 18.4% en el residuo

(escenario común), aunque la TSR calculada no llega a superar la máxima posible, el incremento del nivel de O<sub>2</sub> en el proceso dada la combustión del residuo genera una pérdida de 1.84 ton cli/ton residuo, un impacto considerable. Lo anterior hace pensar en la separación del agua y el aceite como una alternativa para reducir la pérdida de la capacidad de producción dada la inyección del residuo.

Para evaluar la capacidad del proceso para soportar **impactos generados por elementos circulantes** se realizó un Balance Álcali – Cloro – Azufre del proceso de fabricación de clinker para ambos hornos dada la situación actual, los cuales se muestran en el Apéndice 17 de este estudio. La Tabla 32, presentada a continuación, resume los resultados de dicho balance.

**TABLA 32**

**EVALUACIÓN DEL BALANCE ÁLCALI-AZUFRE-CLORO**

<b>Resultados principales</b>	<b>Horno 1</b>	<b>Horno 2</b>	<b>Límite</b>
Cl “calculado” en clinker	155 g/t cli	169 g/t cli	<200-300
Azufre en el clinker	1.69% SO <sub>3 cli</sub>	1.26% SO <sub>3 cli</sub>	<1.5
Rel. Alk/SO <sub>3</sub> en clinker	0.39	0.43	0.8 - 1.2
Entrada “relevante” de Cl	155 g/t cli	169 g/t cli	<300
Volatilidad del Azufre	0.52	0.64	<0.7

ELABORACIÓN: PROPIA

De acuerdo a los balances realizados, la utilización de coque de petróleo como combustible genera una entrada significativa de azufre, el cual en presencia de álcalis en la harina cruda logra ser capturado para luego fijarse en el clinker. Por la inyección de más del 50% del combustible por la cámara de combustión/precalcinador ya en la harina caliente se evidencia una concentración de  $\text{SO}_3$  de 3.5%, lo que hace que el proceso de precalentamiento sea bastante complejo por la formación frecuente de incrustaciones en el precalentador. Para combatir este efecto, los precalentadores de la planta Cerro Blanco tienen instalados una serie de cañones de aire que disparan cada cierto tiempo chorros de aire comprimido para limpiar el sistema. Ésto ya se ha vuelto una práctica común, por lo que se puede afirmar que se tiene controlados los impactos por la entrada de azufre superior a lo recomendado.

Respecto al ingreso de azufre adicional por la inyección del residuo, según los resultados de análisis presentados en el Apéndice 13, se registra un máximo de azufre de 1.84% en los lotes recibidos de aguas de sentina. Con este posible ingreso máximo de azufre, se calculó un incremento máximo

de % de  $\text{SO}_3$  en el clinker de 0.068%, por lo que se puede concluir que no existen impactos significativos por inyección de azufre al alimentar aguas de sentina.

Respecto a la presencia de cloro en el clinker, los resultados del balance indican una presencia relevante de cloro en el clinker de 155 y 169 gramos de cloro por tonelada de clinker en el horno 1 y horno 2, respectivamente. Según los estudios realizados, un sistema de hornos toleraría una presencia máxima de 300 gr de cloro por tonelada de clinker, por lo que hay una brecha de 145 y 131 gramos de cloro por tonelada de clinker que podrían alimentarse dada la inyección de aguas de sentina, sin causar impactos negativos en horno 1 y horno 2, respectivamente.

Diariamente un horno de la planta Cerro Blanco produce aproximadamente 3000 toneladas de clinker. Es decir, según lo calculado anteriormente, por día sería factible inyectar hasta 414 kgs de cloro en las aguas de sentina, por día.

Con lo anterior, se puede calcular la cantidad máxima de aguas de sentina a inyectar por día ( $Q_{Smax}$ ), según su contenido de cloro, dada la siguiente fórmula:

$$Q_{Smax} \left[ \frac{\text{ton residuo}}{\text{día}} \right] = \frac{Q_{Clmax} [\text{kg Cl / día}]}{\text{Concentración Cl} [\text{mg / kg}]} \times 1000$$

donde,

$$Q_{Clmax} = (300 - \text{Ent. relevante de Cl}) [\text{g / t cli}] \times \text{producción} [\text{t cli / día}]$$

Por ejemplo, para un lote con una concentración de Cl de 1.21% (12100 mg/kg), la cantidad máxima de aguas de sentina que podría inyectarse en el horno 2, sin causar impactos en el proceso, es de 41.9 ton por día; esto es, máximo 1.75 ton/h. El valor de cloro utilizado para este ejemplo corresponde a la concentración máxima de Cl encontrada en las muestras analizadas y presentadas en el Apéndice 13, por lo que se espera que la cantidad de Cl presente en el residuo no sea una limitante para la alimentación del mismo al sistema.

#### 4.1.2 Criterios físico-químicos de aceptación

Para garantizar las operaciones de producción de clinker utilizando las aguas de sentina y mantener la tasa de

alimentación requerida para poder manejar los volúmenes previstos, regularmente se deberá analizar las propiedades físicas del residuo que permitan evaluar su potencial energético para así definir aspectos de manejo del mismo, así como su composición química para evaluar concentraciones de elementos químicos que podrían afectar el medio ambiente, el proceso o la calidad del clinker.

La Tabla 33 muestra los análisis que deberá hacerse del residuo, sea para tomar decisiones acerca del tratamiento que deberá darse al lote recibido, para llevar un registro del perfil completo del residuo, o para verificar, de hacer algún pre-proceso, que se consiguieron los resultados esperados.

**TABLA 33**  
**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS REQUERIDOS**

Parámetro	Límite permisible*	(1)	(2)	Pre-proceso requerido si se incumple el límite	(3)
PCI	30 MJ/kg	X	X	Posibilidad de separar la fracción oleosa de la acuosa para inyectar la primera por el quemador del horno (QH) y dar otro tratamiento al agua.	X
Punto de inflamación	40°C	X			
pH	4-11	X			
Viscosidad	500 cP	X		Mezcla con otro lote de residuo menos viscoso	

Parámetro	Límite permisible*	(1)	(2)	Pre-proceso requerido si se incumple el límite	(3)
Densidad	--	X			
Cl	1%**	X	X	Mezcla con otro líquido para bajar la concentración de la mezcla, o reducción de la tasa de alimentación.	X
S	4%***	X	X		X
F	--	X			
Metales:				Mezcla con otro líquido que no contenga el elemento en exceso, para bajar la concentración de la mezcla resultante	
- Cd	100 ppm	X			X
- Hg	10 ppm	X			X
- Tl	100 ppm	X			X
- As	200 ppm	X			X
- Co	500 ppm	X			X
- Ni	200 ppm	X			X
- Cr	600 ppm	X			X
- Cu	1000 ppm	X			X
- Pb	300 ppm	X			X
- Sb	1000 ppm	X			X
- Sn	200 ppm	X			X
- V	1000 ppm	X		X	
- Be	50 ppm	X		X	
- Zn	10000 ppm	X		X	
PCB's	50 ppm	X	X	El lote no podrá ser inyectado al horno. Deberá reportarse a la autoridad ambiental	X
VOC's	--	X			

\* Se refiere a límites máximos permisibles, excepto en el caso del poder calorífico y punto de inflamación, donde el límite es mínimo

\*\* Según EIA aprobado por la AAAR

\*\*\* Valor de azufre en el coque de petróleo (para no generar impactos adicionales)

(1) Para registro (2) En la recepción (3) Posterior al pre-proceso

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Holcim AFR Quality Control Manual – Holcim Low Grade Fuel Study – EIA para las actividades de co-procesamiento de residuos

De la tabla anterior cabe recalcar que se parte del conocimiento del perfil completo del residuo, donde se definió que ninguno de los elementos no analizados en la recepción de un lote es crítico (es decir, no se encuentran cerca del límite permisible) en las aguas de sentina. No obstante, si

durante el desarrollo del proyecto se llegara a definir que alguno de los elementos no analizados en la recepción es crítico, entonces deberá incluirse entre los análisis a realizar a la llegada de cada embarque.

Respecto a la viscosidad, su análisis no es necesario a la recepción del residuo, pues durante la descarga del carro tanque es factible definir si la viscosidad del residuo es tal que se requiera un acondicionamiento.

#### **4.1.3 Consumos esperados**

Según los resultados de la evaluación de los impactos del residuo en el proceso y los criterios físico-químicos de aceptación, existen las siguientes alternativas para el tratamiento del residuo:

**Alternativa A: Alimentar los lotes recibidos por los quemadores de ambos hornos, sin realizar ningún tipo de pre-proceso que mejore el poder calorífico del residuo**

De optar por esta alternativa, los consumos de aguas de sentina (AS) serían los que se presentan en la Tabla 34, según la cuantificación del mercado presentada en la Tabla

11 del presente documento. La Tabla 34 además presenta las tasas de inyección mínimas requeridas para satisfacer la demanda del co-procesamiento de aguas de sentina y otros líquidos suponiendo una disponibilidad de los hornos de un 85% para la inyección de líquidos simultáneamente en ambos hornos. También se presenta el cálculo de la capacidad de almacenamiento requerida sobre la base de la cantidad de líquido a arribar por día (recibiendo sólo de lunes a viernes) y de una necesidad de almacenamiento de 3 días como contingencia ante algún paro imprevisto de los hornos.

**TABLA 34**

**CONSUMOS ESPERADOS SEGÚN ALTERNATIVA A**

Año	Total de AS a consumir por los QH [ton]	Otros líquidos a inyectar por los QH [ton]	Total líquidos a inyectar por los QH [ton]	Tasa mín de alimen. a ambos hornos [ton/h]	Capacidad de almacen. [ton]
2006	973	2712	3685	0.25	45
2007	1992	3444	5436	0.36	65
2008	3058	4115	7173	0.48	85
2009	4170	4349	8519	0.57	100
2010	5328	4296	9624	0.65	115

ELABORACIÓN: PROPIA

**Alternativa B: Alimentar directamente aquellos lotes cuyo PCI supere los 30 MJ/kg y pre-procesar aquellos**

**que incumplan el límite para luego alimentar el aceite por los QHs y el agua por la CC del Horno 1**

Tomando los datos del Apéndice 13, la probabilidad de que un lote de aguas de sentina llegue con un poder calorífico inferior (PCI) superior a 30 MJ/kg es de 0.3; esto es, el 30% del total recibido podría ser inyectado directamente al quemador del horno, mientras que el 70% restante deberá someterse a un pre-proceso para separar la fracción acuosa de la oleosa y poder alimentar la primera al precalcinador, y la segunda al quemador del horno. Con lo anterior, a continuación se detallan los consumos esperados de aguas de sentina por ambos puntos de alimentación al sistema según la Alternativa B.

**TABLA 35**

**CONSUMOS ESPERADOS SEGÚN ALTERNATIVA B**

<b>Año</b>	<b>Total de AS a consumir [ton]</b>	<b>Total AS a inyectar a los QHs sin preproc [ton]</b>	<b>Total AS que requieren preproc. [ton]</b>	<b>Total agua a inyectar por la CC [ton]</b>	<b>Total aceite preproc a inyectar por los QH [ton]</b>
2006	973	292	681	157	524
2007	1992	598	1394	321	1074
2008	3058	917	2140	492	1648
2009	4170	1251	2919	671	2247
2010	5328	1598	3730	858	2872

ELABORACIÓN: PROPIA

Para el cálculo de las cantidades de agua y aceite que resultarían del pre-proceso de los lotes de aguas de sentina con PCIs inferiores a 30 MJ/kg se utilizó el promedio de los porcentajes de humedad presentados en el Apéndice 13 para las muestras que cumplen la condición del PCI (23%).

Con los cálculos de la Tabla 35, las tablas 36 y 37 presentan las tasas de inyección mínimas requeridas por cada punto de alimentación, así como la capacidad máxima para almacenar los líquidos que irían a tales puntos, considerando que el agua sólo se inyectaría por la cámara de combustión del horno 1.

**TABLA 36**  
**ALIMENTACIÓN AL QUEMADOR DE LOS HORNOS (QHs)**  
**– ALTERNATIVA B**

<b>Año</b>	<b>Total AS + aceite [ton]</b>	<b>Otros líquidos a inyectar [ton]</b>	<b>Total líquidos a inyectar [ton]</b>	<b>Tasa mín de alimen. a los hornos [ton/h]</b>	<b>Capacidad de almacen. [ton]</b>
2006	816	2712	3528	0.24	45
2007	1671	3444	5115	0.35	60
2008	2565	4115	6680	0.45	80
2009	3498	4349	7847	0.53	95
2010	4470	4296	8766	0.59	105

ELABORACIÓN: PROPIA

**TABLA 37**  
**ALIMENTACIÓN A LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN (CC) –**  
**ALTERNATIVA B**

<b>Año</b>	<b>Total agua de AS [ton]</b>	<b>Otros ingresos de agua [ton]</b>	<b>Total agua a inyectar [ton]</b>	<b>Tasa mín de aliment. [ton/h]</b>	<b>Capacidad de almacen. [ton]</b>
2006	157	38	195	0.03	3
2007	321	63	383	0.05	5
2008	492	87	579	0.08	7
2009	671	112	783	0.11	10
2010	858	138	996	0.13	15

ELABORACIÓN: PROPIA

Una variable a esta alternativa es encontrar un uso alternativo para el agua, para así evitar su inyección al sistema, con todos los impactos que ésta causa al proceso.

**Alternativa C: Pre-procesar todos los lotes que arriben, inyectar el aceite por el QH y el agua por la CC**

De someter todos los lotes a un pre-proceso, seguramente se obtendría un mayor beneficio energético por el aceite. No obstante, los costos de pre-proceso serían mayores y la cantidad de agua a co-procesar también. La Tabla 38 detalla los consumos de aceite y agua por los puntos de alimentación respectivos, considerando un promedio de

humedad de 18% en los lotes recibidos (según datos del Apéndice 13). Las Tablas 39 y 40 se refieren a las tasas de alimentación y capacidades de almacenamiento requeridas.

**TABLA 38**

**CONSUMOS ESPERADOS SEGÚN ALTERNATIVA C**

<b>Año</b>	<b>Total de AS a consumir [ton]</b>	<b>Total aceite usado a inyectar por los QHs [ton]</b>	<b>Total agua a inyectar por la CC [ton]</b>
2006	973	798	175
2007	1992	1633	359
2008	3058	2508	550
2009	4170	3420	750
2010	5328	4370	958

ELABORACIÓN: PROPIA

**TABLA 39**

**ALIMENTACIÓN AL QUEMADOR DE LOS HORNOS (QHs)**

**– ALTERNATIVA C**

<b>Año</b>	<b>Total aceite [ton]</b>	<b>Otros líquidos a inyectar [ton]</b>	<b>Total líquidos a inyectar [ton]</b>	<b>Tasa mín de alimen. a ambos hornos [ton/h]</b>	<b>Capacidad de almacen. [ton]</b>
2006	798	2712	3510	0.24	45
2007	1633	3444	5077	0.34	60
2008	2508	4115	6623	0.45	80
2009	3420	4349	7769	0.52	90
2010	4370	4296	8766	0.59	105

ELABORACIÓN: PROPIA

**TABLA 40**  
**ALIMENTACIÓN A LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN (CC) –**  
**ALTERNATIVA C**

<b>Año</b>	<b>Total agua de AS [ton]</b>	<b>Otros ingresos de agua [ton]</b>	<b>Total agua a inyectar [ton]</b>	<b>Tasa mín de aliment. [ton/h]</b>	<b>Capacidad de almacen. [ton]</b>
2006	175	38	213	0.02	3
2007	359	63	422	0.06	5
2008	550	87	637	0.09	8
2009	750	112	862	0.12	10
2010	958	138	1096	0.15	15

ELABORACIÓN: PROPIA

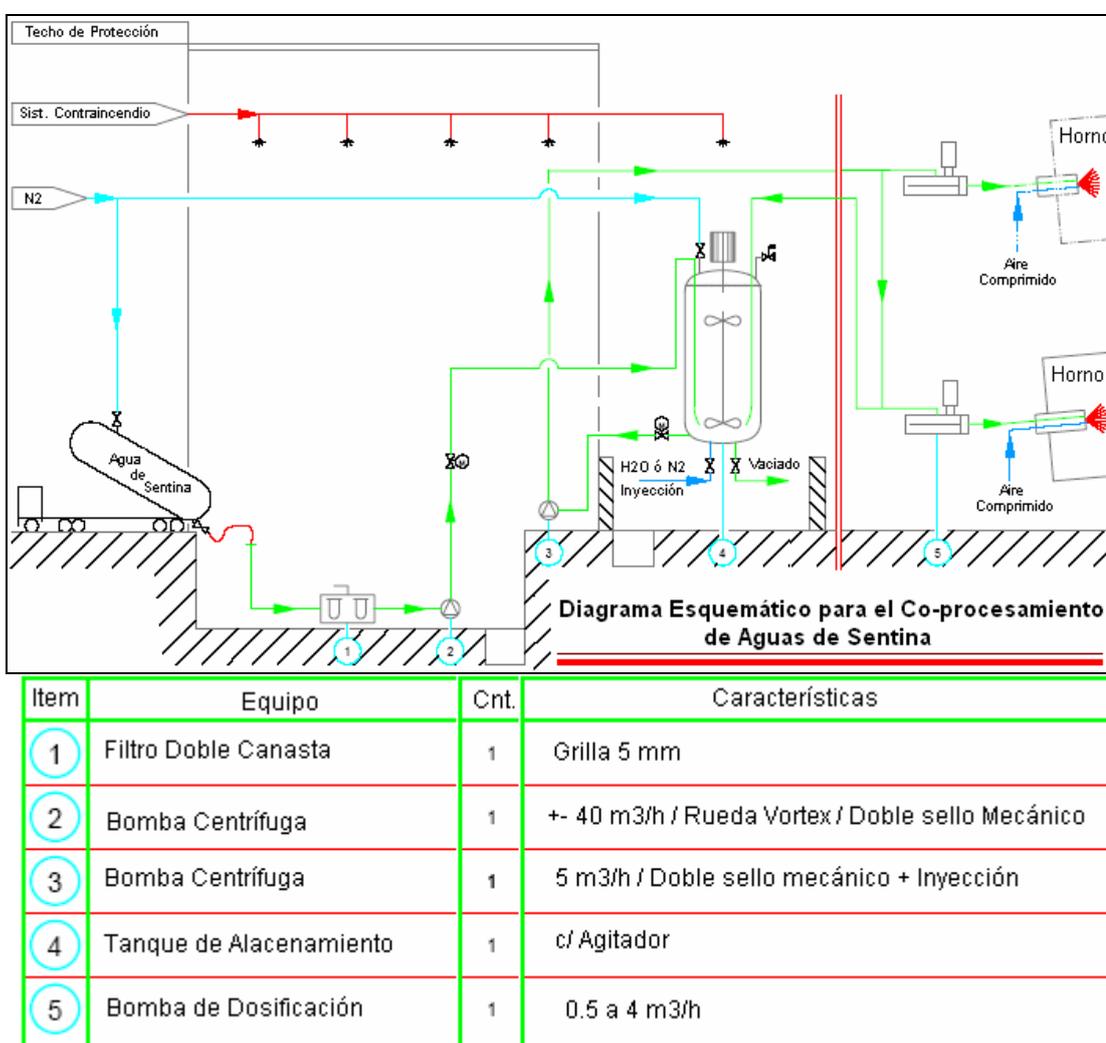
Para esta alternativa también es factible considerar un uso alternativo para el agua, para así evitar su inyección al sistema, con todos los impactos que ésta causa al proceso.

#### **4.1.4 Inversiones requeridas**

Para el análisis de las inversiones requeridas, a continuación se presenta el esquema propuesto de operación e infraestructura para la inyección de las aguas de sentina por el quemador del horno. La inyección de agua por la CC se haría bajo el esquema actual instalado, que consta de un tanque, bomba y tubería. Por tanto, no se lo analiza en este apartado.

### Descripción del Sistema de Inyección de AFR líquido por el Quemador del Horno

La Figura 4.2 presenta los componentes del sistema. Este diagrama presenta la descarga del tanquero que contiene el residuo, su transferencia hacia el tanque de almacenamiento y su inyección por el quemador principal del horno.



FUENTE: EUREMI S.A.

FIGURA 4.2 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO PARA EL CO-PROCESAMIENTO

### **Capacidades del Sistema**

- Flujo nominal de la línea entre el tanquero y el tanque de almacenamiento de 40 m<sup>3</sup>/hora. Lo anterior permite garantizar tener un tanquero desocupado en 1 hora.
- Flujo de recirculación del líquido de 5 m<sup>3</sup>/hora.
- Flujo de inyección al horno es 0.5 a 4 m<sup>3</sup>/h.
- Capacidad del tanque de almacenamiento de 70 m<sup>3</sup>.
- Capacidad máxima anual hasta 5,500 m<sup>3</sup>/año

### **Descripción del Equipo**

- Filtros de doble malla con separador magnético
- Bombas centrífugas de transferencia y recirculación
- Tanque de almacenamiento
- Bomba de dosificación
- Agitador
- Tuberías y accesorios
- Sistema de nitrógeno y de protección contra incendios

### **Ubicación en la línea del proceso**

**Filtro de Doble Malla:** El filtro de doble malla estaría ubicado en la línea de descarga entre el tanque y el tanque de almacenamiento. Antes del filtro se podría instalar a

futuro una cesta que permita un cribado inicial de 15 mm. para la recuperación de sólidos de gran tamaño aunque en el proceso no se considera que vengan partículas de tal tamaño. Este filtro incluye un separador magnético que evitaría que partículas metálicas ingresen a la bomba centrífuga.

**Bomba de Transferencia:** Es una bomba centrífuga que transferiría las aguas de sentina desde el tanquero hasta el tanque de almacenamiento por medio del arreglo de válvulas presentado en la figura 4.2 y a través del filtro y separador magnético.

**Bomba de Recirculación:** Se ubicaría a la salida del tanque de almacenamiento con el objetivo de recircular las aguas de sentina almacenadas para lograr una mejor homogenización de las mismas antes de su co-procesamiento.

**Bomba de dosificación e inyección:** Es una bomba de inyección volumétrica que transferiría el residuo desde el tanque de almacenamiento hasta la boquilla de inyección en el quemador principal del horno.

**Agitador:** Estaría ubicado en el tanque de almacenamiento y deberá ser soportado por ambos extremos para evitar que se desplome.

**Sistema de suministro de nitrógeno:** El nitrógeno es útil para suministrar la presión a los sellos de las bombas centrífugas de la línea y para mantener la presión dentro del tanquero en el momento de la descarga.

**Sistema contra incendios:** El sistema incluiría:

- Paredes de contención para evitar la contaminación de agua
- Unidad de bombeo para extraer líquidos acumulados por derrames y/o lluvias.
- Un dispositivo de espuma automático o manual para el enfriamiento del tanque de almacenamiento en caso de incendio
- Una red de regaderas (sprinklers) en el techo de la recepción.
- Acceso a la máquina de combate de incendios
- Reporte de alarma en el cuarto de control para tomar las previsiones del caso

### Presupuesto de la inversión

Dada la descripción del sistema propuesto para la inyección de las aguas de sentina, a continuación se presenta el detalle del presupuesto asociado al diseño, montaje y levantamiento de dicho sistema. La Tabla 41 considera el porcentaje ya instalado de dicho sistema, para efectos del cálculo del costo total en que se debe incurrir para la finalización del sistema.

**TABLA 41**  
**PRESUPUESTO DE LA INVERSIÓN**

Equipo y/o Instalación	Costo Unitario	Cant	% Instal.	Recepción	Horno 1	Horno 2
Filtro de Malla Doble	3,250	1	100%	-	-	-
Bomba Centrífuga de Transferencia	6,000	1	0%	6,000	-	-
Bomba Centrífuga de Recirculación	3,500	1	0%	3,500	-	-
Tuberías y Accesorios	4,750	1	50%	2,375	-	-
Instrumentación	750	1	0%	750	-	-
Cubierta de protección	3,250	1	50%	1,625	-	-
Ingeniería Civil y bases	10,000	1	0%	10,000	-	-
Electricidad y Automatización	3,000	1	0%	3,000	-	-
Soportes y estructuras	1,250	1	0%	1,250	-	-
Tanque de Almacenamiento	22,500	1	20%	18,000	-	-
Agitador	16,250	1	0%	16,250	-	-
Tubería y accesorios hacia los quemadores	18,000	1	100%	-	-	-
Bomba de dosificación	10,000	2	0%	-	10,000	10,000
Lanza de Inyección	6,250	2	100%	-	-	-
Instrumentación	5,125	2	100%	-	-	-
Sistema contra incendios	12,500	1	0%	12,500	-	-
Tanque de Enfriamiento	2,000	1	0%	2,000	-	-

Equipo y/o Instalación	Costo Unitario	Cant	% Instal.	Recepción	Horno 1	Horno 2
Balance de Vapor (Nitrógeno)	3,625	1	0%	3,625	-	-
<b>Subtotal</b>				80,875	10,000	10,000
<b>Levantamiento</b>	15%			12,131	1,500	1,500
<b>Total</b>						<b>116,006</b>

ELABORACIÓN: PROPIA

Tal como se presentó en el apartado 4.1.3., el proyecto de aguas de sentina corresponde a una de las corrientes de residuos que componen el proyecto completo de co-procesamiento de residuos industriales. En el 2006, en términos de volumen el proyecto de aguas de sentina corresponde al 26% del total de líquidos a co-procesar, pero conforme pasan los años, este porcentaje se va incrementando hasta ser un 55% en el año 2010.

Por lo anterior, para efectos de atribuir un monto proporcional del total de la inversión al proyecto de aguas de sentina, se consideró para el análisis del capítulo 5 el promedio de los porcentajes que corresponden al proyecto en cuestión, siendo éste un 41% del total de líquidos a co-procesar en el periodo 2006-2010.

#### 4.1.5 Costos/beneficios económicos del co-procesamiento

Las hojas cálculos para la determinación de los costos y beneficios económicos del co-procesamiento de las aguas de sentina, dadas las alternativas presentadas en el apartado 4.1.3, se presentan en el Apéndice 18. La Tabla presentada a continuación muestra el resumen de lo calculado.

**TABLA 42**  
**COSTOS & BENEFICIOS DEL CO-PROCESAMIENTO**  
**[en US\$/ton de aguas de sentina]**

Factor de costo	Alternat. A	Alternativa B		Alternativa C	
		con co-p del agua	sin co-p del agua	con co-p del agua	sin co-p del agua
Análisis físico-químicos	5.01	6.64	14.69	7.34	18.84
Pre-proceso + co-proc.	4.90	10.50	9.37	12.00	10.74
EPP's	1.54	3.24	3.24	3.24	2.26
Mantenimiento	3.24	5.81	5.81	5.81	5.81
Herramientas	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Sustitución térmica	-23.40	-34.01	-34.01	-34.06	-34.06
Impactos en proceso	9.45	13.74	1.93	13.81	0.60
<b>Totales</b>	<b>1.28</b>	<b>6.45</b>	<b>1.56</b>	<b>8.67</b>	<b>4.73</b>

ELABORACIÓN: PROPIA

Según lo calculado, la alternativa más económica para el manejo del residuo es co-procesar los lotes de agua de sentina tal como llegan a la planta, independiente de cuánta humedad tengan. Lo anterior dado que la operación de pre-proceso genera muchos costos adicionales por análisis físico-

químicos requeridos luego del pre-proceso, así como los costos operativos asociados a tener una estación de pre-proceso funcionando (costo de EPP's, mantenimiento de equipos). En contraparte, el beneficio energético de pre-procesar el residuo no es tan grande como para contrarrestar los costos adicionales. En conclusión, es más económico inyectar el residuo en su estado natural, siempre que haya una buena homogeneización del mismo para evitar fluctuaciones en el poder calorífico del mismo.

Definido el esquema de operación, y utilizando las hojas de cálculo presentadas en el Apéndice 18, los costos asociados al co-procesamiento del residuo para el periodo 2006-2010 son los siguientes:

**TABLA 43**  
**COSTOS DEL CO-PROCESAMIENTO DE AGUAS DE**  
**SENTINA**

**[en US\$/ton de aguas de sentina]**

<b>Factor de costo</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Análisis físico-químicos	5.01	3.86	3.58	3.52	3.56
Servicio	4.90	5.19	5.51	5.84	6.19
EPP's	1.54	0.80	0.55	0.43	0.36
Mantenimiento	3.24	2.87	2.31	2.06	1.95
Herramientas	0.54	0.48	0.39	0.34	0.33

<b>Factor de costo</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Sustitución térmica	-23.40	-26.67	-29.95	-33.22	-36.49
Impactos en proceso	9.45	9.98	10.55	11.15	11.79
<b>Totales</b>	<b>1.28</b>	<b>-3.48</b>	<b>-7.06</b>	<b>-9.88</b>	<b>-12.31</b>

Para la proyección de la evolución de los costos se ha asumido un incremento de los precios de todos los servicios contratados, así como del costo por pérdida de producción de un 6% anual, según el pronóstico de la inflación para el 2006 y años subsiguientes.

Los costos por mantenimiento y herramientas suponen también el incremento del 6% anual, pero a ellos se les atribuye el porcentaje del costo que le corresponde según el porcentaje del total de líquidos que se va a co-procesar por el sistema. Es así que en el año 2006, al proyecto se le atribuyó un 21% del costo total por mantenimiento y herramientas, mientras que para los años siguientes se le atribuyó 36%, 42%, 48% y 55% hasta el 2010.

El ahorro por la sustitución térmica se calculó sobre la base del mantenimiento de la misma tasa de alimentación (2 ton/h), pero considerando un incremento en el costo de la energía térmica tradicional dada una proyección de la

evolución de los precios del coque de petróleo según se muestra en el Apéndice 19.

## **4.2 Logística operativa**

Este apartado hace referencia a las operaciones a realizar en el puerto donde arriba el buque y a la operación de transporte del residuo hasta la planta Cerro Blanco. Si bien no es objetivo del proyecto adquirir una flota de vehículos para transportar el residuo, el transporte es una parte fundamental del servicio a ofertar pues ninguna agencia naviera se encargaría de llevar el residuo a la planta. Es así que, para efectos del análisis se considera la subcontratación del transporte con la inclusión de su costo en el costo operativo del proyecto.

### **4.2.1 Operación de descarga del buque al tanquero-cisterna**

El proyecto contempla la recolección de las aguas de sentina de los buques siempre directamente desde el buque a vehículos cisterna mediante manguera, bomba de aspiración y a través de la "Conexión Universal a Tierra" según se especifica en el Art. 7 de MARPOL. MARPOL 73/78 no admite en ningún caso la recolección de este residuo en bidones u otra clase de recipientes.

Dado que se trata de un servicio subcontratado, siempre será importante exigir de la empresa de transporte que:

- La descarga de las aguas de sentina del buque siempre se haga en presencia de una persona responsable del buque, quien deberá llenar y firmar la guía de transporte una vez que el residuo se haya cargado al tanquero.
- Posterior a la carga se revisen las tapas superiores de cierre. Se deberá comprobar además que todas las válvulas de descarga estén aseguradas para posteriormente colocar los sellos de control en válvulas y compuertas.
- Se tomen todas las medidas de seguridad necesarias para evitar derrames durante e incendios durante la descarga y/o durante el transporte.

#### **4.2.2 Transporte del residuo**

El procedimiento que deberá seguir la empresa de transporte, una vez realizada la carga, es el siguiente:

1. Avisar por radio o teléfono al supervisor que se inicia el transporte y comunicar novedades. El supervisor sería el encargado de comunicar a la planta Cerro Blanco sobre el tiempo esperado para el arribo del tanquero a CB.
  
2. Dirigirse a las vías principales de acuerdo a la ruta de transporte a seguir para el traslado de cada uno de los puertos a la planta Cerro Blanco. De ser necesario hacer un cambio de ruta, éste deberá ser definido y notificado previamente.

La Tabla 44 muestra las rutas de transporte a seguir para el traslado del residuo desde los distintos puertos ecuatorianos hasta la planta Cerro Blanco.

**TABLA 44**

**RUTAS DE TRANSPORTE HACIA LA PLANTA CB**

<b>Punto de Origen</b>	<b>Ruta</b>
Esmeraldas	Esmeraldas – Quinindé – La Independencia – Santo Domingo – Patricia Pilar – Quevedo – El Empalme – Balzar – Daule – Guayaquil
Manta	Manta – Montecristi – La Pila – Jipijapa – Cascol – Pedro Carbo – Nobol – Guayaquil
Puerto Bolívar	Puerto Bolívar – Machala – Naranjal – Puerto Inca – Guayaquil
Guayaquil	Av. 25 de Julio – Vía Perimetral – Vía a la Costa

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Mamut Andino C.A.

### 4.2.3 Costo de la operación logística

La Tabla 45 detalla los costos de la operación de carga de tanquero y transporte a la planta Cerro Blanco, considerando que para los tres primeros años el mercado a captar está en Guayaquil. Para los dos últimos años presentados, es necesario extender las operaciones a Puerto Bolívar.

**TABLA 45**

#### **COSTO DE LA OPERACIÓN LOGÍSTICA**

Año	Cantidad de tanqueros	Carga		Transporte	Costo específico [US\$/ton]
		Compresor	Bomba		
2006	32	1297	1946	9729	13.33
2007	66	2816	4223	21117	14.13
2008	102	4581	6871	34356	14.98
2009	139	6621	9932	49661	15.88
2010	178	8968	13453	67263	16.83

ELABORACIÓN: PROPIA

### 4.3 Costos operativos totales

La Tabla 46 presenta el consolidado de los costos operativos calculados para la ejecución del proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina para el periodo 2006-2010.

**TABLA 46**  
**COSTOS OPERATIVOS TOTALES**  
**[en US\$/ton de aguas de sentina]**

<b>Tipo de Costo</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Co-procesamiento	1.28	-3.48	-7.06	-9.88	-12.31
Operación logística	13.33	14.13	14.98	19.05	20.93
Costo total	14.61	10.65	7.92	9.17	8.62

ELABORACIÓN: PROPIA

# CAPÍTULO 5

## 5. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD FINANCIERA

### 5.1 Consolidación de costos comerciales, legales-ambientales y técnicos

Las tablas siguientes muestran los costos consolidados estimados:

**TABLA 47**

#### **CONSOLIDACIÓN DE COSTOS DE LA GESTIÓN COMERCIAL [en USD, '000]**

<b>Tipo de Costo</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
De personal	4	7	19	23	25
De ventas, publ. y mkt	5	5	6	8	9
Administrativos	2	2	2	3	3
Renta o alquiler	-	-	2	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>29</b>	<b>36</b>	<b>39</b>

**TABLA 48**

#### **CONSOLIDACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES [en USD, '000]**

<b>Tipo de Costo</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Licencia ambiental	2	-	-	-	-
Matrícula de ESC	0.2	-	-	-	-
Plan de Manejo Amb.	14	15	23	26	31
Tasa Seguimiento PMA	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5
Prima póliza de seguros	0.6	0.6	1	1	1
Derechos anuales ESC	-	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>33</b>

Los costos legales–ambientales para los años 2006 corresponden a los calculados en el capítulo 3. A partir del año 2007, el costo de las acciones para el cumplimiento del PMA se incrementa proporcionalmente con el incremento del porcentaje total del proyecto de aguas de sentina frente a la proyección total del proyecto de co-procesamiento de residuos industriales (líquidos, sólidos y lodos). Por tanto, para los años 2007, 2008, 2009 y 2010 se le atribuye al proyecto el 27%, 31%, 36%, y 43% del costo total del PMA, valorado en US\$ 73350.00. El mismo criterio aplica para el cálculo del costo de la Tasa por Seguimiento y Monitoreo del PMA y por el costo de la póliza de seguros.

**TABLA 49**  
**CONSOLIDACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS**  
**[en USD, '000]**

<b>Tipo de Costo</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Co-procesamiento	1	-7	-22	-41	-66
Operación Logística	13	28	46	79	112
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>38</b>	<b>46</b>

ELABORACIÓN: PROPIA

Los costos operativos corresponden al producto de los costos específicos presentados en la Tabla 46 y la cantidad total de aguas de sentina que se pretende consumir en cada año analizado.

## 5.2 Flujo de caja proyectado

En este apartado se presenta el flujo de caja proyectado durante la ejecución del proyecto de aguas de sentina, por un periodo de 10 años. Para el efecto se utilizó el formato del “CAPEX Request”, herramienta de Holcim para el análisis de las inversiones.

Según el formato del CAPEX Request, en la parte superior se ingresan los valores de las inversiones requeridas para la ejecución del proyecto y en la parte inferior se ingresa la proyección de costos e ingresos para los diez años analizados. La hoja de cálculo suma Para la presentación de resultados, el CAPEX Request genera un resumen cuantitativo del flujo de caja, según la información ingresada, así como un resumen cualitativo de los resultados del proyecto.

Para la utilización de la herramienta empleada fue necesaria la proyección de los ingresos y costos 5 años más de lo antes presentado; es decir hasta el 2015. La Tabla 50 presenta el flujo de caja proyectado para el proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina, basado en una política de precios de 25 US\$/ton al 2006 con incrementos anuales de 10% hasta alcanzar la tarifa 40 US\$/ton, establecida como la tarifa máxima a aplicar.

**TABLA 50**

**FLUJO DE CAJA PROYECTADO A 10 AÑOS**

Primer año

2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TOTAL
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

**WACC-Costo de Capital: 10% p.a.**

**INVERSIONES TOTALES DE CAPITAL**

ENTRADAS DE EFECTIVO / [-] SALIDAS DE EFECTIVO

ACTIVOS CAPITALIZADOS (según HARP)	Depr.	No. of month in Y1	ENTRADAS DE EFECTIVO / [-] SALIDAS DE EFECTIVO										TOTAL			
			2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015				
<b>Terreno</b>		0	0													0
<b>Edificios e instalaciones</b>			(22)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(22)
Edificios	3.3%	6	(5)													(5)
Instalaciones	10.0%	6	(17)													(17)
<b>Máquinas</b>			(19)	0	0	(8)	0	0	(8)	0	0	(8)				(44)
Máquinas pesadas	10.0%	6	0													0
Máquinas livianas	20.0%	6	(0)													(0)
Máquinas eléctricas	30.0%	6	(19)			(8)			(8)			(8)				(43)
<b>Costo del proyecto - gasto dir.</b>			(6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(6)
Costos de iniciación del proyecto			(6)													(6)
<b>COSTOS TOTALES DEL PROYECTO</b>			<b>(48)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>(8)</b>	<b>(72)</b>									

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
<b>Ventas Netas</b>											
<b>Ventas Netas Totales</b>	<b>24</b>	<b>54</b>	<b>89</b>	<b>133</b>	<b>181</b>	<b>242</b>	<b>267</b>	<b>272</b>	<b>278</b>	<b>284</b>	<b>1,824</b>
<b>Costos Operativos</b>											
83 Transporte tercerizado	(13)	(28)	(46)	(79)	(112)	(144)	(144)	(158)	(168)	(153)	(1,045)
<b>Costo total de distribución</b>	<b>(13)</b>	<b>(28)</b>	<b>(46)</b>	<b>(79)</b>	<b>(112)</b>	<b>(144)</b>	<b>(144)</b>	<b>(158)</b>	<b>(168)</b>	<b>(153)</b>	<b>(1,045)</b>
89 Análisis físico-químicos	(5)	(8)	(11)	(15)	(19)	(24)	(26)	(28)	(30)	(32)	(197)
90 Sustitución térmica	23	53	92	139	194	260	287	316	345	375	2,083
93 Co-procesamiento + EPP	(6)	(12)	(19)	(26)	(35)	(45)	(49)	(52)	(57)	(61)	(361)
94 Mantenimiento y herram.	(4)	(7)	(8)	(10)	(12)	(14)	(21)	(23)	(25)	(26)	(150)
95 Impactos en el proceso	(9)	(20)	(32)	(47)	(63)	(81)	(88)	(95)	(103)	(111)	(648)
<b>Costo total de co-procesamiento</b>	<b>(1)</b>	<b>7</b>	<b>22</b>	<b>41</b>	<b>66</b>	<b>96</b>	<b>104</b>	<b>117</b>	<b>131</b>	<b>145</b>	<b>726</b>
<b>Costo del servicio</b>	<b>(14)</b>	<b>(21)</b>	<b>(24)</b>	<b>(38)</b>	<b>(46)</b>	<b>(48)</b>	<b>(41)</b>	<b>(40)</b>	<b>(37)</b>	<b>(9)</b>	<b>(318)</b>
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	<b>10</b>	<b>33</b>	<b>64</b>	<b>95</b>	<b>135</b>	<b>194</b>	<b>226</b>	<b>232</b>	<b>241</b>	<b>275</b>	<b>1,506</b>
98 Gastos de personal	(4)	(7)	(19)	(24)	(25)	(26)	(28)	(29)	(31)	(33)	(226)
99 Servicios de terceros	0	0	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(3)	(3)	(18)
101 Costos de ventas y mkt	(7)	(7)	(8)	(10)	(12)	(13)	(15)	(15)	(15)	(16)	(118)
<b>Total costos comerciales</b>	<b>(11)</b>	<b>(14)</b>	<b>(29)</b>	<b>(36)</b>	<b>(39)</b>	<b>(41)</b>	<b>(45)</b>	<b>(47)</b>	<b>(49)</b>	<b>(52)</b>	<b>(362)</b>
103 Costos ambientales	(17)	(16)	(24)	(28)	(33)	(39)	(41)	(41)	(42)	(42)	(324)
<b>Total costos legales-ambientales</b>	<b>(17)</b>	<b>(16)</b>	<b>(24)</b>	<b>(28)</b>	<b>(33)</b>	<b>(39)</b>	<b>(41)</b>	<b>(41)</b>	<b>(42)</b>	<b>(42)</b>	<b>(324)</b>
<b>FLUJO DE CAJA OPERATIVO</b>	<b>(17)</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>63</b>	<b>113</b>	<b>141</b>	<b>144</b>	<b>150</b>	<b>181</b>	<b>820</b>
TOTAL FLUJO DE CAJA ANTES DE IMP.	(17)	2	11	31	63	113	141	144	150	181	820
<b>Tasa impositiva</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	<b>25%</b>	
Impuesto (pagable)/ Reembolso	0	7	1	(1)	(6)	(15)	(27)	(34)	(35)	(37)	(146)
<b>TOTAL F. DE CAJA LUEGO DE IMP.</b>	<b>(17)</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	<b>57</b>	<b>99</b>	<b>113</b>	<b>110</b>	<b>116</b>	<b>144</b>	
<b>TOTAL EFECTIVO LUEGO DE IMP.</b>	<b>(65)</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>51</b>	<b>84</b>	<b>78</b>	<b>76</b>	<b>81</b>	<b>100</b>	
Flujo de caja acumulado	(65)	(49)	(35)	(14)	38	122	200	276	357	456	
<b>VALOR NETO DE ACT. EN LIBROS</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	

IMPACTO DEL PROYECTO EN COSTOS OPERATIVOS

### 5.3 Análisis de la rentabilidad del proyecto

Para este análisis se tomaron en cuenta los siguientes indicadores: VAN, TIR, y Payback.

#### Valor actual neto (VAN)

El proyecto presenta un VAN positivo de US\$ 537000 (incluyendo el valor terminal del proyecto) considerando un costo de capital promedio ponderado de 10% anual. Esto demuestra un resultado favorable para el proyecto; implica que, llevando los flujos de caja del proyecto a valor presente, se obtendría un beneficio y no un costo por invertir en el proyecto. La Figura 5.1 presenta el gráfico del flujo de caja del proyecto, el cual fácilmente permite observar los impactos positivos del proyecto.

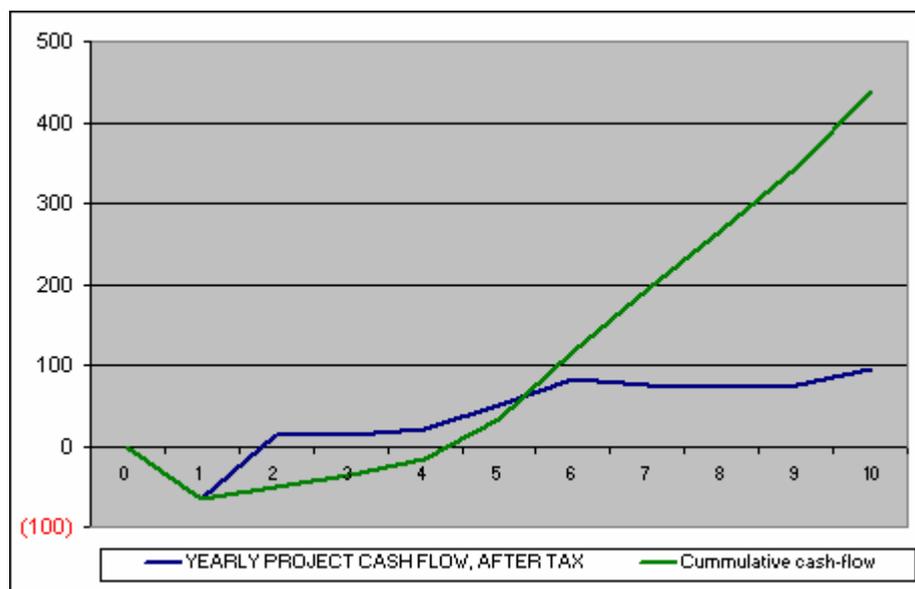


FIGURA 5.1 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

### Tasa interna de retorno (TIR) y periodo estático de retorno (Payback)

El proyecto tiene una tasa interna de retorno (sin incluir el valor terminal del proyecto) de 48.1%. Este resultado muestra un escenario positivo por la ejecución del proyecto pues indica que, de invertir el dinero en el proyecto se va obtener un rendimiento 3 veces superior al rendimiento esperado si el dinero se deja en un banco (se consideró un costo promedio ponderado de capital del 10% anual).

Respecto al payback, o periodo estático de retorno, el mismo se calculó en 4 años y 8 meses.

**TABLA 51**

#### PERIODO ESTÁTICO DE RETORNO

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión total del proyecto	(72)										
Flujo de caja luego de impuestos		(17)	7	13	30	57	99	113	110	116	144
Payback acum., con impuestos	-72	-89	-80	-68	-37	20	119	232	342	458	602
Año del payback del proyecto		0	0	0	0	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Porción en meses		-50	120	76	27	8	-2	-13	-25	-36	-38

La Tabla 51 resume los datos empleados para el cálculo anterior. Simplemente se suman los egresos e ingresos para calcular un

payback acumulado, el cual es negativo hasta el año 4. Lo anterior significa que, aunque a partir del año 3 el negocio parezca ser rentable y los flujos de caja positivos, el monto total de la inversión no ha sido recuperado hasta el año 5, donde ya podemos afirmar que el negocio está dejando una verdadera utilidad.

#### **5.4 Plan financiero**

El plan financiero (FINPLAN) es una proyección financiera que, a través de varias suposiciones, permite obtener una visión general de la posición financiera futura esperada para una unidad de negocio. En las plantas de cemento, los resultados financieros de los proyectos de co-procesamiento contribuyen al cálculo de un indicador dentro del FINPLAN de la planta de cemento: el **costo específico de la energía térmica**. No obstante, la unidad de co-procesamiento maneja indicadores financieros específicos que les permite tener una visión del desarrollo del negocio de co-procesamiento y generar un plan de negocios acorde con sus expectativas.

#### **Indicadores financieros de la unidad de co-procesamiento**

Las unidades de co-procesamiento manejan tres indicadores financieros importantes: El Beneficio de AFR por Sustitución, el



costo de la energía térmica y el costo teórico de energía térmica tradicional, si no se utilizaran combustibles alternativos. Èste es un indicador mucho más analizado que el anterior, pues mide la proporción del costo que sustituyen los AFR, por lo que da una idea más precisa del aporte del negocio de co-procesamiento al objetivo de reducción de costos de la planta de cemento.

El **Beneficio Neto de Efectivo de AFR (NCB AFR)** corresponde a la diferencia entre los ingresos de efectivo por el manejo de AFR y los costos actuales por transporte, preparación y manejo de AFR, sin contar el consumo efectivo del proceso productivo. Para el año 2006 el cálculo se muestra en la Figura 5.3.

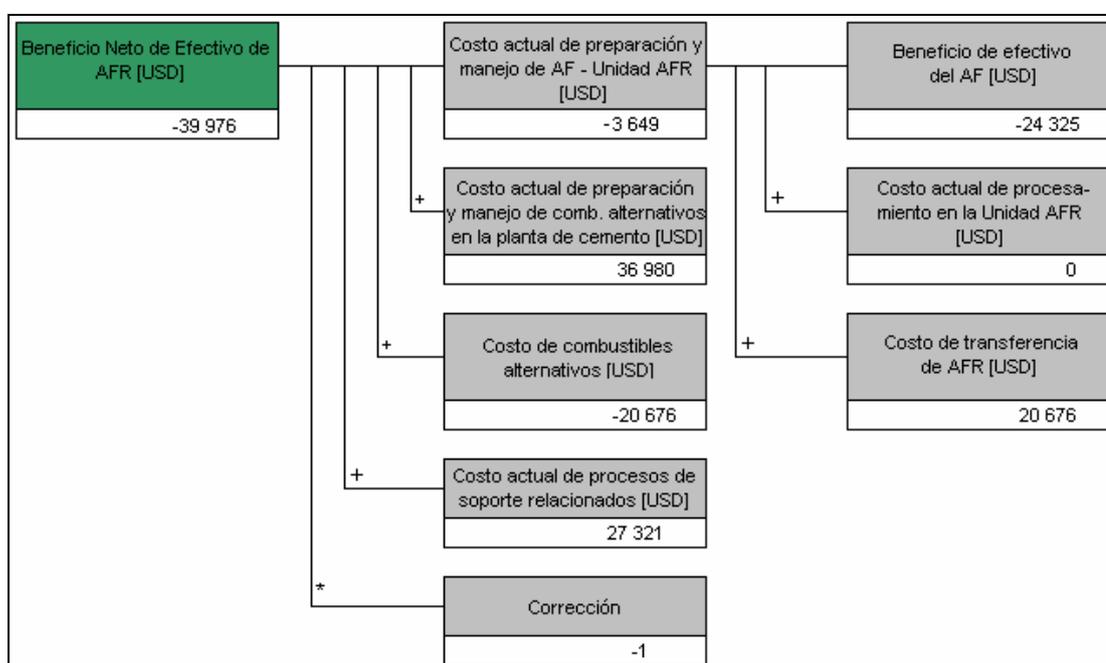


FIGURA 5.3 CÁLCULO DEL BENEFICIO NETO DE EFECTIVO DE AFR

El **Valor Bruto Añadido del Negocio (GAV)** mide el beneficio económico que aporta el co-procesamiento del residuo a Holcim, considerando el beneficio que aporta la sustitución térmica. Por tanto, es la sumatoria de los dos indicadores anteriores y es el indicador más importante para medir el desarrollo de un negocio de co-procesamiento. Para el proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina en el 2006 el proyecto genera un GAV de aproximadamente US\$ 30000 con incrementos anuales significativos hasta llegar a un GAV al 2009 de aproximadamente US\$ 287000.

#### **Costo actual específico de la energía térmica**

El costo actual específico de la energía térmica corresponde al costo total de los combustibles tradicionales y alternativos utilizados en la planta de cemento, incluyendo costos de preparación y manejo, por tonelada de clinker producida.

La Tabla 52 muestra, según los datos del FINPLAN de la planta Cerro Blanco y las proyecciones del costo de la energía térmica tradicional mostradas en el Apéndice 19, los resultados del cálculo del costo específico teórico de la energía térmica; esto es, el costo de la energía térmica si no se utilizara ningún combustible

alternativo. Paralelamente se muestra el costo actual específico de la energía térmica calculado con la utilización de las aguas de sentina. La diferencia de estos costos muestra el efecto financiero dada la utilización del residuo. Al 2006 el co-procesamiento de las aguas de sentina permite lograr un ahorro de 0.55 US\$/t cli con ahorros incrementales en un 5% anual aproximadamente, logrando un ahorro de 0.65 US\$/t cli al 2009.

**TABLA 52**  
**REDUCCIÓN DEL COSTO ACTUAL ESPECÍFICO DE LA**  
**ENERGÍA TÉRMICA**

<b>Costos Específicos [US\$/t cli]</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Costo Teórico de la En. Térmica	7.10	8.01	8.92	9.82
Costo Actual de la En. Térmica	6.55	7.43	8.30	9.17
Ahorro específico logrado	0.55	0.58	0.62	0.65

ELABORACIÓN: PROPIA

El Apéndice 20 muestra los resultados del Reporte de AFR calculado para el periodo 2006-2009 donde se muestran los resultados de los indicadores de AFR, los costos por energía térmica, y los indicadores de producción de clinker relevantes para el cálculo de los indicadores antes mencionados. No se muestra la proyección de los años posteriores analizados en el flujo de caja porque la planta de cemento aún no genera un plan financiero para años posteriores.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de la factibilidad para el co-procesamiento de aguas de sentina en hornos cementeros, podemos indicar lo siguiente:

- Los tiempos de residencia de gases calculados para los hornos de fabricación de clinker de la planta Cerro Blanco son 6.3 seg y 6.8 seg para el Horno 1 y Horno 2, respectivamente, a temperaturas superiores a los 1200°C. Bajo las condiciones antes descritas se puede garantizar un factor de destrucción y eficiencia de remoción de los compuestos orgánicos más estables, superior al 99.999%. Su eficacia en la destrucción de residuos radica en la presencia de las 3T: temperaturas altas, tiempos de residencia largos y gran turbulencia en el proceso, además de ser un proceso sin generación de residuos por la incorporación de las cenizas al clinker y que posibilita un importante aprovechamiento energético así como una disminución global de las emisiones al medio ambiente. Por lo tanto, se recomienda el co-procesamiento como una alternativa

ambientalmente adecuada para la disposición final de las aguas de sentina.

- En términos de la oferta del residuo en el país, al 2006 se proyecta una generación del mismo de cerca de 19500 toneladas con incrementos anuales de 2.3% en promedio, llegando a aproximadamente las 21300 toneladas al 2010. La generación del residuo en el Puerto de Guayaquil y puertos privados prevé incrementos anuales de 2.3% y 7.2% respectivamente.

Respecto a la demanda nacional de las aguas de sentina, al 2006 se proyecta una demanda de la competencia actual de 13500 toneladas en promedio, con incrementos anuales de 8% hasta alcanzar un valor de 18400 toneladas al 2010.

Conjugando las proyecciones de la oferta y la demanda, se evidenció la existencia de una oferta no aprovechada de aproximadamente 4500 toneladas anuales, condición que se favorece al proyecto y que apoya su factibilidad desde la perspectiva comercial o de mercado. Por lo tanto, y según los resultados de la ubicación de la oferta potencial del residuo, se recomienda concentrar esfuerzos en captar el mercado de Guayaquil, en lugar de

pretender abarcar todos los puertos. Esto ayudaría a controlar los costos por la operación logística de carga y transporte del residuo, necesidad especialmente importante para los primeros años, cuando aún se está recuperando la inversión.

- Desde la perspectiva legal-ambiental, la puesta en marcha del proyecto de co-procesamiento de aguas de sentina es viable, al demostrar que la inyección de aceite usado por el quemador del horno no genera un incremento en las emisiones de los gases que salen por la chimenea de los hornos. Es más, en comparación con los límites máximos establecidos por el TULAS para NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y PST y por la NOM-040-ECOL-2002 para metales pesados, HCl, CO y PCDD & PCDF, los valores registrados en la planta Cerro Blanco están muy por debajo de los límites permisibles. Aún así, la recomendación es continuar realizando mediciones de emisiones en línea y puntuales, para garantizar el cumplimiento de la ley.
- Técnicamente, la inyección del agua proveniente del residuo a los hornos genera un impacto en la capacidad de producción, valorado en 9.45 US\$/ton clinker producida. En contraparte, la inyección del residuo dada energía térmica que el aceite aporta al proceso, permite obtener sustituciones térmicas de 0.57% al 2006 y 2.2% al 2009,

obteniendo beneficios por sustitución térmica de US\$ 70000 al 2006 y US\$ 416000 al 2009.

Conjugando lo anterior, la proyección de los flujos de efectivo para el periodo 2006-2009 augura buenos resultados dado el desarrollo del proyecto. En valores netos, con las proyecciones de la evolución del precio del coque, se prevé que al 2009 el proyecto genere un ahorro en costos de energía térmica de US\$ 287000; esto es, 65 cUSD menos por tonelada de clinker producida, con lo que se cumpliría el objetivo planteado de reducción del costo específico de la energía térmica.

- Con un Valor Actual Neto de US\$ 537000, una Tasa Interna de Retorno de 48.1% (en comparación con un costo de capital ponderado de 10% anual) y un Periodo Estático de Retorno (payback) de 4 años y 8 meses, se concluye que el proyecto es rentable y por ende financieramente factible. Sin embargo, se recomienda manejar este proyecto como un proyecto a mediano plazo para garantizar el pago total de la inversión y la obtención de réditos adicionales que justifiquen la puesta en marcha del mismo.

# APÉNDICES

## APÉNDICE 1

### TIEMPO DE RESIDENCIA DE GASES EN LOS HORNOS

#### Cálculo del Volumen de los Hornos

##### Datos generales

Diámetro interno de los hornos	m	4.4
Espesor de los refractarios	m	0.22
Diámetro de los hornos vacíos*	m	3.96
Área de la sección transversal del horno*	m <sup>2</sup>	12.32
Espesor de la costra	m	0.20
Longitud de la costra	m	23.00
Área de la sección transversal de la costra	m <sup>2</sup>	2.36
Volumen de la costra	m <sup>3</sup>	54.34

##### Horno 1

Longitud	m	59.5
Volumen del horno*	m <sup>3</sup>	732.82
Volumen del horno (menos costra)**	m <sup>3</sup>	678.48

##### Horno 2

Longitud	m	68.3
Volumen del horno*	m <sup>3</sup>	841.20
Volumen del horno (menos costra)**	m <sup>3</sup>	786.87

\* Considera una reducción del diámetro del horno por la instalación de ladrillos refractarios.

\*\* Considera la formación de costra en la zona de sinterización del horno.

#### Cálculo del Volumen Efectivo de los Hornos dado Sus Grados de Llenado

$$G_{LL} = 1.5 \times \frac{\text{Producción} \times t}{V_{\text{horno}} \times 24}$$



**Horno 1**

Flujo actual de gases por hora      m3/h    366270  
 Flujo actual de gases por segundo    m3/s    101.74

**Horno 2**

Flujo actual de gases por hora      m3/h    390688  
 Flujo actual de gases por segundo    m3/s    108.52

**Cálculo del Tiempo de Residencia de Gases en los Hornos**

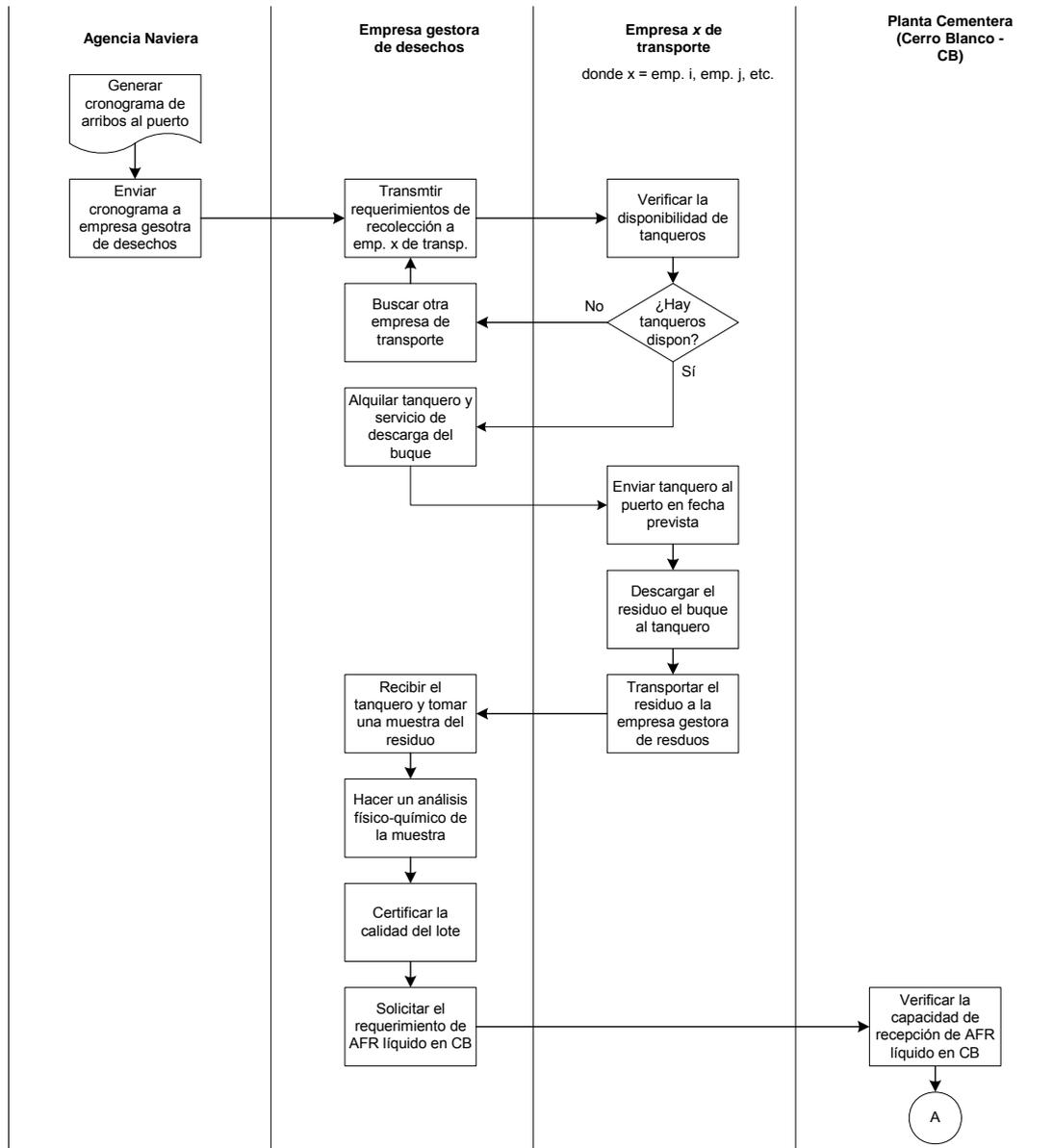
$$t = \frac{\text{Volumen efectivo del horno}}{V_{act}}$$

Tiempo de residencia de gases en el Horno 1    s      6.3  
 Tiempo de residencia de gases en el Horno 2    s      6.8

## APÉNDICE 2

### DIAGRAMA FUNCIONAL

#### PROYECTO DE CO-PROCESAMIENTO DE AGUAS DE SENTINA: RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL

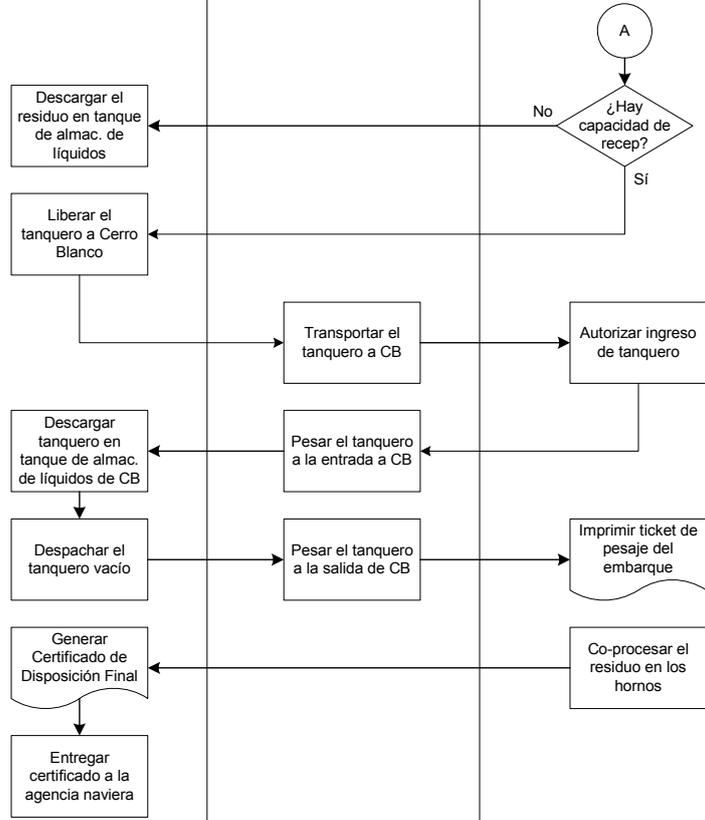


Agencia Naviera

Empresa gestora de desechos

Empresa x de transporte  
donde x = emp. i, emp. j, etc.

Planta Cementera (Cerro Blanco - CB)



### APÉNDICE 3

## HISTÓRICO DE NAVES Y CARGA MOVILIZADA EN LOS PUERTOS ESTATALES COMERCIALES DEL ECUADOR Y PUERTOS PRIVADOS DE GUAYAQUIL

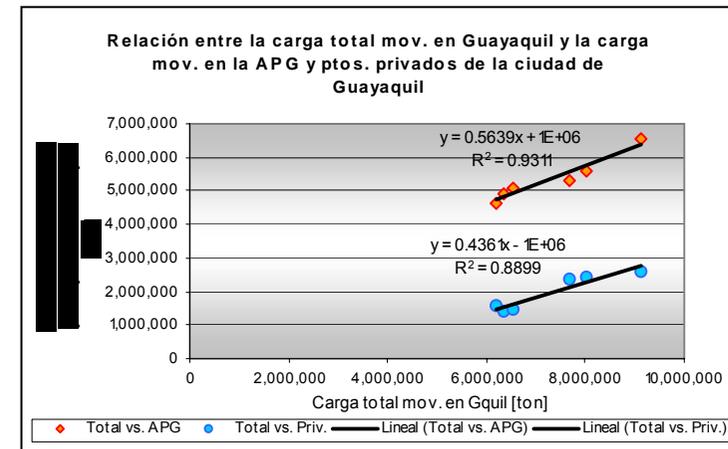
PERIODO: 1990 - 2004

Año	TOTAL PAÍS		
	Naves (unid.)	Carga (ton)	Carga Esp. (ton)
1990	2235	4,735,210	2,119
1991	2512	5,630,577	2,241
1992	2569	5,733,023	2,232
1993	2667	5,884,198	2,206
1994	3028	7,397,411	2,443
1995	3244	8,367,862	2,579
1996	3427	8,761,328	2,557
1997	3529	8,791,066	2,491
1998	3084	8,167,800	2,648
1999	2692	9,047,049	3,361
2000	2734	9,034,575	3,305
2001	2971	9,690,233	3,262
2002	3124	10,975,689	3,513
2003	3087	11,120,528	3,602
2004	2939	12,130,469	4,127

## HISTÓRICO DE NAVES Y CARGA MOVILIZADA

Año	Nuevo Millenium (antes APE)			Manta (APM)			Puerto Bolívar (APPB)		
	Naves (unid.)	Carga (ton)	Carga Esp. (ton)	Naves	Carga	Carga Esp. (ton)	Naves	Carga	Carga Esp. (ton)
1990	180	163,228	907	173	114,503	662	559	1,454,760	2,602
1991	198	267,001	1,348	190	117,275	617	610	1,478,553	2,424
1992	215	408,980	1,902	297	181,053	610	528	1,332,820	2,524
1993	239	395,236	1,654	301	170,024	565	557	1,384,794	2,486
1994	255	524,208	2,056	371	248,828	671	585	1,481,863	2,533
1995	240	656,756	2,736	424	341,092	804	583	1,563,541	2,682
1996	217	689,253	3,176	342	311,716	911	549	1,597,972	2,911
1997	280	879,308	3,140	295	343,470	1,164	593	1,784,009	3,008
1998	278	785,691	2,826	248	309,668	1,249	567	1,364,373	2,406
1999	134	589,980	4,403	165	282,359	1,711	571	1,843,833	3,229
2000	121	817,040	6,752	152	358,272	2,357	547	1,654,471	3,025
2001	192	1,138,730	5,931	263	434,378	1,652	581	1,573,284	2,708
2002	206	1,261,618	6,124	373	517,718	1,388	492	1,521,543	3,093
2003	179	755,229	4,219	339	599,780	1,769	471	1,749,250	3,714
2004	176	893,706	5,078	113	557,576	4,934	495	1,552,154	3,136

## HISTÓRICO DE NAVES Y CARGA MOVILIZADA



Año	Guayaquil (Privados)			Guayaquil (APG)			Total Guayaquil		
	Naves	Carga	Carga Esp. (ton)	Naves	Carga <sup>3</sup>	Carga Esp. (ton)	Naves	Carga	Carga Esp. (ton)
1990	121	309,486	2,558	1202	2,693,233	2,241	1323	3,002,719	2,270
1991	112	643,115	5,742	1402	3,124,633	2,229	1514	3,767,748	2,489
1992	99	661,615	6,683	1430	3,148,555	2,202	1529	3,810,170	2,492
1993	91	715,680	7,865	1479	3,218,464	2,176	1570	3,934,144	2,506
1994	100	1,242,649	12,426	1717	3,899,863	2,271	1817	5,142,512	2,830
1995	107	1,532,203	14,320	1890	4,274,270	2,262	1997	5,806,473	2,908
1996	104	1,687,417	16,225	2215	4,474,970	2,020	2319	6,162,387	2,657
1997	193	1,522,524	7,889	2168	4,261,755	1,966	2361	5,784,279	2,450
1998	162	1,489,288	9,193	1829	4,218,780	2,307	1991	5,708,068	2,867

<sup>3</sup> No se disponía de la distribución de la carga total entre la APG y los puertos privados para el periodo 1990 – 1999. Por tanto, se estimó dicha distribución mediante el método de regresión lineal tomando como variable independiente el total de carga movilizada en Guayaquil y como variables dependientes, la carga movilizada tanto en la APG como en los puertos privados.

## HISTÓRICO DE NAVES Y CARGA MOVILIZADA

Año	Guayaquil (Privados)			Guayaquil (APG)			Total Guayaquil		
	Naves	Carga	Carga Esp. (ton)	Naves	Carga	Carga Esp. (ton)	Naves	Carga	Carga Esp. (ton)
1999	356	1,428,681	4,013	1466	4,902,196	3,344	1822	6,330,877	3,475
2000	408	1,573,686	3,857	1506	4,631,106	3,075	1914	6,204,792	3,242
2001	388	1,468,955	3,786	1547	5,074,886	3,280	1935	6,543,841	3,382
2002	508	2,358,328	4,642	1545	5,316,482	3,441	2053	7,674,810	3,738
2003	626	2,428,757	3,880	1472	5,587,512	3,796	2098	8,016,269	3,821
2004	566	2,577,897	4,555	1589	6,549,137	4,122	2155	9,127,033	4,235

## APÉNDICE 4

### DISTRIBUCIÓN DE LAS NAVES Y CARGA MOVILIZADA EN LOS PUERTOS PRIVADOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL AÑO 2003

#### *Tráfico de Buques*

<b>Puerto</b>	<b>Buques</b>
Andipuerto	62
Bananapuerto	258
Cangel	1
Ecuagrán	11
Fertisa	86
Industrial Molinera	3
Lubriansa	3
Molinos del Ecuador	19
Nirsa	6
Sálica	47
Sipressa	40
TIMSA	57
Trinipuerto	33
<b>Total</b>	<b>626</b>

#### *Datos para Diagrama de Pareto en función de la carga total movilizada*

<b>Puertos</b>	<b>Carga total movilizada [ton, '000]</b>	<b>Frec. relativa [%]</b>	<b>Frec. relativa acumulada [%]</b>
Bananapuerto	703.82	0.29	0.29
Trinipuerto	449.85	0.19	0.48
Sálica	380.46	0.16	0.63
Fertisa	316.12	0.13	0.76
Andipuerto	177.64	0.07	0.83
TIMSA	117.77	0.05	0.88
Mol. del Ecuador	99.62	0.04	0.92
Sipressa	83.53	0.03	0.96

<b>Puertos</b>	<b>Carga total movilizada [ton, '000]</b>	<b>Frec. relativa [%]</b>	<b>Frec. relativa acumulada [%]</b>
Ecuagrán	56.11	0.02	0.98
Ind. Molinera	19.52	0.01	0.99
Nirsa	17.77	0.01	1.00
Lubriansa	5.37	0.00	1.00
Cangel	1.18	0.00	1.00
<b>Total</b>	<b>2429</b>		

## APÉNDICE 5

### ESTIMACIÓN DE LAS CANTIDAD DE AGUAS DE SENTINA O ACEITE USADO DESCARGADAS POR BUQUE ARRIBADO QUE SOLICITA EL SERVICIO DE DESCARGA DE RESIDUOS OLEOSOS

Registro de cantidades descargadas entre los meses de enero a mayo de 2004 en puerto bolívar

Fecha de arribo	Nombre del barco	Eslora	Mat.	Cantidad (ton)
07/01/2004 16:20	DOMINICA	158.1	A	10
07/01/2004 19:45	CADIZ CARRIER	169.3	S	20
10/01/2004 01:00	ATLANTIC OCEAN	151.0	A	10
12/01/2004 15:55	FRENCH BAY	150.0	A	10
14/01/2004 10:55	DITLEV LAURITZEN	164.3	A	25
21/01/2004 07:05	HANSA VISBY	157.0	S	25
21/01/2004 16:30	ALCAZAR CARRIER	169.3	A	25
22/01/2004 06:00	TOKIO BAY	145.0	A	25
22/01/2004 02:23	INDIAN OCEAN	150.9	A	10
26/01/2004 19:10	NORTHERN MERMAID	141.8	A	20
27/01/2004 13:40	BERING SEA	152.8	S	10
29/01/2004 07:08	CADIZ CARRIER	169.3	A	20
30/01/2004 16:30	CORAL SEA	152.8	S	20
04/02/2004 11:20	PIETARI FROST	160.5	S	10
04/02/2004 18:30	MALAGA CARRIER	169.4	A	10
07/02/2004 11:55	CHILEAN REEFER	140.5	S	10
10/02/2004 21:40	MAGIC	135.7	A	10
11/02/2004 08:30	IVAR LAURITZEN	165.0	A	20
12/02/2004 02:23	ALCAZAR CARRIER	169.3	S	20
17/02/2004 17:50	SKAUSUND	141.8	A	20
18/02/2004 06:45	HANSA LUBECK	156.9	S	10
18/02/2004 21:10	CADIZ CARRIER	169.3	A	25
24/02/2004 07:20	FRENCH BAY	150.0	A	10
25/02/2004 13:34	KNUD LAURITZEN	164.3	A	10
26/02/2004 00:45	MALAGA CARRIER	169.4	A	13
03/03/2004 11:10	DOMINICA	158.1	A	13

<b>Fecha de arribo</b>	<b>Nombre del barco</b>	<b>Eslora</b>	<b>Mat.</b>	<b>Cantidad (ton)</b>
03/03/2004 16:25	ALCAZAR CARRIER	169.3	S	10
09/03/2004 06:20	NORTHERN MERMAID	141.8	A	17
10/03/2004 18:30	CADIZ CARRIER	169.3	A	10
17/03/2004 07:40	HANSA VISBY	156.9	S	10
18/03/2004 07:15	MALAGA CARRIER	169.4	A	10
20/03/2004 09:30	PERUVIAN REEFER	140.5	A	10
24/03/2004 02:30	IVORY GIRL	154.0	A	6
25/03/2004 06:25	ALCAZAR CARRIER	169.3	A	45
26/03/2004 17:05	CHILEAN REEFER	140.5	A	20
30/03/2004 15:20	SKAUSUND	141.8	A	10
31/03/2004 08:15	HANSA STOCKOLM	156.5	A	15
05/04/2004 16:30	FRENCH BAY	150.01	A	25
08/04/2004 05:35	KIRKI	144.45	A	25
08/04/2004 15:15	IVAR LAURITZEN	165.0	S	6
13/04/2004 06:00	MAUD	142.0	A	10
14/04/2004 09:20	ALCAZAR CARRIER	169.25	A	10
21/04/2004 08:22	KNUD LAURITZEN	164.33	S	40
22/04/2004 00:30	CADIZ CARRIER	169.25	A	10
26/04/2004 16:40	DURBAN STAR	150.3	S	20
28/04/2004 14:35	MALAGA CARRIER	169.36	S	20
01/05/2004 10:20	PERUVIAN REEFER	140.5	S	27
05/05/2004 00:40	PIETARI FLAME	160.5	A	15
05/05/2004 20:35	ELBRUS	146.29	A	20
05/05/2004 22:33	DITLEV LAURITZEN	164.33	A	13
06/05/2004 05:50	ALCAZAR CARRIER	169.25	S	12
08/05/2004 11:12	CHILEAN REEFER	140.5	A	30
10/05/2004 19:35	SKAUSUND	141.8	A	27
12/05/2004 10:50	HANSA VISBY	156.88	A	30
12/05/2004 17:35	CADIZ CARRIER	169.25	A	17
14/05/2004 23:59	CHERRY	155.81	S	25
15/05/2004 08:15	LAPPONIAN REEFER	141.0	A	10
19/05/2004 17:27	MALAGA CARRIER	169.36	S	27
25/05/2004 20:51	MORILLO	155.8	A	30
26/05/2004 14:27	ALCAZAR CARRIER	169.25	A	20

## Prueba de Normalidad (Dócima Kolmogorov-Smirnov)

### Variables

$x_i$  = cantidad descargada del residuo por buque  
 $n = 60$   
 $\bar{x} = 17$   
 $s = 8$   
 $\alpha = 0.01$

### Hipótesis

$H_0$ :  $x$  se aproxima a una distribución normal

$H_1$ :  $x$  no se aproxima a una distribución normal

i	$x_i$	Frecuencia observada	Frecuencia acumulada observada	Frecuencia acumulada observada relativa	Frecuencia acumulada esperada	$D =  F_e - F_o $ Desviación absoluta
1	6	2	2	0.0333	0.0869	0.0535
2	10	21	23	0.3833	0.1888	0.1945
3	12	2	25	0.4167	0.2600	0.1566
4	13	3	28	0.4667	0.3002	0.1664
5	15	2	30	0.5000	0.3879	0.1121
6	17	2	32	0.5333	0.4817	0.0516
7	20	12	44	0.7333	0.6227	0.1106
8	25	8	52	0.8667	0.8186	0.0480
9	27	3	55	0.9167	0.8747	0.0419
10	30	3	58	0.9667	0.9342	0.0325
11	40	1	59	0.9833	0.9966	0.0132
12	45	1	60	1.0000	0.9995	0.0005

*Modelo para el cálculo de la frecuencia acumulada observada esperada*

$$P(x \leq 6) = P\left(z \leq \frac{6-17}{8}\right) = P(z \leq -1.375) = 0.0869$$

### **Criterio de decisión**

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } D_{\max} > D_{\alpha;n}$$

$$D_{\max} = 0.195$$

$$D_{0.01;60} = 0.210$$

$$D_{\max} \not> D_{0.01;60}$$

.Acepto  $H_0$ .

No hay evidencia estadística para rechazar el supuesto de que  $x$  se aproxima a una distribución normal

### **Décima para la Media de la Población cuando no se conoce la Desviación Estándar de la misma**

#### **Hipótesis**

$$H_0: \mu = 15$$

$$H_1: \mu \neq 15$$

### **Criterio de decisión**

$$\text{Rechazo } H_0 \text{ si } |t| > t_{\alpha/2;n-1}$$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} = \frac{17 - 15}{8/\sqrt{60}} = 2.206$$

$$t_{0.005;59} = 2.662$$

$$|t| \not> t_{0.005;59}$$

.Acepto  $H_0$ .

No hay evidencia estadística para rechazar el supuesto de que  $\mu = 15$

## APÉNDICE 6

### DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BUQUES ARRIBADOS A LOS PUERTOS ECUATORIANOS

#### SEGÚN EL TIPO DE BUQUE

Puertos		Tipos	Banaderos o similares		De arribo quincenal		Pesqueros		Total	
			(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Estatales	Puerto de Manta		59	17%	205	60%	75	22%	339	100%
	Puerto Bolívar		471	100%	0	0%	0	0%	471	100%
	Puerto de Guayaquil		634	43%	750	51%	88	6%	1472	100%
Privados	Puerto Nuevo Millenium		179	100%	0	0%	0	0%	179	100%
	Bananapuerto		174	100%	0	0%	0	0%	174	100%
	Trinipuerto		16	34%	31	66%	0	0%	47	100%
	Sálica		0	0%	1	2%	48	98%	49	100%
	Fertisa		55	100%	0	0%	0	0%	55	100%
	Andipuerto		17	27%	23	37%	22	35%	62	100%
	TIMSA		0	0%	72	78%	20	22%	92	100%
	Molinos del Ecuador		6	100%	0	0%	0	0%	6	100%
	Sipressa		36	100%	0	0%	0	0%	36	100%
	Ecuagrán		6	100%	0	0%	0	0%	6	100%
	Industrial Molinera		6	100%	0	0%	0	0%	6	100%
	Nirsa		0	0%	0	0%	5	100%	5	100%
	Lubriansa		3	100%	0	0%	0	0%	3	100%
Cangel		1	100%	0	0%	0	0%	1	100%	

(1) Cantidad de buques [#]

(2) Porcentaje [%]

## APÉNDICE 7

### ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS ECUACIONES DE LA TENDENCIA

#### SECULAR DEL TRÁFICO DE BUQUES EN LOS PUERTOS ECUATORIANOS

##### *Datos para la estimación*

X (1)	x (2)	x <sup>2</sup> (2) <sup>2</sup>	Y*					xY (2) x (3)				
			(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
2000	-2	4	121	152	547	1506	408	-242	-304	-1094	-3012	-816
2001	-1	1	192	263	581	1547	388	-192	-263	-581	-1547	-388
2002	0	0	206	373	492	1545	508	0	0	0	0	0
2003	1	1	179	339	471	1472	626	179	339	471	1472	626
2004	2	4	176	113	495	1589	566	352	226	990	3178	1132

$$x = X - \bar{X}$$

\* Y es el número de buques arribados

(a) Pto. Nuevo Millenium (b) Pto. Manta (c) Pto. Bolívar (d) Pto. Guayaquil (e) Ptos. Privados (Gye)

##### *Estimación de la ecuación*

Puertos	$\sum xY$	$\sum x^2$	$b = \frac{\sum xY}{\sum x^2}$	$a = \bar{Y}$	$\hat{Y} = a + bx$
Nuevo Millenium	97	10	9.70	174.80	$\hat{Y} = 174.8 + 9.7x$
Manta (APM)	-2	10	-0.20	248.00	$\hat{Y} = 248 - 0.2x$
Pto. Bolívar (APPB)	-214	10	-21.40	517.20	$\hat{Y} = 517.2 - 21.4x$
Guayaquil (APG)	91	10	9.10	1,531.80	$\hat{Y} = 1,531.8 + 9.1x$
Guayaquil (Privados)	554	10	55.40	499.20	$\hat{Y} = 499.2 + 55.4x$

donde,

$\hat{Y}$  = número estimado de buques movilizados en el puerto referido [#]

x = valor de tiempo codificado que representa el número de intervalos de año

**Pronóstico del tráfico de buques para el periodo 2005-2010 (en número de buques)**

Año	x	Ŷ						
		Nuevo Millenium	Pto. de Manta	Pto. Bolívar	Pto. de Guayaquil	Privados (Gye)	Total Guayaquil	TOTAL PAÍS
2005	3	204	247	453	1559	665	2225	3129
2006	4	214	247	432	1568	721	2289	3181
2007	5	223	247	410	1577	776	2354	3234
2008	6	233	247	389	1586	832	2418	3287
2009	7	243	247	367	1596	887	2483	3339
2010	8	252	246	346	1605	942	2547	3392



**APÉNDICE 8**

**REGISTRO Y TABULACIÓN DE DATOS REFERENTES A LA  
PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE DESCARGA DE AGUAS DE SENTINA Y  
ACEITES USADOS POR LAS EMPRESAS DE SERVICIOS  
COMPLEMENTARIOS DE PUERTO BOLÍVAR  
PERIODO: ENERO – DICIEMBRE DE 2004**



## APÉNDICE 9

### ESTIMACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE BUQUES A LOS QUE SE HA DADO EL SERVICIO DE DESCARGA DE AGUAS DE SENTINA Y ACEITES USADOS EN PUERTO BOLÍVAR SEGÚN LA DEMANDA ACTUAL DEL RESIDUO

Datos consolidados de 2004

Mes [i]	Se da servicio de descarga de aceite		Se solicita da servicio de otra descarga*	
	Frecuencia absoluta [x <sub>i</sub> ]	Frecuencia relativa [x <sub>i</sub> /n <sub>i</sub> ]	Frecuencia absoluta [y <sub>i</sub> ]	Frecuencia relativa [y <sub>i</sub> /n <sub>i</sub> ]
Enero	9	0.20	4	0.09
Febrero	8	0.20	4	0.10
Marzo	10	0.22	2	0.04
Abril	5	0.12	4	0.09
Mayo	10	0.29	4	0.11
Junio	9	0.21	6	0.14
Julio	10	0.23	4	0.09
Agosto	11	0.29	4	0.11
Septiembre	7	0.19	7	0.19
Octubre	9	0.24	1	0.03
Noviembre	10	0.26	2	0.05
Diciembre	12	0.24	4	0.08
<b>Total muestra [n]</b>	<b>496</b>	<b>0.22</b>	<b>496</b>	<b>0.09</b>
<b>Total de éxitos</b>	<b>110</b>		<b>46</b>	
<b>Promedio mensual</b>	<b>9.17</b>	<b>0.22</b>	<b>3.83</b>	<b>0.09</b>
<b>Máximo mensual</b>	<b>12</b>	<b>0.29</b>	<b>7</b>	<b>0.19</b>
<b>Mínimo mensual</b>	<b>5</b>	<b>0.12</b>	<b>1</b>	<b>0.03</b>
<b>Desv. std. mensual</b>	<b>1.85</b>	<b>0.05</b>	<b>1.64</b>	<b>0.04</b>

\* "Otra descarga" se refiere a la descarga de mezclas oleosas.

## Décima para la proporción de buques de los que se descarga aceite usado

### Variables

$x_i$  = número de buques de los que se descarga aceite usado en el mes  $i$

$n$  = total de buques arribados a Pto. Bolívar en 2004

$n_i$  = número de buques arribados a Pto. Bolívar en el mes  $i$

**Éxito:** Que al buque arribado se le descargue aceite usado

$\alpha = 0.01$

### Hipótesis

$H_0: p = 0.20$

$H_1: p \neq 0.20$

$$np_0 = (496)(0.2) = 99.2 \cong 100$$

$$n(1 - p_0) = (496)(0.8) = 396.8$$

$\Rightarrow$  Puedo usar la N como aproximación

$H_0: np = np_0$

$\Rightarrow$

$H_0: \mu = \mu_0$

$\Rightarrow$

$H_0: \mu = 100$

$H_1: np \neq np_0$

$H_1: \mu \neq \mu_0$

$H_1: \mu \neq 100$

### Criterio de decisión

Rechazo  $H_0$  si  $|U| > z_{\alpha/2}$

$$U = \frac{x - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}} = \frac{110 - 100}{\sqrt{496 \cdot 0.20 \cdot 0.80}} = 1.12$$

$$z_{0.005} = 2.58$$

$$|U| \not> z_{0.005}$$

$\therefore$  Acepto  $H_0$ .

No hay evidencia estadística para rechazar el supuesto de que  $\mu = 100$  y de que  $p_0 = 0.20$

## Décima para la proporción de buques de los que se descargan mezclas oleosas

### Variables

$y_i$  = número de buques que solicitan de los que se descargan mezclas oleosas en el mes  $i$

$n$  = total de buques arribados a Pto. Bolívar en 2004

$n_i$  = número de buques arribados a Pto. Bolívar en el mes  $i$

Éxito: Que al buque arribado se le descarguen mezclas oleosas  
 $\alpha = 0.01$

### Hipótesis

$H_0: p = 0.10$

$H_1: p \neq 0.10$

$$np_0 = (496)(0.1) = 49.6 \cong 50$$

$$n(1-p_0) = (496)(0.9) = 446.4$$

$\Rightarrow$  Puedo usar la N como aproximación

$H_0: np = np_0$

$H_1: np \neq np_0$

$\Rightarrow$

$H_0: \mu = \mu_0$

$H_1: \mu \neq \mu_0$

$\Rightarrow$

$H_0: \mu = 50$

$H_1: \mu \neq 50$

### Criterio de decisión

Rechazo  $H_0$  si  $|U| > z_{\alpha/2}$

$$U = \frac{x - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}} = \frac{46 - 50}{\sqrt{496 \cdot 0.10 \cdot 0.90}} = -0.60$$

$$z_{0.005} = 2.58$$

$$|U| \not> z_{0.005}$$

$\therefore$  Acepto  $H_0$ .

No hay evidencia estadística para rechazar el supuesto de que  $\mu = 50$  y de que  $p_0 = 0.10$

## APÉNDICE 10

### ESTIMACIÓN DE LA PARTICIPACIÓN DE MERCADO DE LAS EMPRESAS DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE SENTINA EN PUERTO BOLÍVAR

#### Datos consolidados de 2004\*

Mes [i]	SERVICRES	SERVIDASA	SERMAGENSAS	Total por mes
Enero	11	0	2	13
Febrero	6	5	1	12
Marzo	10	1	1	12
Abril	6	2	0	8
Mayo	9	2	3	14
Junio	12	3	0	15
Julio	11	2	1	14
Agosto	12	1	2	15
Septiembre	9	3	2	14
Octubre	7	1	2	10
Noviembre	6	3	3	12
Diciembre	9	0	7	16
<b>Total por empresa</b>	<b>108</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>155</b>

\* Los valores tabulados expresan el número de buques que cada empresa atendió por mes, para la descarga de sus residuos líquidos

#### Conclusiones alcanzadas

Descripción	Cantidad [#]
Total de buques analizados	469
Buques sin residuo**	188
Buques que fueron atendidos	155
Buques sin atender	126

\*\* Debido a que el 40% de los buques queman su residuo a bordo

## APÉNDICE 11

### ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ANUAL ACTUAL DE AGUAS DE SENTINA POR PARTE DEL MERCADO DEMANDANTE DEL RESIDUO

#### Simulación de la capacidad de las competencia

##### *Variables y Parámetros*

$x_i$  = capacidad de la empresa  $i$  [# buques]

$i = 1, 2, \dots, n$  representando las 8 empresas que se están analizando

$a = 23$

$b = 108$

##### *Simulación*

Para  $x \sim U(a, b)$ ,  $x = a + (b - a)R$

$$\Rightarrow x_i = 24 + 84R_i$$

$i$	Núm. Aleatorio	$R_i$	$x_i$
1	6882	0.6882	81
2	5013	0.5013	66
3	9300	0.9300	102
4	8322	0.8322	94
5	9387	0.9387	103
6	3841	0.3841	56
7	5291	0.5291	68
8	8568	0.8568	96

Para las empresas 9 y 10, SERVICRES y SERVIDASA, se trabajó con los valores obtenidos de la tabulación de datos; es decir, cada empresa puede atender 108 y 23 buques, respectivamente. Para el análisis no se tomó en

consideración la empresa SERMAGENSAS puesto que su autorización fue revocada en 2005 por la DIGMER.

### **Simulación de la demanda anual de residuos por empresa autorizada para la recolección de aguas de sentina**

#### **Variables**

$y_{ij}$  = cantidad de residuo descargada por buque  $j$  atendido por la empresa  $i$  [ton]

$$n_i = x_i$$

$$\mu = 15$$

$$s = 8$$

$$\alpha = 0.01$$

#### **Simulación**

Para  $x \sim N(\mu, \sigma)$ ,  $x = \mu + z\sigma$

Como no se conoce la desviación estándar de la población, para simular se hace necesario hacer una estimación:

$$\hat{\sigma} = s \Rightarrow y_{ij} = \mu + z_{ij}\hat{\sigma}$$

donde  $z_j$  es un valor aleatorio con distribución normal estándar  $N(0,1)$ , siendo  $z_{j1}$  y  $z_{j2}$  las coordenadas de su punto en el plano obtenidas con las transformaciones:

$$\begin{aligned} z_{j1} &= y_j \operatorname{sen} \theta & \text{siendo} & \quad y_j = \sqrt{-2 \ln R_{j1}} & \quad \theta = 2\pi R_{j2} \\ z_{j2} &= y_j \operatorname{cos} \theta \end{aligned}$$

**Simulación de la Demanda Anual (en toneladas de residuo)**

<i>j</i>	<i>z</i> <sub>1<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>1<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>2<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>2<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>3<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>3<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>4<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>4<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>5<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>5<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>6<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>6<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>7<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>7<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>8<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>8<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>9<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>9<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>10<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>10<i>j</i></sub>
1	-0.5	11	1.4	27	-0.9	8	0.0	15	0.2	17	1.1	24	1.5	28	-0.1	14	0.1	16	0.3	17
2	-1.0	7	-2.1	6	-0.1	15	0.0	15	2.2	34	-0.6	10	0.3	17	0.5	19	0.7	21	0.7	21
3	-0.9	7	-1.3	6	0.5	19	-1.1	6	0.7	21	0.8	22	-2.0	6	1.1	24	0.0	15	0.2	16
4	-0.1	14	-0.3	12	0.3	17	-1.6	6	-1.8	6	0.4	18	-1.8	6	1.1	24	-0.2	13	-0.6	10
5	0.2	16	1.3	26	-1.5	6	1.2	25	-0.4	12	-1.4	6	1.2	25	1.7	30	1.0	24	-1.6	6
6	0.5	20	1.3	26	0.7	21	-0.7	9	-1.0	6	0.9	23	-0.1	15	-1.0	7	-1.1	6	-0.3	13
7	-0.5	11	-1.1	6	0.4	18	0.4	18	-0.4	12	0.7	21	0.4	18	-0.7	9	-0.9	8	0.7	21
8	0.0	15	-0.1	14	-1.2	6	1.9	31	0.3	18	1.4	27	0.1	16	0.5	19	0.0	15	-0.3	12
9	0.5	20	-1.6	6	0.2	17	1.2	25	1.5	27	-1.2	6	0.6	20	0.9	22	1.2	25	1.3	26
10	0.6	20	-0.4	11	-1.0	7	0.1	16	-0.5	11	0.4	18	-1.2	6	0.6	20	0.8	22	-0.1	14
11	0.6	20	-2.1	6	-1.0	6	-1.3	6	-1.6	6	2.1	33	-0.4	11	-0.6	10	1.1	24	1.2	25
12	0.1	16	1.8	30	0.2	17	-0.3	12	0.2	17	-1.1	6	-0.2	13	-1.2	6	0.1	16	1.7	29
13	0.4	19	0.7	21	-1.5	6	0.5	19	-1.2	6	0.8	22	1.5	28	0.9	23	-1.8	6	0.6	20
14	-0.9	7	1.2	25	0.3	17	1.3	26	0.8	21	0.6	20	0.8	21	0.2	17	-0.5	11	0.9	22
15	-0.4	12	0.5	19	0.1	16	-0.3	13	-0.4	11	-0.1	14	-1.5	6	1.5	28	-2.2	6	0.9	23
16	0.8	22	-1.2	6	0.6	20	1.6	28	-0.6	10	1.0	23	0.8	22	1.5	27	-1.7	6	0.4	18
17	1.4	27	0.9	23	1.9	31	-0.7	9	0.1	16	-0.4	12	-0.3	13	0.8	21	0.3	18	-2.7	6
18	0.7	21	-0.6	10	-1.2	6	0.3	18	-1.3	6	-1.0	7	-0.1	14	0.4	18	-0.1	14	1.1	25
19	0.3	18	-0.1	14	0.0	15	-0.5	11	0.0	15	0.8	22	0.3	17	1.1	24	2.2	33	0.7	21
20	1.6	28	0.6	20	0.0	15	0.8	21	0.4	18	0.6	20	-0.4	12	0.7	21	0.2	16	0.9	23
21	0.2	17	2.2	33	-1.2	6	-0.7	9	-0.8	9	0.6	20	0.3	17	0.6	20	-1.0	6	-0.4	12
22	-0.8	8	0.1	16	1.0	24	-0.3	13	-0.6	10	-1.1	6	-0.8	8	-0.6	10	0.3	18	-0.7	9
23	-0.7	9	0.3	17	0.9	22	-0.3	13	1.6	28	0.7	21	-1.6	6	1.0	23	1.1	24	-1.4	6
24	-0.9	7	-0.6	10	2.5	36	-0.7	10	-0.2	14	0.2	16	1.4	27	2.5	36	-1.3	6		
25	2.1	33	0.2	17	-0.6	10	0.3	17	-0.6	10	0.8	21	0.3	17	0.5	19	0.2	17		

$j$	$z_{1j}$	$y_{1j}$	$z_{2j}$	$y_{2j}$	$z_{3j}$	$y_{3j}$	$z_{4j}$	$y_{4j}$	$z_{5j}$	$y_{5j}$	$z_{6j}$	$y_{6j}$	$z_{7j}$	$y_{7j}$	$z_{8j}$	$y_{8j}$	$z_{9j}$	$y_{9j}$	$z_{10j}$	$y_{10j}$
26	1.3	26	-0.2	13	-0.4	12	-0.6	10	0.8	22	0.2	17	0.1	16	-0.2	14	-1.0	6		
27	-1.7	6	-0.5	10	0.0	15	0.9	23	0.7	21	0.5	19	-1.0	7	0.8	21	2.4	35		
28	1.3	26	0.0	15	-0.1	14	-0.9	8	1.5	28	-0.7	9	-1.3	6	-0.9	8	0.3	17		
29	-0.8	8	-1.3	6	-0.7	9	-0.7	9	0.9	22	0.8	22	0.4	18	-0.5	11	0.4	19		
30	-2.2	6	0.4	18	-1.1	6	0.2	17	1.1	25	0.1	16	1.7	29	0.4	19	0.8	22		
31	-1.3	6	-0.4	11	-0.2	13	0.4	18	1.0	23	-0.9	7	1.2	25	-0.5	11	1.3	26		
32	-0.4	11	-1.5	6	-0.8	8	0.6	20	-0.6	10	1.6	29	-0.5	11	-1.4	6	-0.1	14		
33	-0.8	9	-1.0	7	0.8	21	1.0	23	0.0	15	0.0	15	0.5	19	0.2	17	-0.6	10		
34	-0.3	13	-1.2	6	0.5	19	0.4	19	1.5	28	-0.5	11	1.5	28	-0.5	11	2.7	37		
35	0.4	18	0.0	15	0.2	17	-0.5	11	-0.1	15	0.9	22	-0.2	14	0.8	22	-0.2	13		
36	0.0	15	0.2	17	2.1	33	0.1	16	-0.4	12	-0.7	9	1.6	28	-1.6	6	-0.4	12		
37	-1.1	6	-0.2	14	-0.3	12	0.0	15	0.5	19	-0.5	11	-0.4	11	-1.9	6	-0.4	11		
38	-0.3	13	0.0	15	-0.1	14	0.1	16	0.9	22	1.3	26	0.3	17	1.2	25	0.4	19		
39	-0.1	14	0.2	16	1.2	25	-0.3	12	0.0	15	0.3	18	0.5	19	1.7	29	-0.7	9		
40	-1.3	6	-1.5	6	-0.3	13	2.2	33	0.5	19	-0.6	10	-1.7	6	0.0	15	0.3	17		
41	0.6	20	0.9	22	0.8	22	0.7	20	-2.5	6	1.4	26	1.6	28	-1.0	7	1.4	27		
42	1.1	24	-0.4	12	-0.9	8	-0.3	12	-0.4	12	0.4	18	0.2	17	1.0	24	1.0	24		
43	0.5	19	-0.5	11	-0.1	14	0.9	22	-1.2	6	0.6	20	-1.0	7	-0.4	12	0.9	23		
44	-0.3	13	-0.4	12	-0.8	8	1.3	26	0.1	16	-2.0	6	-0.1	14	-0.4	12	0.5	19		
45	0.6	20	0.5	19	1.0	23	-0.1	14	-0.3	13	-0.8	9	0.4	19	0.6	20	1.1	24		
46	-0.1	14	0.5	19	-1.6	6	-0.4	12	-0.5	11	-1.5	6	-2.1	6	-0.4	12	0.8	22		
47	1.0	24	0.0	15	1.2	25	1.0	23	-0.6	10	1.1	24	-2.0	6	0.4	19	0.6	20		
48	-1.1	6	0.4	19	0.0	15	-0.2	14	0.4	18	0.6	20	-1.6	6	0.3	17	-0.3	12		
49	-1.3	6	-0.3	12	0.8	22	-1.6	6	-1.1	6	-0.6	10	-0.2	13	-0.1	14	0.3	17		
50	2.5	36	0.3	18	0.0	15	-0.2	13	-2.0	6	-0.2	13	0.7	21	0.1	16	0.8	22		
51	-1.0	6	0.2	16	-0.8	8	-1.4	6	0.6	20	0.7	21	1.4	27	2.0	31	0.3	17		
52	-1.3	6	-0.1	14	0.3	17	0.0	15	1.7	29	1.2	25	-1.0	6	1.2	25	0.7	20		

$j$	$z_{1j}$	$y_{1j}$	$z_{2j}$	$y_{2j}$	$z_{3j}$	$y_{3j}$	$z_{4j}$	$y_{4j}$	$z_{5j}$	$y_{5j}$	$z_{6j}$	$y_{6j}$	$z_{7j}$	$y_{7j}$	$z_{8j}$	$y_{8j}$	$z_{9j}$	$y_{9j}$	$z_{10j}$	$y_{10j}$
53	-0.1	14	0.6	20	0.9	23	0.2	17	0.9	23	0.4	18	0.9	22	0.9	23	-1.8	6		
54	-0.3	13	0.2	16	1.4	27	0.8	22	-0.8	9	-0.6	10	1.1	24	0.2	16	-0.3	12		
55	0.1	16	0.4	19	0.5	19	-1.1	6	-0.2	13	-0.2	13	0.8	22	-1.9	6	1.4	26		
56	-1.1	6	-0.5	11	0.9	22	0.4	19	2.2	33	0.8	22	0.0	15	-1.0	7	-2.3	6		
57	0.2	16	-1.0	6	-1.1	6	-0.5	11	0.5	19			-1.0	6	0.8	21	-1.6	6		
58	-0.7	9	-0.9	8	0.7	21	0.7	21	1.2	25			0.4	18	-0.6	10	-0.9	8		
59	1.0	23	-1.8	6	-1.1	6	0.0	15	0.0	15			-1.0	7	0.5	19	-0.9	8		
60	0.3	18	-1.8	6	0.3	18	-0.1	14	0.4	19			-0.3	12	0.7	21	-0.6	10		
61	0.3	18	-1.1	6	0.2	17	0.3	18	-0.8	8			-0.5	11	-0.7	9	-0.3	13		
62	0.0	15	-0.4	11	-0.6	10	-1.7	6	-0.2	13			0.2	17	0.6	20	0.4	18		
63	0.4	18	1.1	24	0.2	16	-0.4	12	0.3	17			0.9	22	2.0	31	1.6	29		
64	-0.5	11	0.6	20	1.7	29	-1.2	6	0.7	21			-0.5	11	0.3	17	0.3	17		
65	0.8	22	0.3	17	0.2	16	-0.2	13	1.0	24			0.9	23	1.1	25	1.6	29		
66	-0.7	9	-2.6	6	1.0	23	0.1	16	0.2	17			-0.5	11	-0.8	8	-2.0	6		
67	1.1	24			0.2	16	-0.3	12	-0.2	14			-0.5	10	0.1	16	0.2	17		
68	0.1	15			-0.9	8	0.0	15	1.3	26			0.3	18	1.4	27	0.3	18		
69	0.0	15			-0.6	10	0.5	19	-1.0	7					0.3	18	1.0	23		
70	-0.9	7			-1.4	6	1.6	29	-0.2	14					1.2	25	-0.9	7		
71	-0.6	10			-2.0	6	0.2	17	1.0	24					-2.6	6	-1.7	6		
72	0.5	19			-1.5	6	-0.9	8	-1.7	6					-1.6	6	0.0	15		
73	-0.5	10			2.2	33	-0.9	7	1.0	23					-0.7	9	-0.7	9		
74	-1.3	6			0.6	20	0.4	19	1.0	24					-0.9	8	1.2	25		
75	1.4	26			-0.3	12	1.5	27	-0.3	12					-0.2	14	-1.5	6		
76	2.4	35			1.0	23	-1.1	6	0.9	22					1.7	29	0.6	20		
77	0.3	18			-0.7	9	1.1	24	-0.6	10					-1.4	6	0.0	15		
78	-0.6	10			0.3	18	-1.4	6	0.9	23					-0.6	10	-1.3	6		
79	-0.5	11			2.2	33	-0.8	8	-0.7	9					-0.4	12	-0.2	13		

<i>j</i>	<i>z</i> <sub>1<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>1<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>2<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>2<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>3<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>3<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>4<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>4<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>5<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>5<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>6<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>6<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>7<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>7<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>8<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>8<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>9<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>9<i>j</i></sub>	<i>z</i> <sub>10<i>j</i></sub>	<i>y</i> <sub>10<i>j</i></sub>
80	-1.4	6			-0.2	13	0.4	19	-0.2	14					-0.1	14	0.9	22		
81	-1.1	6			0.4	18	-0.3	13	-0.3	13					-1.5	6	1.4	27		
82					0.4	18	0.0	15	-0.1	14					-0.4	11	1.7	29		
83					-1.7	6	-0.7	9	-2.3	6					-1.2	6	1.6	28		
84					-0.5	11	-3.4	6	-0.5	11					1.7	30	-0.3	12		
85					0.1	16	0.5	19	1.0	23					1.6	28	-0.1	14		
86					0.4	18	-1.8	6	1.0	23					1.3	26	-1.5	6		
87					-0.4	12	-1.7	6	-0.8	8					0.5	19	-0.5	11		
88					-0.9	7	-1.9	6	-0.5	11					1.8	30	1.0	23		
89					-0.6	10	0.3	18	-0.2	13					0.3	17	-0.4	12		
90					-1.5	6	0.2	17	-1.8	6					1.1	25	-1.2	6		
91					-1.0	6	0.8	22	-0.4	12					-0.7	9	-2.2	6		
92					-0.3	13	-1.4	6	0.4	18					0.9	22	1.9	31		
93					-0.6	10	1.1	24	1.7	29					0.6	20	-0.5	11		
94					-0.5	10	-0.7	9	0.3	17					-0.6	10	1.4	27		
95					-0.4	11			-0.9	8					0.2	17	-0.3	12		
96					0.6	20			-0.8	8					-0.5	11	0.1	16		
97					0.8	21			0.3	17							0.9	23		
98					-1.4	6			-0.4	12							1.7	29		
99					1.5	27			1.2	25							0.5	19		
100					-0.4	12			-1.6	6							-0.7	9		
101					0.3	17			-0.4	12							-0.1	14		
102					-1.8	6			0.0	15							1.1	24		
103									-0.1	15							-1.4	6		
104																	0.5	19		
105																	-1.0	6		
106																	-0.6	10		
107																	-0.1	15		
108																	-0.1	14		
<b>TOT</b>		<b>1208</b>		<b>948</b>		<b>1546</b>		<b>1409</b>		<b>1613</b>		<b>940</b>		<b>1063</b>		<b>1639</b>		<b>1755</b>		<b>395</b>

## APÉNDICE 12

### LEYES ECUATORIANAS VIGENTES REFERENTES A LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Instrumento	Documento
Constitución Política de la República del Ecuador	Artículo 23 Numeral (6). Artículos 86, 87, 88, 89, 90,91. Junio 5, 1998
Ley Reformatoria al Código Penal	R.O. No. 2 - Enero 24, 2000
Ley de Descentralización y Participación Pública	R.O. No.169 - Octubre, 1997
Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	R. O. No. 97 - Mayo 31, 1976.
Ley de Gestión Ambiental	R. O. 245 - 30 Julio, 1999.
Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002
Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Título I)
Sistema Único de Manejo Ambiental	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Título IV)
Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: recurso agua	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Anexo 1)
Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Anexo 2)
Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Anexo 3)
Norma de Calidad Aire Ambiente	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Anexo 4)
Límites Máximos Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas y para Vibraciones	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Anexo 5)
Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos No- peligrosos	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Anexo 6)
Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Título V)
Listados Nacionales de Productos	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002

<b>Instrumento</b>	<b>Documento</b>
Químicos Prohibidos, peligrosos y de uso severamente restringido que se utilicen en el Ecuador	Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Anexo 7)
Régimen Nacional para la Gestión de Productos Químicos Peligrosos	R.O. 725 – 16 Diciembre, 2002 Legislación Ambiental Secundaria Libro VI (Título VI)
Ley de Aguas	R. O. No. 69, Mayo 30 de 1972
Reglamento de Aplicación de la Ley de Aguas	R. O. No. 233 de 26 de enero de 1973
Ley de Hidrocarburos	R. O. No. 144 de 18 de agosto de 2000.
Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en el Ecuador	R. O. No. 265 – Febrero 13, 2001.
Código de Salud	R. O. No. 158 - Febrero 8, 1971.
Resolución # 416/95 emitida por la Dirección General de Marina Mercante y del Litoral,	R. O. No. 758, Agosto 14 de 1995
Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo	R. O. No. 565 - Noviembre 17, 1986.

FUENTE: Eficácitas, EIA para las Actividades de Gestión de Residuos

### APÉNDICE 13

#### REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE AGUAS DE SENTINA

Fecha	P.C. Superior (MJ/ton)	P.C. Inferior (MJ/ton)	% Agua emuls.	% S	% Cl <sup>-</sup>	Visco- sidad (cP)	Dens. (15°C) g/mL
14/01/2005	19702	17283	13.86	1.18	0.04	543	0.994
14/01/2005	37643	35209	4.35	1.51	0.04	7114	0.989
17/01/2005	24491	21994	16.82	1.34	0.07	14187	0.970
19/01/2005	26591	23835	16.20	0.91	0.08	4493	0.891
20/01/2005	36565	34130	9.11	1.07	0.00	3485	0.989
24/01/2005	36303	33675	5.00	0.59	0.03	550	0.930
25/01/2005	23738	21246	16.59	0.95	0.06	1944	0.972
26/01/2005	19977	17604	35.00	1.09	0.05	100	1.008
26/01/2005	16006	13594	15.00	0.48	0.07	13177	0.996
29/01/2005	45544	42710	1.90	0.26	0.02	140	0.867
02/02/2005	20221	17711	35.08	0.71	0.13	403	0.966
08/02/2005	17738	15309	41.38	0.57	0.14	19016	0.991
14/02/2005	15391	12900	14.72	0.52	0.04	30354	0.972
16/02/2005	23735	21250	22.88	1.10	0.39	42791	0.974
21/02/2005	13968	11494	39.42	0.29	0.01	18146	0.977
22/02/2005	10365	7966	40.00	0.26	0.07	15447	1.000
24/02/2005	22683	20245	22.97	1.37	0.01	8318	0.988
03/03/2005	28417	25939	22.00	0.98	0.16	8374	0.976
03/03/2005	20739	18272	8.00	0.68	0.02	3665	0.979
04/03/2005	21645	19178	27.00	0.57	0.23	1648	0.979
04/03/2005	29818	27389	19.20	1.01	0.08	3203	0.991
05/03/2005	15307	12887	30.70	0.47	0.17	10338	0.994
10/03/2005	30120	27691	12.00	0.90	0.12	2020	0.991
10/03/2005	14305	11732	35.00	0.24	0.07	1098	0.947
10/03/2005	23991	21556	17.50	1.14	0.04	2184	0.989
10/03/2005	12389	9852	15.00	0.24	0.06	3288	0.958
14/03/2005	9381	6929	38.00	0.19	0.02	12477	0.984
14/03/2005	25551	23054	20.50	0.93	0.01	11138	0.970
16/03/2005	25001	22532	21.96	0.81	0.07	3629	0.979
17/03/2005	16694	14235	45.00	0.45	0.01	4895	0.982
18/03/2005	16188	13900	27.28	0.34	0.03	19820	1.034
22/03/2005	32832	30368	9.14	0.95	0.05	951	0.981
23/03/2005	38794	36284	3.49	1.84	0.03	374	0.966
28/03/2005	39238	36684	2.75	1.57	0.01	377	0.953

Fecha	P.C. Superior (MJ/ton)	P.C. Inferior (MJ/ton)	% Agua emuls.	% S	% Cl <sup>-</sup>	Viscosidad (cP)	Dens. (15°C) g/mL
28/03/2005	29839	27308	18.38	1.32	0.03	808	0.960
31/03/2005	19388	16913	30.89	0.62	0.06	14157	0.977
31/03/2005	15237	12884	23.91	0.32	0.03	7838	1.014
02/04/2005	21616	19318	15.00	1.15	1.21	17246	1.031
06/04/2005	17064	14750	20.00	0.30	0.10	2485	1.026
07/04/2005	13244	10853	45.00	0.42	0.17	5759	1.002
07/04/2005	12432	10009	35.00	0.28	0.05	7019	0.993
14/04/2005	20426	18018	15.00	0.72	0.10	5739	0.997
18/04/2005	22689	20208	15.00	0.99	0.56	9898	0.975
20/04/2005	13618	11216	5.00	0.49	0.04	30354	0.999
21/04/2005	20158	17735	19.00	0.76	0.20	276	0.993
22/04/2005	23043	20608	12.00	0.81	0.16	1800	0.989
26/04/2005	16890	14519	5.00	0.51	0.04	3278	1.010
27/04/2005	26020	23595	5.00	1.44	0.07	4127	0.992
28/04/2005	22263	19847	5.00	1.56	0.08	9358	0.995
05/05/2005	33744	31243	5.00	0.96	0.04	867	0.969
07/05/2005	40991	38536	< 1,00	1.29	0.21	1507	0.983
13/05/2005	40576	38011	2.00	1.75	0.08	500	0.949
13/05/2005	29596	27195	ND	1.39	0.26	4289	1.000
18/05/2005	28530	26083	10.00	1.21	0.11	7534	0.985
19/05/2005	35889	33436	8.00	1.55	0.06	1039	0.984
27/05/2005	39488	36945	5.00	1.19	0.06	404	0.956
31/05/2005	31320	28854	3.00	0.85	0.06	1968	0.980
01/06/2005	32263	29775	8.00	1.50	0.11	1329	0.973
06/06/2005	42009	39459	2.00	1.34	0.01	914	0.954
06/07/2005	17325	14898	30.00	0.71	0.09	2250	0.992
07/07/2005	29122	26680	12.98	1.18	0.09	4449	0.987
12/07/2005	17217	14800	53.00	0.42	0.02	6011	0.995
12/07/2005	17814	15337	10.00	0.40	0.07	1948	0.976
<b>Promedio</b>	24458	21,995	18.41	0.87	0.10	6,743	0.980
<b>Maximo</b>	45544	42,710	53.00	1.84	1.21	42,791	1.034
<b>Minimo</b>	9381	6,929	1.90	0.19	0.00	100	0.867
<b>Desv. Est.</b>	9037	8995	12.95	0.44	0.17	8284	0.027
<b>Coef. Asim</b>	0.495	0.488	0.734	0.224	5.036	2.248	-1.684

## APÉNDICE 14

### RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE EMISIONES EN LA SITUACIÓN DE LÍNEA BASE Y CON ALIMENTACIÓN DEL RESIDUO AL HORNO

Parámetro	Símbolo	Concentración [mg/m <sup>3</sup> CNPT - 7% O <sub>2</sub> ]				Límite permisible [mg/m <sup>3</sup> CNPT - 7% O <sub>2</sub> ]		
		Situación de Línea Base (sin alimentar el residuo)			Con aliment. del residuo en el H2	TULAS	NOM-040-ECOL-2002	Límite Holcim
		H1	H2	Prom.				
<b>Compuestos Gaseosos</b>								
Monóxido de Carbono	CO	1094	903	999	822	SL	3000	3182
Óxidos de Nitrógeno	NOx	1369	1300	1335	1303	1800	SL	1018
<b>Compuestos Orgánicos</b>								
Benceno		4.690	5.115	4.902	2.211	SL	SL	SL
Compuestos Orgánicos Volátiles	VOC	96.727	82.282	89.505	85.324	SL	SL	127
<b>Partículas Suspendidas Totales</b>								
	PST	31.10	37.80	34.45	36.91	150	SL	64
<b>Agentes Químicos</b>								
Ácido Clorhídrico	HCl	1.050	0.457	0.754	1.384	SL	70	38
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	5.638	1.149	3.394	10.627	SL	SL	SL
Bióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	195	210	202	255	800	SL	636
<b>Metales</b>								
Antimonio	Sb	< 0.0022	< 0.0033	< 0.0027	< 0.0016	SL	SL	SL
Arsénico	As	< 0.0007	< 0.0010	< 0.0008	< 0.0005	SL	SL	SL
Selenio	Se	< 0.0017	< 0.0027	< 0.0022	< 0.0013	SL	SL	SL
Níquel	Ni	0.0018	0.0028	0.0023	0.0025	SL	SL	SL
Manganeso	Mn	0.0226	0.0072	0.0149	0.0157	SL	SL	SL
<b>SUMA</b>		<b>&lt; 0.0289</b>	<b>&lt; 0.0170</b>	<b>&lt; 0.0229</b>	<b>&lt; 0.0215</b>	SL	<b>0.7</b>	SL
Plomo	Pb	< 0.0007	< 0.0011	< 0.0009	< 0.0005	SL	SL	SL

Parámetro	Símbolo	Concentración [mg/m <sup>3</sup> CNPT - 7% O <sub>2</sub> ]				Límite permisible [mg/m <sup>3</sup> CNPT - 7% O <sub>2</sub> ]		
		Situación de Línea Base (sin alimentar el residuo)			Con aliment. del residuo en el H2	TULAS	NOM-040-ECOL-2002	Límite Holcim
		H1	H2	Prom.				
Cromo	Cr	0.0021	0.0019	0.0020	0.0028	SL	SL	SL
Zinc	Zn	0.0449	0.0393	0.0421	0.0293	SL	SL	SL
<b>SUMA</b>		<b>&lt; 0.0478</b>	<b>&lt; 0.0423</b>	<b>&lt; 0.0450</b>	<b>&lt; 0.0326</b>	SL	<b>0.7</b>	SL
Mercurio	Hg	0.0034	0.0034	0.0034	0.0028	SL	<b>0.07</b>	SL
Cadmio	Cd	< 0.0004	< 0.0006	< 0.0005	< 0.0003	SL	<b>0.07</b>	SL
Cobre	Cu	0.0020	0.0031	0.0025	0.0027	SL	SL	SL
Cobalto	Co	< 0.0005	< 0.0007	< 0.0006	< 0.0004	SL	SL	SL
Estaño	Sn	< 0.0022	< 0.0034	< 0.0028	< 0.0016	SL	SL	SL
Talio	Tl	< 0.0048	< 0.0074	< 0.0061	< 0.0036	SL	SL	SL
Vanadio	V	0.0032	0.0010	0.0021	0.0035	SL	SL	SL
<b>Policlorodibenzo-p-dioxinas y Policlorodibenzofuranos**</b>	PCDD PCDF	< 0.0005	< 0.0007	< 0.0006	< 0.0008	SL	<b>0.2</b>	SL

CNPT Condiciones Normales Europeas de Presión y Temperatura (0°C y 1 atm)

< Resultado menor al límite de detección del método de medición empleado

\*\* Las concentraciones de PCDD y PCDF están expresadas en ng EQT/Nm<sup>3</sup> CNPT - 7% O<sub>2</sub>

ELABORACIÓN: PROPIA

FUENTE: Informe preliminar de las mediciones realizadas por Laboratorios ABC y cuestionario PEP de Holcim

## APÉNDICE 15

### RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO INICIAL DEL HORNO 1 DE LA PLANTA CERRO BLANCO

HORNO 1	Valor Actual	Min Min	Min	Max	Max Max	Estado	Potencial Adic.
<b>1 PREPARACIÓN DEL MATERIAL (Basado en datos de 5 días)</b>							
1.1 Alimentación al horno							
Fluctuaciones de ISC	0.80			1.2	1.5 sdv	☺	
Fluctuaciones de la dosificación	0.10			0.5	2 %	☺	
Coeficiente de variación R90 μm	0.50			5	10 %	☺	
1.2 Coque de petróleo (en el quemador del horno)							
Finura a R90 μm	2.90				%	☺	
Fluctuaciones de finura R90 μm	0.12			1	1.5 sdv	☺	
Finura a R200 μm	1.00				%	☺	
Fluctuaciones de la dosificación				2	5 %		
Fluct. de la presión en el quemador a +/- 5mbar			90		%		
Fluct. de la presión en el quemador a +/- 5mbar y 7.5mbar				5	%		
<b>2 OPERACIÓN DEL HORNO</b>							
2.1 Combustión (basado en datos de 5 días)							
O2 a la entrada del horno	5.75	3	3.5		%O2	☺	
CO a la entrada del horno	0.00			0.05	0.1 %CO	☺	
Temperatura a la entrada del horno				1050	1100 °C		
Temperatura a la salida del ciclón 5	872.00			855	865 °C	☹	
2.2 Harina caliente (basado en datos de 5 días)							
% de calcinación	93.80			90	92 %	☹	
SO3	2.15			4	5 %SO3	☺	
Cl	0.42			0.8	1.5 %Cl	☺	
K2O	0.83			1.5	1.6 %K2O	☺	
Volatilidad del azufre	0.30			0.7	0.9 -	☺	

verde: requerimientos min / máx respetados  
 amarillo: min / máx excedidos pero entre min min / max max  
 rojo: min min / max max excedidos

A
A
A

HORNO 1	Valor Actual	Min Min	Min	Max	Max Max	Estado	Potencial Adic.
<b>2.3 Llama principal</b>							
Distribución del calor en la llama principal	51.00	40	50		% comb. total	☺	
Alimentación de ceniza en la zona de quemado	0.58			3	4 % en cli	☺	A
Longitud de la cubierta fija	4.00			4	6 × Ø <sub>horno</sub>	☺	
Polvo fino de AFR en la llama principal (diam. <0.5mm)	0.00				25 % comb. total	☺	A
AFR sólido de diám. <1.5 mm en la llama principal	0.00			12	15 % comb. total	☺	A
AFR sólido de diám. <5 mm u hojuelas <50 mm	0.00			10	% comb. total	☺	A
<i>Comentario: toda la sustitución se refiere a la sustitución total del combustible y no puede ser acumulada</i>							
<b>2.4 Precalcinación</b>							
Distribución del calor a la precalcinación	49.00	30	40	50	60 % comb. total	☺	
Llantas enteras	0.00			5	% comb. total	☺	A
Combustible en pedazos >50 mm	0.00			5	% comb. total	☺	A
AFR Sólido <50 mm	0.00				% comb. total	☺	A
Tiempo de residencia de gases en el calcinador	4.74	3	4.5		segundos	☺	B
<b>3 QUEMADOR DEL HORNO</b>							
% Aire primario (radial/axial)	9.20	10	12	15	20 %	☹	
Momento axial	6.40	7		10	N/MW	☹	
Velocidad de inyección del coque	27.20		25	30	m/s	☺	
<b>4 QUÍMICA</b>							
<b>4.1 Clinker</b>							
Fase líquida 1450°C clinker principal	25.00		25	26	% en cli	☺	
Cal libre	0.70		0.8	1.5	2.5 % en cli	☺	
% clinker fuera de especificaciones	0.00			3	5 % en cli	☺	
P2O5 en el clinker	0.20				% en cli	☺	
					% en cli		

verde: requerimientos min / máx respetados  
amarillo: min / máx excedidos pero entre min min / max max  
rojo: min min / max max excedidos

HORNO 1	Valor Actual	Min Min	Min	Max	Max Max	Estado	Potencial Adic.
<b>4.2 Álcali y Azufre (basado en el balance A/S)</b>							
Ratio Alk/S "calculado" en el clinker	0.56	0.35	0.4	1.2	1.25 -	☺	
SO3 "calculado" en el clinker	1.56			1.8	2 % en cli	☺	M
Ingreso de álcali (punto de vista del proceso)	0.72				1.5 % en cli	☺	
<b>4.3 Cloro y polvo</b>							
Ingreso relevante de Cl desde la mat. prima y combustibles	204.00			200	300 g/t cli	☹	B
Salida de Cl a través del cemento	100.00			800	1000 g/t cem	☺	A
Relleno en el cemento	0.00			3.5	5 % en cem		
<b>5 DESEMPEÑO DEL HORNO</b>							
OEE Neto	83.83	75	85		%	☹	
Tasa	87.50	90	95		%	☹	
Disponibilidad	95.70	85	90		%	☺	
MTBF	82.00	100	240		horas	☹	
Número de paros del horno	57.00			40	80 paros/a	☹	
Paros debido a taponamiento de ciclones	24.00			5	10 paros/a	☹	
Consumo de refractarios (rodaje prom. de 4 años)	495.00			400	600 g/t cli	☹	
Emisiones (bajo límites legales: "Sí" o "No")	Sí				-	☺	

verde: requerimientos min / máx respetados  
amarillo: sobre min/max pero entre min/min/max max  
rojo: min min / max max excedidos

## RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO INICIAL DEL HORNO 2 DE LA PLANTA CERRO BLANCO

HORNO 2	Valor Actual	Min Min	Min	Max	Max Max	Estado	Potencial Adic.
<b>1 PREPARACIÓN DEL MATERIAL (Basado en datos de 5 días)</b>							
<b>1.1 Alimentación al horno</b>							
Fluctuaciones de ISC	0.50			1.2	1.5 sdv	☺	
Fluctuaciones de la dosificación	0.20			0.5	2 %	☺	
Coeficiente de variación R90 μm	0.50			5	10 %	☺	
<b>1.2 Coque de petróleo (en el quemador del horno)</b>							
Finura a R90 μm	2.60				%	☺	
Fluctuaciones de finura R90 μm	0.45			1	1.5 sdv	☺	
Finura a R200 μm	0.00				%	☺	
Fluctuaciones de la dosificación	0.10			2	5 %	☺	
Fluct. de la presión en el quemador a +/- 5mbar	90.00		90		%	☺	
Fluct. de la presión en el quemador a +/- 5mbar y 7.5mbar	4.00			5	%	☺	
<b>2 OPERACIÓN DEL HORNO</b>							
<b>2.1 Combustión (basado en datos de 5 días)</b>							
O2 a la entrada del horno	4.20	3	3.5		%O2	☺	
CO a la entrada del horno	0.00			0.05	0.1 %CO	☺	
Temperatura a la entrada del horno	1161.00			1050	1100 °C	☺	
Temperatura a la salida del ciclón 5	875.00			855	865 °C	☺	
<b>2.2 Harina caliente (basado en datos de 5 días)</b>							
% de calcinación	94.80			90	92 %	☹	
SO3	2.58			4	5 %SO3	☺	A
Cl	0.50			0.8	1.5 %Cl	☺	A
K2O	0.93			1.5	1.6 %K2O	☺	A
Volatilidad del azufre	0.41			0.7	0.9 -	☺	
<b>2.3 Llama principal</b>							

verde: requerimientos min / máx respetados

amarillo: min / max excedidos pero entre min min / max max

rojo: min min / max max excedidos

A
A
A

HORNO 2	Valor Actual	Min Min	Min	Max	Max Max		Estado	Potencial Adic.
Distribución del calor en la llama principal	48.00	40	50			% comb. total	☹	
Alimentación de ceniza en la zona de quemado	0.50			3	4	% en cli	☺	A
Longitud de la cubierta fija	6.90			4	6	$\times \varnothing_{\text{horno}}$	☹	
Polvo fino de AFR en la llama principal (diam. <0.5mm)	0.00				25	% comb. total	☺	A
AFR sólido de diám. <1.5 mm en la llama principal	0.00			12	15	% comb. total	☺	A
AFR sólido de diám. <5 mm u hojuelas <50 mm	0.00			10		% comb. total	☺	A

Comentario: toda la sustitución se refiere a la sustitución total del combustible y no puede ser acumulada

#### 2.4 Precalcinación

Distribución del calor a la precalcinación	52.00	30	40	50	60	% comb. total	☹	
Llantas enteras	0.00			5		% comb. total	☺	A
Combustible en pedazos >50 mm	0.00			5		% comb. total	☺	A
AFR Sólido <50 mm	0.00					% comb. total	☺	A
Tiempo de residencia de gases en el calcinador	4.98	3	4.5			segundos	☺	B

#### 3 QUEMADOR DEL HORNO

% Aire primario (radial/axial)	10.90	10	12	15	20	%	☹	
Momento axial	7.90	7		10		N/MW	☺	
Velocidad de inyección del coque	25.90		25	30		m/s	☺	

#### 4 QUÍMICA

##### 4.1 Clinker

Fase líquida 1450°C clinker principal	26.00		25	26		% en cli	☺	
Cal libre	0.60		0.8	1.5	2.5	% en cli	☹	
% clinker fuera de especificaciones	0.00			3	5	% en cli	☺	
P2O5 en el clinker						% en cli		

##### 4.2 Alkali y Azufre (basado en el balance A/S)

n/ma x na

<b>HORNO 2</b>	<b>Valor Actual</b>	<b>Min Min</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Max Max</b>	<b>Estado</b>	<b>Potencial Adic.</b>
Ratio Alk/S "calculado" en el clinker	<b>0.50</b>	<b>0.35</b>	<b>0.4</b>	<b>1.2</b>	<b>1.25</b> -	☹	
SO3 "calculado" en el clinker	<b>1.57</b>			<b>1.8</b>	<b>2</b> % en cli	☹	<b>B</b>
Ingreso de álcali (punto de vista del proceso)	<b>0.62</b>				<b>1.5</b> % en cli	☺	
<b>4.3 Cloro y polvo</b>							
Ingreso relevante de Cl desde la mat. prima y combustibles	<b>229.00</b>			<b>200</b>	<b>300</b> g/t cli	☺	<b>B</b>
Salida de Cl a través del cemento				<b>800</b>	<b>1000</b> g/t cem		
Relleno en el cemento				<b>3.5</b>	<b>5</b> % en cem		
<b>5 DESEMPEÑO DEL HORNO</b>							
OEE Neto	<b>82.75</b>	<b>75</b>	<b>85</b>		%	☺	
Tasa	<b>93.70</b>	<b>90</b>	<b>95</b>		%	☺	
Disponibilidad	<b>88.30</b>	<b>85</b>	<b>90</b>		%	☺	
MTBF	<b>120.00</b>	<b>100</b>	<b>240</b>		horas	☺	
Número de paros del horno	<b>75.00</b>			<b>40</b>	<b>80</b> paros/a	☺	
Paros debido a taponamiento de ciclones	<b>29.00</b>			<b>5</b>	<b>10</b> paros/a	☹	
Consumo de refractarios (rodaje prom. de 4 años)	<b>566.00</b>			<b>400</b>	<b>600</b> g/t cli	☺	
Emisiones (bajo límites legales: "Sí" o "No")	<b>Sí</b>				-	☺	

## APÉNDICE 16

### IMPACTOS EN EL CONSUMO CALORÍFICO, CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y TEMPERATURA DE LLAMA

**Mejor Escenario**

Versión 14.12.2001

#### Datos de entrada

##### Información básica del CBG

Tipo	Aguas de sentina (aceite casi puro)
Contenido de agua	1.9%
Contenido de cenizas	0.0%
PC Neto	41.2 GJ/t CBG
Aire de transp. o aire falso adicional (por la inyección)	0 Nm3/kg CBG
Incremento del O2 luego de la combustión del CBG	0 % O2 (para quemar el CBG)
Incremento del O2 en la entrada del horno (impacto solo en la temp. de llama)	0 % O2 (para quemar el CBG)

##### Información básica del horno

Punto de inyección del CBG	1 *
Tipo de horno	1 **
Combustible total quem. principal	47%
Consumo esp. de en. térmica	3.3 GJ/t cli
Producción del horno	3100 t/d
Tasa de inyección del CBG	1 t/h
Tasa de sustitución	9.7% térmica
Radio CBG/clinker	0.007742 t CBG/ t cli

#### Resultados

Factor de influencia	Impacto en el consumo de energía térmica				Impacto en la temperatura de llama (quem. principal)			Impacto en producción	
	En referencia al CBG		En referencia al clinker		Cantidad actual	Cantidad crítica	Temp. llama roja	Pérdida de capac. de producción	
	[GJ/t CBG]	[% of PC]	[MJ/t cli]	[% cons. calor. del horno]	[kg/kg cli]	[kg/kg cli]	[°C]	[t cli/t CBG]	[% de la capac. del horno]
Agua 1.9%	0.04	0.1%	0.3	0.01%	0.000	0.05	-1	-0.04	-0.03%
Cenizas 0.0%	0.00	0.0%	0.0	0.00%	0.000	0.17	0	0.00	0.00%
Aire de transporte 0 Nm3/kg CBG	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-	0.00	0.00%
Incremento O2 0 % O2	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	0	0.00	0.00%
<b>Total</b>	<b>0.04</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.3</b>	<b>0.01%</b>	<b>-</b>	<b>-400 °C</b>	<b>-1</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.03%</b>

\*(1=Q. Principal, 2=Q. Secundario, PC o medio horno)

\*\* (1=Precalentador, 2=LEPOL, 3=Húmeda)

-1 t/d

## Peor Escenario

Versión 14.12.2001

### Datos de entrada

#### Información básica del CBG

Tipo	Aguas de sentina (agua + aceite)			
Contenido de agua	53.0%			
Contenido de cenizas	0.0%			
PC Neto	18.44	GJ/t CBG		
Aire de transp. o aire falso adicional (por la inyección)	0	Nm3/kg CBG		
Incremento del O2 luego de la combustión del CBG	0.5	% O2 (para quemar el CBG)		
Incremento del O2 en la entrada del horno (impacto solo en la temp. de llama)	0.5	% O2 (para quemar el CBG)		

#### Información básica del horno

Punto de inyección del CBG	1	*
Tipo de horno	1	**
Combustible total quem. principal	47%	
Consumo esp. de en. térmica	3.3	GJ/t cli
Producción del horno	3100	t/d
Tasa de inyección del CBG	1	t/h
Tasa de sustitución	4.3%	térmica
Radio CBG/clinker	0.007742	t CBG/ t cli

### Resultados

Factor de influencia	Impacto en el consumo de energía térmica				Impacto en la temperatura de llama (quem. principal)			Impacto en producción		
	En referencia al CBG		En referencia al clinker		Cantidad actual	Cantidad crítica	Temp. llama roja	Pérdida de capac. de producción		
	[GJ/t CBG]	[% of PC]	[MJ/t cli]	[% cons. calor. del horno]	[kg/kg cli]	[kg/kg cli]	[°C]	[t cli/t CBG]	[% de la capac. del horno]	
Agua	53.0%	1.14	6.2%	8.8	0.27%	0.004	0.05	-32	-1.05	-0.81%
Cenizas	0.0%	0.00	0.0%	0.0	0.00%	0.000	0.17	0	0.00	0.00%
Aire de transporte	0 Nm3/kg CBG	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-	0.00	0.00%
Incremento O2	0.5 % O2	3.84	20.8%	29.7	0.90%	-	-	-40	-3.68	-2.85%
<b>Total</b>		<b>4.98</b>	<b>27.0%</b>	<b>38.5</b>	<b>1.17%</b>	<b>-</b>	<b>-400 °C</b>	<b>-72</b>	<b>-4.73</b>	<b>-3.66%</b>

\*(1=Q. Principal, 2=Q. Secundario, PC o medio horno)

\*\* (1=Precalentador, 2=LEPOL, 3=Húmeda)

**-114 t/d**

## Escenario común

Versión 14.12.2001

### Datos de entrada

#### Información básica del CBG

Tipo	Aguas de sentina (aceite + agua)
Contenido de agua	18.4%
Contenido de cenizas	0.0%
PC Neto	32.18 GJ/t CBG
Aire de transp. o aire falso adicional (por la inyección)	0 Nm3/kg CBG
Incremento del O2 luego de la combustión del CBG	0.2 % O2 (para quemar el CBG)
Incremento del O2 en la entrada del horno (impacto solo en la temp. de llama)	0.2 % O2 (para quemar el CBG)

#### Información básica del horno

Punto de inyección del CBG	1 *
Tipo de horno	1 **
Combustible total quem. principa	47%
Consumo esp. de en. térmica	3.3 GJ/t cli
Producción del horno	3100 t/d
Tasa de inyección del CBG	1 t/h
Tasa de sustitución	7.6% térmica
Radio CBG/clinker	0.007742 t CBG/ t cli

### Resultados

Factor de influencia	Impacto en el consumo de energía térmica				Impacto en la temperatura de llama (quem. principal)			Impacto en producción	
	En referencia al CBG		En referencia al clinker		Cantidad actual	Cantidad crítica	Temp. llama roja	Pérdida de capac. de producción	
	[GJ/ t CBG]	[% of PC]	[MJ/t cli]	[% cons. calor. del horno]	[kg/ kg cli]	[kg/ kg cli]	[°C]	[t cli/ t CBG]	[% de la capac. del horno]
Agua 18.4%	0.40	1.2%	3.1	0.09%	0.001	0.05	-11	-0.36	-0.28%
Cenizas 0.0%	0.00	0.0%	0.0	0.00%	0.000	0.17	0	0.00	0.00%
Aire de transporte 0 Nm3/kg CBG	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-	0.00	0.00%
Incremento O2 0.2 % O2	1.53	4.8%	11.9	0.36%	-	-	-16	-1.47	-1.14%
<b>Total</b>	<b>1.93</b>	<b>6.0%</b>	<b>14.9</b>	<b>0.45%</b>	<b>-</b>	<b>-400 °C</b>	<b>-27</b>	<b>-1.84</b>	<b>-1.42%</b>
									<b>-44 t/d</b>

\*(1=Q. Principal, 2=Q. Secundario, PC o medio horno)

\*\* (1=Precalentador, 2=LEPOL, 3=Húmeda)

**Detalle del Cálculo de los Impactos del Agua y Nivel de O<sub>2</sub> en el Consumo Calorífico, Capacidad de Producción y Temperatura de Llama (Ejemplo bajo el Escenario Común)**

- Índice CBG/clinker:  $\frac{3.3 \text{ GJ} / t \text{ cli}}{32.18 \text{ GJ} / t \text{ CBG}} \times 0.076 = \underline{0.0077 \text{ t CBG} / t \text{ cli}}$

**Impactos por la Inyección de Agua**

**En el consumo calorífico:**

- Incremento de GJ/t CBG (según factor +2.15 GJ/t H<sub>2</sub>O de la Tabla 30):  
 $2.15 \text{ GJ} / t \text{ H}_2\text{O} * 0.18 \text{ t H}_2\text{O} / t \text{ CBG} = \underline{+0.40 \text{ GJ} / t \text{ CBG}}$
- % incremento referido al PC del CBG:  $\frac{0.4 \text{ GJ} / t \text{ CBG}}{32.18 \text{ GJ} / t \text{ CBG}} = \underline{1.23\%}$
- Incremento MJ/t clinker:  $0.0077 \text{ t CBG} / t \text{ cli} * 396 \text{ MJ} / t \text{ CBG} = \underline{+3.1 \text{ MJ} / t \text{ cli}}$
- % incremento del consumo calorífico del horno:  $\frac{3.1 \text{ MJ} / t \text{ cli}}{3300 \text{ MJ} / t \text{ cli}} = \underline{+0.09\%}$

**En la temperatura de llama:**

- kg H<sub>2</sub>O/kg cli:  $0.0077 \text{ kg CBG} / \text{kg cli} * 0.18 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg cli} = \underline{0.001 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg cli}}$
- Comparando con la cant. crítica: 0.05 kg H<sub>2</sub>O/kg cli es resp. de -400°C

Temperatura de reducción de llama:

$$\frac{0.001 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg cli}}{0.05 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg cli}} \times 400^\circ \text{ C} = \underline{-11^\circ \text{ C}}$$

### **En la producción:**

- t cli perdidas/t CBG (según factor  $-1.98 \text{ t cli perdidas/t H}_2\text{O}$  de la Tabla 30):  $0.18 \text{ t H}_2\text{O/t cli} * -1.98 \text{ t cli perdidas/t H}_2\text{O} = \underline{-0.36 \text{ t cli perdidas/t CBG}}$
- % perdido de la capacidad del horno:  $0.0077 \text{ t CBG/t cli} * -0.36 \text{ t cli/t CBG} = \underline{-0.28\% \text{ perdido}}$

### **Impactos por el Incremento de O<sub>2</sub> (aire en exceso)**

#### **En el consumo calorífico:**

- % de incremento del consumo calorífico del horno (según factor +1.8% de incremento por 1% O<sub>2</sub>):  
 $0.2 * 1.8\% = \underline{0.36\% \text{ de incremento por } 0.2\% \text{ de incremento de O}_2}$
- Incremento de MJ/t cli:  $3300 \text{ MJ/t cli} * 0.36\% = \underline{+11.9 \text{ MJ/t cli}}$
- Incremento de GJ/t CBG:  $\frac{0.0119 \text{ GJ / t cli}}{0.0077 \text{ t CBG / t cli}} = \underline{+1.53 \text{ GJ / t CBG}}$
- % de incremento referido al PC del CBG:  $\frac{1.53 \text{ GJ / t CBG}}{32.18 \text{ GJ / t CBG}} = \underline{4.8\%}$

#### **En la temperatura de llama:**

- Según factor  $-80^\circ\text{C}$  de reducción por 1% de O<sub>2</sub>:  
Temperatura de reducción de llama:  $0.2 * -80^\circ\text{C} = \underline{-16^\circ\text{C por reducción de } 0.2\% \text{ de O}_2}$

**En la producción:**

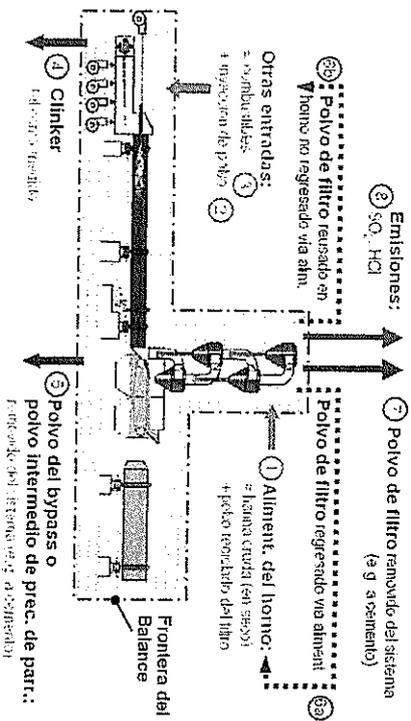
- % perdido de la capacidad del horno (según factor -5.7% de pérdida de producción por 1% de incremento de O<sub>2</sub>):

$$0.2 * -5.7\% \text{ de pérdida de producción} = - \underline{1.14\% \text{ de producción perdida}}$$

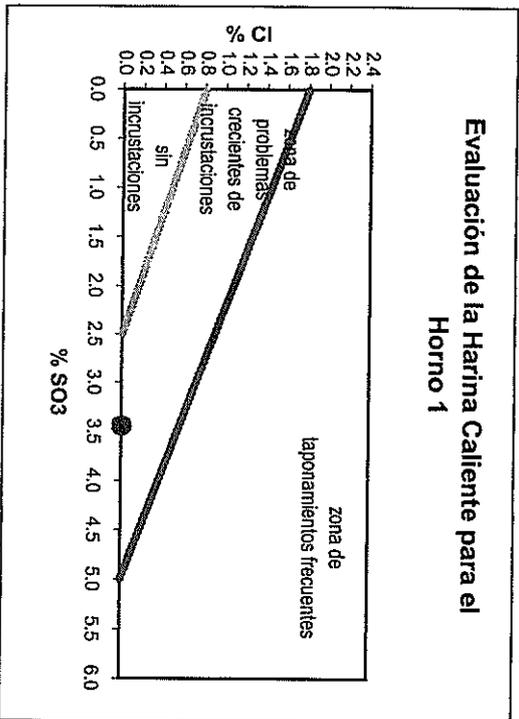
- t cli perdidas/t CBG:

- $$\frac{0.057 \text{ t cli perdidas} / \text{ t cli producidas}}{0.0077 \text{ t CBG} / \text{ t cli producidas}} = \underline{-1.47 \text{ t cli perdidas} / \text{ t CBG}}$$

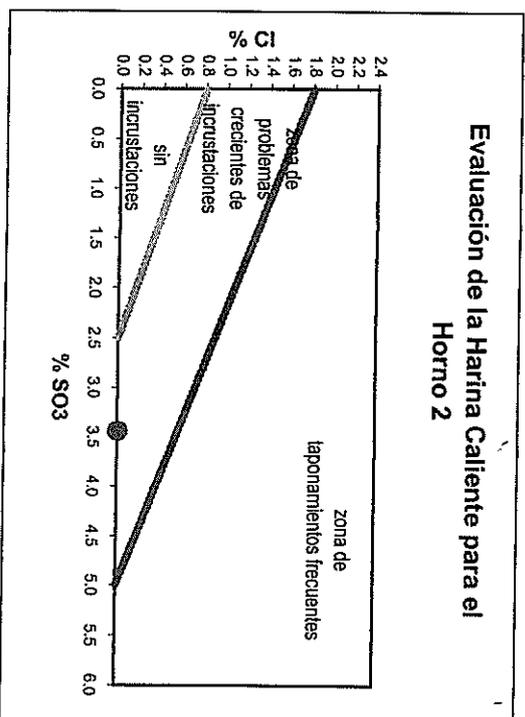
## Frontera del Balance Aplicable para Todos los Tipos de Horno:



**Evaluación de la Harina Caliente para el Horno 1**



**Evaluación de la Harina Caliente para el Horno 2**







**APÉNDICE 18**  
**CÁLCULO DE COSTOS & BENEFICIOS DEL CO-PROCESAMIENTO**

**Cálculo de Impactos sobre el Consumo de Energía Térmica, Producción y Temperatura de Llama**

Para uso en el costeo de la Alternativa A

**Datos de entrada**

Información básica del CBG

Tipo	Aguas de sentina
Contenido de agua	18% (porcentaje promedio)
Contenido de cenizas	0.0%
PC Neto	33.8 GJ/t CBG
Aire de transp. o aire falso adicional (por la inyección)	0 Nm <sup>3</sup> /kg CBG
Incremento del O <sub>2</sub> luego de la combustión del CBG	0 % O <sub>2</sub> (para quemar el CBG)
Incremento del O <sub>2</sub> en la entrada del horno (impacto solo en la temp. de llama)	1 % O <sub>2</sub> (para quemar el CBG)

Información básica del horno

Punto de inyección del CBG	1 *
Tipo de horno	1 **
Combustible total quem. principal	47%
Consumo esp. de en. térmica	3.3 GJ/t cli
Producción del horno	3100 t/d
Tasa de inyección del CBG	2 t/h
Tasa de sustitución	15.9% térmica
Radio CBG/clinker	0.015484 t CBG/ t cli

**Resultados**

Factor de influencia	Impacto en el consumo de energía térmica					Impacto en la temperatura de llama (quem. principal)			Impacto en producción	
	En referencia al CBG		En referencia al clinker			Cantidad actual	Cantidad crítica	Temp. llama roja	Pérdida de capac. de producción	
	[GJ/t CBG]	[% of PC]	[MJ/t cli]	[% cons. calor. del horno]	[kg/kg cli]	[kg/kg cli]	[°C]	[t cli/t CBG]	[% de la capac. del horno]	
Agua	18.4%	0.40	1.2%	6.1	0.19%	0.003	0.05	-22	-0.36	-0.56%
Cenizas	0.0%	0.00	0.0%	0.0	0.00%	0.000	0.17	0	0.00	0.00%
Aire de transporte	0 Nm <sup>3</sup> /kg CBG	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-	0.00	0.00%
Incremento O <sub>2</sub>	0 % O <sub>2</sub>	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-80	0.00	0.00%
<b>Total</b>		<b>0.40</b>	<b>1.2%</b>	<b>6.1</b>	<b>0.19%</b>	<b>-</b>	<b>-400 °C</b>	<b>-102</b>	<b>-0.36</b>	<b>-0.56%</b>

\*(1=Q. Principal, 2=Q. Secundario, PC o medio horno)

\*\* (1=Precaentador, 2=LEPOL, 3=Húmeda)

**-17 t/d**

## Cálculo de Impactos sobre el Consumo de Energía Térmica, Producción y Temperatura de Llama

Para uso en el costeo de las Alternativas B y C

Versión 14.12.2001

### Datos de entrada

#### Información básica del CBG

Tipo	Aceite pre-procesado
Contenido de agua	1.0%
Contenido de cenizas	0.0%
PC Neto	41.56 GJ/t CBG
Aire de transp. o aire falso adicional (por la inyección)	0 Nm3/kg CBG
Incremento del O2 luego de la combustión del CBG	0 % O2 (para quemar el CBG)
Incremento del O2 en la entrada del horno (impacto solo en la temp. de llama)	0 % O2 (para quemar el CBG)

#### Información básica del horno

Punto de inyección del CBG	1 *
Tipo de horno	1 **
Combustible total quem. principal	47%
Consumo esp. de en. térmica	3.3 GJ/t cli
Producción del horno	3100 t/d
Tasa de inyección del CBG	2 t/h
Tasa de sustitución	19.5% térmica
Radio CBG/clinker	0.015484 t CBG/ t cli

### Resultados

Factor de influencia	Impacto en el consumo de energía térmica				Impacto en la temperatura de llama (quem. principal)			Impacto en producción	
	En referencia al CBG		En referencia al clinker		Cantidad actual	Cantidad crítica	Temp. llama roja	Pérdida de capac. de producción	
	[GJ/ t CBG]	[% of PC]	[MJ/t cli]	[% cons. calor. del horno]	[kg/ kg cli]	[kg/ kg cli]	[°C]	[t cli/ t CBG]	[% de la capac. del horno]
Agua 1.0%	0.02	0.1%	0.3	0.01%	0.000	0.05	-1	-0.02	-0.03%
Cenizas 0.0%	0.00	0.0%	0.0	0.00%	0.000	0.17	0	0.00	0.00%
Aire de transporte 0 Nm3/kg CBG	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-	0.00	0.00%
Incremento O2 0 % O2	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	0	0.00	0.00%
<b>Total</b>	<b>0.02</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.3</b>	<b>0.01%</b>	<b>-</b>	<b>-400 °C</b>	<b>-1</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.03%</b>

\*(1=Q. Principal, 2=Q. Secundario, PC o medio horno)

\*\*\*(1=Precaentador, 2=LEPOL, 3=Húmeda)

**-1 t/d**

## Cálculo de Impactos sobre el Consumo de Energía Térmica, Producción y Temperatura de Llama

Para uso en el costeo de la Alternativa B

Versión 14.12.2001

### Datos de entrada

#### Información básica del CBG

Tipo  
 Contenido de agua  
 Contenido de cenizas  
 PC Neto  
 Aire de transp. o aire falso adicional (por la inyección)  
 Incremento del O2 luego de la combustión del CBG  
 Incremento del O2 en la entrada del horno (impacto solo en la temp. de llama)

Aceite sin pre-proceso (PCI > 30 MJ/kg)  
 7.0% (porcentaje promedio)  
 0.0%  
 38.91 GJ/t CBG  
 0 Nm3/kg CBG  
 0 % O2 (para quemar el CBG)  
 0.5 % O2 (para quemar el CBG)

#### Información básica del horno

Punto de inyección del CBG  
 Tipo de horno  
 Combustible total quem. principal  
 Consumo esp. de en. térmica  
 Producción del horno  
 Tasa de inyección del CBG  
 Tasa de sustitución  
 Radio CBG/clinker

1 \*  
 1 \*\*  
 47%  
 3.3 GJ/t cli  
 3100 t/d  
 2 t/h  
 18.3% térmica  
 0.015484 t CBG/ t cli

### Resultados

Factor de influencia	Impacto en el consumo de energía térmica				Impacto en la temperatura de llama (quem. principal)			Impacto en producción	
	En referencia al CBG		En referencia al clinker		Cantidad actual	Cantidad crítica	Temp. llama roja	Pérdida de capac. de producción	
	[GJ/ t CBG]	[% of PC]	[MJ/t cli]	[% cons. calor. del horno]	[kg/ kg cli]	[kg/ kg cli]	[°C]	[t cli/ t CBG]	[% de la capac. del horno]
Agua 7.0%	0.15	0.4%	2.3	0.07%	0.001	0.05	-8	-0.14	-0.21%
Cenizas 0.0%	0.00	0.0%	0.0	0.00%	0.000	0.17	0	0.00	0.00%
Aire de transporte 0 Nm3/kg CBG	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-	0.00	0.00%
Incremento O2 0 % O2	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-40	0.00	0.00%
<b>Total</b>	<b>0.15</b>	<b>0.4%</b>	<b>2.3</b>	<b>0.07%</b>	<b>-</b>	<b>-400 °C</b>	<b>-48</b>	<b>-0.14</b>	<b>-0.21%</b>

\*(1=Q. Principal, 2=Q. Secundario, PC o medio horno)

\*\*\*(1=Precaentador, 2=LEPOL, 3=Húmeda)

**-7 t/d**

## Cálculo de Impactos sobre el Consumo de Energía Térmica, Producción y Temperatura de Llama

Para uso en el costeo de las Alternativas B y C

Versión 14.12.2001

### Datos de entrada

#### Información básica del CBG

Tipo	Agua separada de las Aguas de Sentina
Contenido de agua	100.0%
Contenido de cenizas	0.0%
PC Neto	-2.45 GJ/t CBG
Aire de transp. o aire falso adicional (por la inyección)	0 Nm3/kg CBG
Incremento del O2 luego de la combustión del CBG	0 % O2 (para quemar el CBG)
Incremento del O2 en la entrada del horno (impacto solo en la temp. de llama)	1 % O2 (para quemar el CBG)

#### Información básica del horno

Punto de inyección del CBG	2 *
Tipo de horno	1 **
Combustible total quem. principal	47%
Consumo esp. de en. térmica	3.3 GJ/t cli
Producción del horno	3100 t/d
Tasa de inyección del CBG	1 t/h
Tasa de sustitución	-0.6% térmica
Radio CBG/clinker	0.007742 t CBG/ t cli

### Resultados

Factor de influencia	Impacto en el consumo de energía térmica				Impacto en la temperatura de llama (quem. principal)			Impacto en producción		
	En referencia al CBG		En referencia al clinker		Cantidad actual	Cantidad crítica	Temp. llama roja	Pérdida de capac. de producción		
	[GJ/ t CBG]	[% of PC]	[MJ/t cli]	[% cons. calor. del horno]	[kg/ kg cli]	[kg/ kg cli]	[°C]	[t cli/ t CBG]	[% de la capac. del horno]	
Agua	100.0%	2.15	-87.8%	16.6	0.50%	0.000	0.05	0	-1.98	-1.53%
Cenizas	0.0%	0.00	0.0%	0.0	0.00%	0.000	0.17	0	0.00	0.00%
Aire de transporte	0 Nm3/kg CBG	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-	0.00	0.00%
Incremento O2	0 % O2	0.00	0.0%	0.0	0.00%	-	-	-80	0.00	0.00%
<b>Total</b>		<b>2.15</b>	<b>-87.8%</b>	<b>16.6</b>	<b>0.50%</b>	<b>-</b>	<b>-400 °C</b>	<b>-80</b>	<b>-1.98</b>	<b>-1.53%</b>
									<b>-48 t/d</b>	

\*(1=Q. Principal, 2=Q. Secundario, PC o medio horno)

\*\* (1=Precaentador, 2=LEPOL, 3=Húmeda)

## Estimación de los Costos por Impactos en el Proceso

### Entradas

Parámetros Operativos	Unidad	(a)	(b)	(c)	(d)
Tasa de inyección en el quemador	[t mat/h]	2.00	2.00	2.00	1.00
Co-procesamiento diario por horno	[t mat/día]	48.00	48.00	48.00	24.00
Cant. de hornos disponibles para co-procesar	[#]	2	2	2	1
Total co-procesamiento diario	[t mat/día]	96.00	96.00	96.00	24.00
Poder calorífico aprovechable del residuo	[GJ/t mat]	33.43	41.53	38.76	0.00
Tasa de sustitución térmica real	[%]	15.68%	19.49%	18.18%	0.00%

(a) Aguas de sentina según arriban a la planta CB (sin ningún pre-proceso). Promedio de **todos** los embarques arribados.

(b) Aceite usado obtenido luego de la centrifugación de las aguas de sentina

(c) Aguas de sentina no pre-procesadas. Promedio sólo de aquellos embarques cuyo PCI supera los 30 MJ/kg

(d) Agua contaminada obtenida luego de la centrifugación de las aguas de sentina

Impactos	Unidad	(a)	(b)	(c)	(d)
Incremento específico en el consumo calorífico	[MJ/t cli]	6.13	0.33	2.32	16.65
Energía adicional necesaria para co-procesar	[GJ/día]	37.98	2.06	14.37	51.60
Reducción de capacidad de producción	[t cli/día]	34.97	1.90	13.23	47.52
Pérdida diaria	[USD/día]	1224.12	66.53	463.03	1663.20

### Resultados

Costos específicos	Unidad*	(a)	(b)	(c)	(d)
Costo por consumo energético adicional	[USD/t mat]	0.75	0.04	0.28	4.06
Costo por pérdida de producción	[USD/t mat]	12.75	0.69	4.82	69.30
<b>Total costo específico por impactos en el proceso</b>		<b>13.50</b>	<b>0.73</b>	<b>5.11</b>	<b>73.36</b>

\* USD por tonelada del material que se está analizando en cada caso. No es un costo por tonelada de aguas de sentina

## Evaluación de Costos para la Alternativa A

### Datos del residuo

Nombre del residuo	Aguas de sentina
Cantidad total de residuo a recibir [ton/año]	973
PCI prom del aceite luego del pre-proceso [GJ/ton]	33.43

### Entradas

#### Pre-proceso

Cantidad de residuo a pre-procesar [ton/año]	973
Toneladas trasladadas por tanquero [ton/mov]	30
Tiempo de carga del tanquero [días]	0.04
Núm. de análisis a la recepción [# /año]	32
Núm. de análisis luego del pre-proceso [# /año]	32
Núm. de análisis completos por año [# /año]	4

#### Co-procesamiento

Cant. contenida en un tanquero [ton/tanquero]	30
Aceite prep. a co-procesar [ton/año]	681
Agua resultante luego del pre-proceso [ton/año]	292
Stand-by del tanquero c/aceite prep. [días/tanq]	0.31

#### Del Proceso de Fabricación de Clinker

Producción diaria [t cli/día]	3100
Cons. específico de energía térmica [GJ/t cli]	3.30
TSR por inyección de aceite prep. [%]	15.7%
Tiempo de co-procesam. del aceite prep. [h/año]	170

#### Costos por control de calidad (análisis)

A la recepción [USD/muestra]	70
Análisis completo del residuo [USD/muestra]	650
Luego del pre-proceso [USD/muestra]	415

#### Costos por servicios de operación contratados

Por servicio de pre-proceso [USD/t mat]	5
Por servicio de co-procesamiento [USD/t mat]	7
Por mov. interno de carro tanque [USD/mov]	80
Por stand-by de carro tanque [USD/día]	50

#### Costos del proceso

De la energía térmica tradicional [USD/GJ]	2.00
Por impactos al co-p. aceite prep. [USD/t mat]	13.50

#### Proporción de costos operativos presupuestados

EPP's (pre-proceso) [USD/año]	700
EPP's (co-procesamiento) [USD/año]	1500
Mtto. equipos (pre-proceso) [USD/año]	2500
Mtto. equipos (co-procesam.) [USD/año]	3150
Herramientas [USD/año]	525

**Resultados**

Factor de costo	Recepción	Co-p. Aceite	Total
	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]
Análisis físico-químicos	5.01	-	5.01
Servicio	-	4.90	4.90
EPP's	-	1.54	1.54
Mantenimiento	-	3.24	3.24
Herramientas	-	0.54	0.54
Sustitución térmica	-	-23.40	-23.40
Impactos en proceso	-	9.45	9.45
<b>Totales</b>	<b>5.01</b>	<b>-3.73</b>	<b>1.28</b>

## Evaluación de Costos para la Alternativa B (co-procesando el agua obtenida de la centrifugación)

### Datos del residuo

Nombre del residuo	Aguas de sentina
Cantidad total de residuo a recibir [ton/año]	973
PCI prom del aceite luego del pre-proceso [GJ/ton]	41.53
PCI prom del aceite sin pre-procesar [GJ/ton]	38.76

### Entradas

#### Pre-proceso

Cantidad de residuo a pre-procesar [ton/año]	681
Toneladas trasladadas por tanquero [ton/mov]	30
Tiempo de carga del tanquero [días]	0.04
Núm. de análisis a la recepción [# /año]	32
Núm. de análisis luego del pre-proceso [# /año]	23
Núm. de análisis completos por año [# /año]	4

#### Co-procesamiento

Cant. contenida en un tanquero [ton/tanquero]	30
Aceite prep. a co-procesar [ton/año]	524
Aceite sin prep. a co-procesar [ton/año]	292
Agua a co-procesar por la CC [ton/año]	157
Stand-by del tanquero c/aceite prep. [días/tanq]	0.31
Stand-by del tanquero c/aceite sin prep. [días/tanq]	0.31
Stand-by del tanquero c/agua [días/tanquero]	1.3

#### Del Proceso de Fabricación de Clinker

Producción diaria [t cli/día]	3100
Cons. específico de energía térmica [GJ/t cli]	3.30
TSR por inyección de aceite prep. [%]	19.5%

#### Costos por control de calidad (análisis)

A la recepción [USD/muestra]	70
Análisis completo del residuo [USD/muestra]	650
Luego del pre-proceso [USD/muestra]	70

#### Costos por servicios de operación contratados

Por servicio de pre-proceso [USD/t mat]	5
Por servicio de co-procesamiento [USD/t mat]	7
Por mov. interno de carro tanque [USD/mov]	80
Por stand-by de carro tanque [USD/día]	50

#### Costos del proceso

De la energía térmica tradicional [USD/GJ]	2.00
Por impactos al co-p. aceite prep. [USD/t mat]	0.73
Por impactos al co-p. aceite sin prep [USD/t]	5.11
Por impactos al co-procesar agua [USD/t mat]	73.36

#### Proporción de costos operativos presupuestados

EPP's (pre-proceso) [USD/año]	2100
EPP's (co-procesamiento) [USD/año]	1050
Mtto. equipos (pre-proceso) [USD/año]	2500

TSR por inyección de aceite sin prep. [%] 18.2%  
 Tiempo de co-procesam. del aceite prep. [h/año] 131  
 Tiempo de co-procesam. del aceite sin prep.[h/año] 73  
 Tiempo de co-procesamiento del agua [h/año] 157

Mtto. equipos (co-procesam.) [USD/año]  
 Herramientas [USD/año]

3150  
 525

### Resultados

Factor de costo	Recepción	Pre-proceso	Co-p. aceite prep.	Co-p aceite sin prep.	Co-p agua	Total
	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]
Análisis físico-químicos	5.01	1.63	-	-	-	6.64
Servicio	-	3.50	3.77	2.10	1.13	10.50
EPP's	-	2.16	0.58	0.32	0.17	3.24
Mantenimiento	-	2.57	1.74	0.97	0.52	5.81
Herramientas	-	-	0.29	0.16	0.09	0.54
Sustitución térmica	-	-	-22.39	-11.63	-	-34.01
Impactos en proceso	-	-	0.40	1.53	11.81	13.74
<b>Totales</b>	<b>5.01</b>	<b>9.86</b>	<b>-15.60</b>	<b>-6.54</b>	<b>13.72</b>	<b>6.45</b>

## Evaluación de Costos para la Alternativa B (con utilización del agua en los molinos de coque y crudo)

### Resultados

Factor de costo	Recepción	Pre-proceso	Co-p. aceite prep.	Co-p aceite sin prep.	Total
	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]
Análisis físico-químicos	5.01	9.68	-	-	14.69
Servicio	-	3.50	3.77	2.10	9.37
EPP's	-	2.16	0.69	0.39	3.24
Mantenimiento	-	2.57	2.08	1.16	5.81
Herramientas	-	-	0.35	0.19	0.54
Sustitución térmica	-	-	-22.39	-11.63	-34.01
Impactos en proceso	-	-	0.40	1.53	1.93
<b>Totales</b>	<b>5.01</b>	<b>17.91</b>	<b>-15.10</b>	<b>-6.26</b>	<b>1.56</b>

## Evaluación de costos para la Alternativa C (co-procesando el agua obtenida de la centrifugación)

### Datos del residuo

Nombre del residuo	Aguas de sentina
Cantidad total de residuo a recibir [ton/año]	973
PCI prom del aceite luego del pre-proceso [GJ/ton]	41.53

### Entradas

#### Pre-proceso

Cantidad de residuo a pre-procesar [ton/año]	973
Toneladas trasladadas por tanquero [ton/mov]	30
Tiempo de carga del tanquero [días]	0.04
Núm. de análisis a la recepción [# /año]	32
Núm. de análisis luego del pre-proceso [# /año]	32
Núm. de análisis completos por año [# /año]	4

#### Co-procesamiento

Cant. contenida en un tanquero [ton/tanquero]	30
Aceite prep. a co-procesar [ton/año]	798
Agua a co-procesar por la CC [ton/año]	175
Stand-by del tanquero c/aceite prep. [días/tanq]	0.31
Stand-by del tanquero c/agua [días/tanquero]	1.3

#### Del Proceso de Fabricación de Clinker

Producción diaria [t cli/día]	3100
Cons. específico de energía térmica [GJ/t cli]	3.30
TSR por inyección de aceite prep. [%]	19.5%
TSR por inyección de aceite sin prep. [%]	18.2%
Tiempo de co-procesam. del aceite prep. [h/año]	199
Tiempo de co-procesamiento del agua [h/año]	175

#### Costos por control de calidad (análisis)

A la recepción [USD/muestra]	70
Análisis completo del residuo [USD/muestra]	650
Luego del pre-proceso [USD/muestra]	70

#### Costos por servicios de operación contratados

Por servicio de pre-proceso [USD/t mat]	5
Por servicio de co-procesamiento [USD/t mat]	7
Por mov. interno de carro tanque [USD/mov]	80
Por stand-by de carro tanque [USD/día]	50

#### Costos del proceso

De la energía térmica tradicional [USD/GJ]	2.00
Por impactos al co-p. aceite prep. [USD/t mat]	0.73
Por impactos al co-procesar agua [USD/t mat]	73.36

#### Proporción de costos operativos presupuestados

EPP's (pre-proceso) [USD/año]	2100
EPP's (co-procesamiento) [USD/año]	1050
Mtto. equipos (pre-proceso) [USD/año]	2500
Mtto. equipos (co-procesam.) [USD/año]	3150
Herramientas [USD/año]	525

**Resultados**

Factor de costo	Recepción	Pre-proceso	Co-p. aceite prep.	Co-p agua	Total
	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]
Análisis físico-químicos	5.01	2.33	-	-	7.34
Servicio	-	5.00	5.74	1.26	12.00
EPP's	-	2.16	0.88	0.19	3.24
Mantenimiento	-	2.57	2.65	0.58	5.81
Herramientas	-	-	0.44	0.10	0.54
Sustitución térmica	-	-	-34.06	-	-34.06
Impactos en proceso	-	-	0.60	13.21	13.81
<b>Totales</b>	<b>5.01</b>	<b>12.06</b>	<b>-23.73</b>	<b>15.34</b>	<b>8.67</b>

**Evaluación de costos para la Alternativa C (con utilización del agua en los molinos de coque y crudo)****Resultados**

Factor de costo	Recepción	Pre-proceso	Co-p. Aceite	Total
	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]	[USD/t mat]
Análisis físico-químicos	5.01	13.83	-	18.84
Servicio	-	5.00	5.74	10.74
EPP's	-	0.72	1.54	2.26
Mantenimiento	-	2.57	3.24	5.81
Herramientas	-	-	0.54	0.54
Sustitución térmica	-	-	-34.06	-34.06
Impactos en proceso	-	-	0.60	0.60
<b>Totales</b>	<b>5.01</b>	<b>22.12</b>	<b>-22.40</b>	<b>4.73</b>

## APÉNDICE 19

### PROYECCIÓN DEL COSTO DE LA ENERGÍA TÉRMICA TRADICIONAL

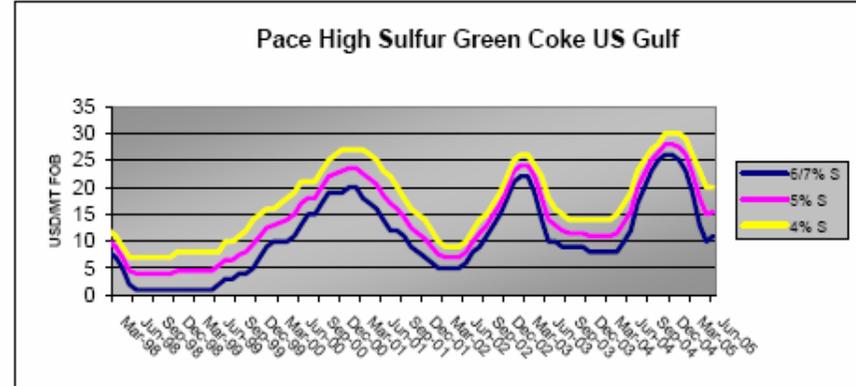
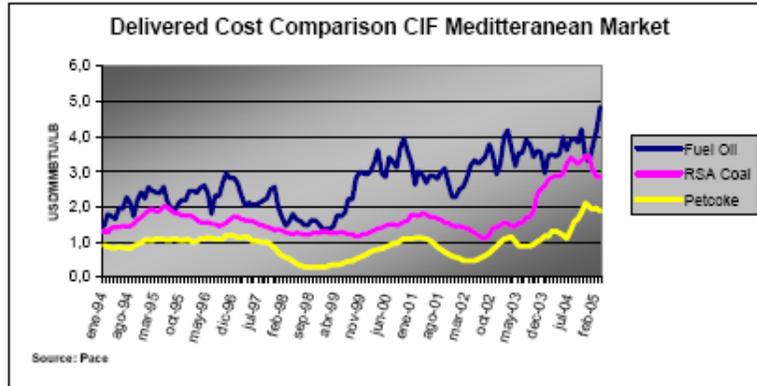
Datos según reporte de energía de Holcim Group Trading (a Julio, 2005)

Crude Oil Prices USD/Bbl			
Type	abr-05	mar-05	abr-04
WTI	53,01	54,31	36,73
MAYA	39,36	37,60	27,74
BRENT	51,82	52,89	33,25
Fuel Oil		abr-05	abr-04
NW Europe 3.5 % Fuel Oil USD/MT		228,58	150,76
US Gulf 3.0 % Res. USD/Bbl		34,72	24,78

Cembureau Petcoke Prices mid May 05 USD/MT			
Destination	Price	Sulfur %	Cargo Size
FOB US Gulf	8-22	4-7	
FOB US Gulf	19-22	4,0	
CFR ARA	41-45	4-5	60 KMT
CFR ITALY	46-50	4-5,5	60 KMT 3 P.
FOB USWC	55-60	2,0	
FOB USWC	+55	3,5	
FOB USWC	+50	4-6	

Pace Green Petroleum Coke Prices USD/MT FOB			
US Port	Jun 05	May 05	2nd Q 04
<b>West Coast</b>			
> 2 % S	25-48	26-46	30-42
< 2 % S	46-55	46-55	40-51
<b>Gulf Coast</b>			
> 50 HGI	11-20	10-20	8-19
< 50 HGI	9-18	8-18	5-18

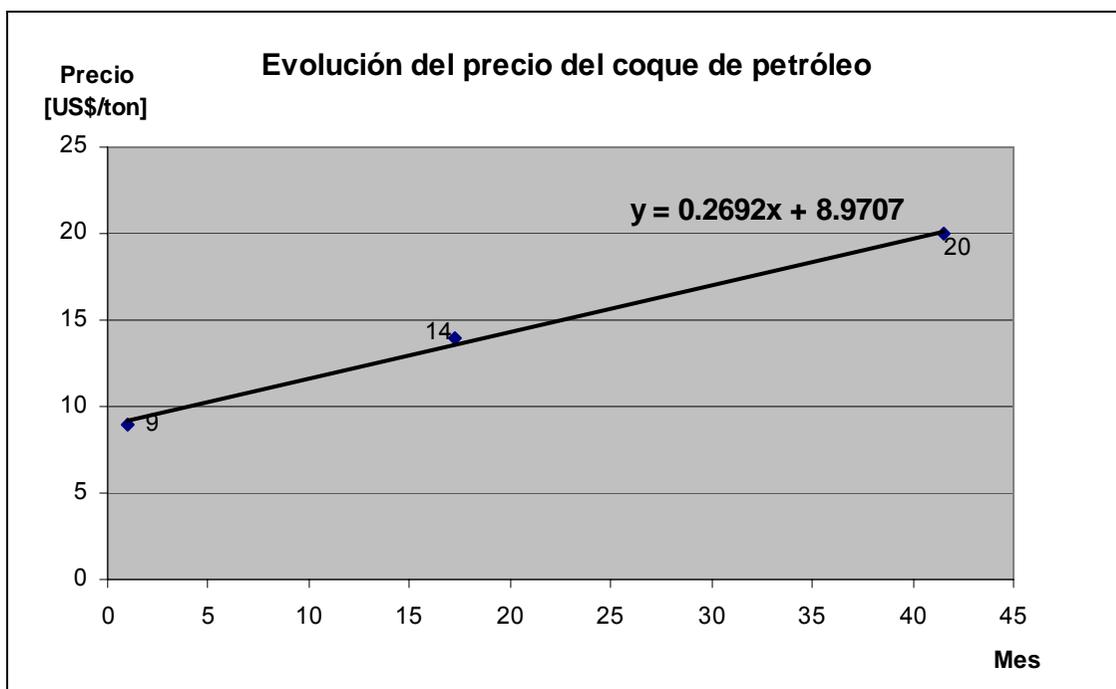
Mediterranean Fuels Delivered Prices \$/MMbtu		
Fuel Type	abr-05	mar-05
> 50 HGI USGC Petcoke	1,53	1,87
High Sulfur Fuel Oil	5,57	4,84
South African Coal	2,77	2,86
Discount Petcoke/Coal %	44,77%	34,62%



Spot Freight Rates provided by Mid-Ship Marine \$/MT			
Route	Tonnage	July 05	June 05
USG/Spanish Med	60.000	17,20	19,90
Rbay/Rotterdam	150.000	11,35	10,20
USWC/Spanish Med	60.000	19,80	22,90
Rbay/Spain Med	60.000	14,50	13,10
P.Bolivar/Rotterdam	150.000	11,90	10,95
USWC/Japan	60.000	20,25	22,25

## Cálculo de la ecuación del costo del coque

Tomando valores de costo específico del coque a 4% de azufre del gráfico anterior para los meses de enero de 2002, junio de 2003 y junio de 2005 se obtuvo el siguiente gráfico:



Mes	Valor en x	Precio [US\$/ton]	Costo [US\$/GJ]
Ene-02	1	9	
Jun-03	17.2	14	
Jun-05	41.6	20	
Jun-06	53.7	23.44	2
Jun-07	65.9	26.71	2.28
Jun-08	78.1	30.00	2.56
Jun-09	90.3	33.27	2.84
Jun-10	102.4	36.55	3.12
Jun-11	114.6	39.82	3.40
Jun-12	126.8	43.11	3.68
Jun-13	139.0	46.38	3.96
Jun-14	151.1	49.66	4.24
Jun-15	163.3	52.93	4.52

## APÉNDICE 20

### RESULTADOS DEL CO-PROCESAMIENTO DE AGUAS DE SENTINA PARA EL PERIODO 2006-2009

	Resultados Anuales			
	2006	2007	2008	2009
<b>Entradas</b>				
Producción de clinker [t clín,'000]	1,726	1,781	1,854	1,930
Producción de cemento [t cem,'000]	2,274	2,354	2,462	2,573
Consumo de AFR [kg, '000]	973	1,992	3,058	4,170
Consumo específico de energía térmica [MJ/t clín]	3,290	3,290	3,290	3,290
Costo de la energía térmica tradicional por GJ [USD/GJ]	2.00	2.28	2.56	2.84
Poder calorífico inferior de la energía térmica tradicional [MJ/kg]	31.50	31.50	31.50	31.50
Poder calorífico inferior de las aguas de sentina [MJ/kg]	33.43	33.43	33.43	33.43
<b>Indicadores de AFR en la planta de cemento</b>				
Consumo específico de AFR [kg AFR/t cli]	0.56	1.12	1.65	2.16
Consumo total de energía térmica [GJ]	5,678,540	5,859,490	6,099,660	6,349,700
Sustitución de energía tradicional [GJ]	32,523	66,584	102,215	139,385
Tasa de sustitución térmica TSR [%]	0.57%	1.14%	1.68%	2.20%
Costo Actual de la Energía Térmica [USD,'000]	12,208	14,136	16,294	18,601
Costo Actual de la Energía Térmica Tradicional [USD,'000]	12,192	14,108	16,253	18,537
4011ECACB0 - 50202001 Petcoke importado [USD,'000]	11,292	13,208	15,353	17,637
4201ECACB0 - Molienda de petcoke [USD,'000]	900	900	900	900
Costo Actual de la Energía Térmica Alternativa [USD,'000]	16	29	40	63
4011ECACB0 - 50299000 Combustibles alternativos [USD,'000]	-21	-46	-75	-113
4301ECACB0 - Preparación & Manejo de Comb. Altern. [USD,'000]	37	74	116	177
Costo Específico Teórico de la Energía Térmica [USD/t clín]	7.10	8.01	8.92	9.82
<b>Costo Específico Actual de la Energía Térmica [USD/t clín]</b>	<b>6.55</b>	<b>7.43</b>	<b>8.30</b>	<b>9.17</b>
Costo específico actual de la en. térmica tradicional [USD/t clín]	6.54	7.42	8.28	9.14
Costo específico actual de la en. térmica alternativa [USD/t clín]	0.01	0.02	0.02	0.03
<b>Beneficio de AFR por Sustitución [USD, '000]</b>	<b>70.2</b>	<b>162.2</b>	<b>277.0</b>	<b>416.1</b>
Equivalente Térmico Económico TEE [%]	0.44%	0.94%	1.43%	1.86%

### Resultados Anuales

2006	2007	2008	2009
------	------	------	------

#### Indicadores del Negocio de la Unidad de AFR

Valor transferido a clientes por co-procesamiento (facturas) [USD,'000]	-24	-54	-83	-113
Valor no transferido a la planta de cemento [USD,'000]	-4	-8	-12	-17
C161EC0AFR - Costo de manufactura corporativa AFR [USD,'000]	27	32	54	65
<b>Beneficio Neto Efectivo de AFR [USD, '000]</b>	<b>-39.976</b>	<b>-53</b>	<b>-87</b>	<b>-129</b>
Costo Especifico Actual de Combustibles [USD/t clin]	7.09	7.96	8.82	9.67
Costo Especifico Actual de Combustibles [USD/t cem]	5.03	5.64	6.25	6.84
<b>Valor Añadido Bruto del Negocio de AFR GAV [USD,'000]</b>	<b>30</b>	<b>109</b>	<b>190</b>	<b>287</b>
Valor Añadido Bruto Especifico del Negocio de AFR [USD/t cli]	0.0	0.1	0.1	0.1

## FUENTES DE CONSULTA

1. ABB “Asea Brown Boverý”, *Emisiones Hornos, EMR\_H1\_Local, EMR\_H2\_Local*, Knowledge Manager Personal Assistant, Holcim Information Platform (HIP), TIS Holcim Ecuador S.A., <http://mscbl00/km/>.
2. AUTORIDAD PORTUARIA DE PUERTO BOLÍVAR (APPB), *Registro de Apoyo Logístico*, Departamento de Operaciones, Puerto Bolívar, 2004.
3. AUTORIDAD PORTUARIA DE PUERTO BOLÍVAR (APPB), *Registro De Buques Por Fecha De Arribo*, Departamento de Operaciones, Puerto Bolívar, 2004.
4. BÖHLER C., *AFR Quality Control Manual*, Holcim Group Support Ltd. (HGRS), Suiza, 2004.
5. DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE Y DEL LITORAL (DIGMER), *Estadísticas Portuarias*, 1990-2004.
6. DIRECCIÓN GENERAL DE LA MARINA MERCANTE Y DEL LITORAL (DIGMER), *Reglamento de Servicios Portuarios para las Entidades Portuarias del Ecuador*, Resolución 110/01, 2001.

7. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL EFFICÁCITAS CONSULTORA CÍA. LTDA., *Addendum Estudio de Impacto Ambiental para Actividades de Gestión de Residuos: Requerimientos Ambientales a las Actividades de Transporte de Residuos Peligrosos al Interior del Cantón Guayaquil*, Fundación Pro-Ambiente, Guayaquil, 2005.
8. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL EFFICÁCITAS CONSULTORA CÍA. LTDA., *Estudio de Impacto Ambiental para Actividades de Co-procesamiento de Residuos en Planta Cerro Blanco*, Holcim Ecuador S.A., Guayaquil, 2004.
9. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL EFFICÁCITAS CONSULTORA CÍA. LTDA., *Estudio de Impacto Ambiental para Actividades de Gestión de Residuos*, Fundación Pro-Ambiente, Guayaquil, 2004.
10. ENGMANN C., *Guide for Application of the Alkali, Sulfur, Chlorine Balance Program v. 2.1*, Holcim Group Support Ltd. (HGRS), 2003.
11. ESPINAL LLUDELIS, *El Consignatario de Buques o Agente Naviero*, <http://www.seic.gov.do/marmerc/consignatario1.htm>, 2005.

12. EUREMI S.A., *From Waste to A.F.R. For Cement Industry*, Volumen 3.2, Liquid Injection Workshop, Holcim Group Support Ltd. (HGRS), 2001.
13. GRASMUCK S. & PAVLU V., *CAPEX Request Versión 1.0*, Holcim Group Support Ltd. (HGRS), 2004.
14. HOLCIM ECUADOR S.A., *PEP Questionnaire Cement Plants*, Planta Cerro Blanco, Guayaquil, 2006.
15. HOLCIM GROUP SUPPORT LTD. (HGRS), *Cement Manufacturing Course*, 2001.
16. HOLCIM GROUP SUPPORT LTD. (HGRS), *Fact Sheet – Different AFR Waste Streams*, Corporate Communications, Suiza, 2003.
17. HOLCIM GROUP SUPPORT LTD. (HGRS), *Sustainable Development – Appendix 2: Environment, CO2 & AFR*, 2003.
18. HOLCIM GROUP SUPPORT LTD. (HGRS), *Technical AFR Assessment Cerro Blanco*, Guayaquil, 2004.
19. HOLCIM LTD., *The AFR Code of Conduct – AFR Policy*, 2004.

20. LABORATORIOS ABC QUÍMICA, INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS S.A.,  
*Informe Ejecutivo de Medición de Emisiones*, Planta Cerro Blanco,  
Guayaquil, 2005.
21. LEVIN I. & RUBIN S., *Estadística para Administración y Economía*,  
Séptima Edición, Editorial Pearson Prentice Hall, México, 2004, pp. 674-  
707.
22. OBRIST A., PAULING D. & FLACHER A., *Low Grade Fuel – Study*,  
Holcim Group Support Ltd. (HGRS), 2001.
23. ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI), MARPOL 73/78,  
Edición Refundida, Londres, 2002.
24. VERTISPEC, *Análisis y Estudio sobre la Disposición de Aceites Usados  
del Sector Naviero Nacional e Internacional así como Sector Pesquero*,  
Guayaquil, 2003.