

Distr.
RESTRINGIDA

LC/R. 1250
5 de febrero de 1993

ORIGINAL: ESPAÑOL

C E P A L

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**TRANSFORMACION PRODUCTIVA AMBIENTALMENTE SUSTENTABLE
EN PEQUEÑAS EMPRESAS: EL CASO DE DOS FUNDICIONES
Y UNA PLANTA DE TRATAMIENTO TERMICO
EN LA REGION METROPOLITANA (CHILE)**

Este documento fue elaborado por la Unidad Conjunta CEPAL/PNUMA de Desarrollo y Medio Ambiente de la División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos, a través del consultor señor Liborio Bustos. Las opiniones expresadas en este trabajo, el cual no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

93-2-102

INDICE

PRESENTACION	<u>Pág.</u> v
ESTUDIO DE CASO N° 1: FUNDICION FERROSA (FUNDICION BRITANIA LTDA.)	1
I. INTRODUCCION	2
II. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	3
A. GENERALES	3
B. SECTORIALES	3
III. SITUACION ESTRUCTURAL PREVIA AL CAMBIO	4
A. PROBLEMATICA.	4
B. OPERACION DE UN HORNO DE CUBILOTE	4
C. CARGA DE UN HORNO DE CUBILOTE	5
D. CONTAMINACION GASEOSA	6
E. CONTAMINACION POR SOLIDOS	6
F. ESTANDARES DE PRODUCCION.	7
G. COSTO DE PRODUCCION	7
IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCION	9
V. SITUACION ESTRUCTURAL DESPUES DEL CAMBIO	11
A. OPERACION DE UN HORNO DE INDUCCION.	11
B. CARGA DEL HORNO DE INDUCCION.	11
C. CONTAMINACION GENERADA.	12
D. ESTANDARES DE PRODUCCION.	12
E. COSTO DE PRODUCCION	12
VI. EVALUACION ECONOMICA	14
VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES	18
ESTUDIO DEL CASO N° 2: AREA METALMECANICA (PARTES DE CHAPA DE ACERO CON TRATAMIENTO TERMICO)	19
I. INTRODUCCION	20
II. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	21
A. GENERALES	21
B. ANTECEDENTES SECTORIALES.	21
III. SITUACION ESTRUCTURAL PREVIA AL CAMBIO	22
A. PROBLEMATICA.	22
B. PROCESO PRODUCTIVO.	22
C. PARAMETROS DE OPERACION	23
D. CONTAMINACION GENERADA.	23

IV.	ALTERNATIVAS DE SOLUCION	25
V.	SITUACION ESTRUCTURAL DESPUES DEL CAMBIO	26
	A. MODIFICACIONES REALIZADAS	26
	B. NUEVOS PARAMETROS DE OPERACION.	26
	C. CONTAMINACION GENERADA.	27
VI.	EVALUACION	28
	A. MEJORAMIENTO AMBIENTAL.	28
	B. EVALUACION ECONOMICA.	28
	C. INDICADORES DE EVALUACION	31
VII.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	33
ESTUDIO DE CASO N° 3: FUNDICION FERROSA (FUNDICION GRIS S.A.)		35
I.	INTRODUCCION.	36
II.	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.	37
	A. GENERALES.	37
	B. SECTORIALES.	37
III.	SITUACION ESTRUCTURAL PREVIA AL CAMBIO.	38
	A. PROBLEMÁTICA	38
	B. OPERACION DE UN HORNO DE CUBILOTE.	38
	C. CARGA DE UN HORNO DE CUBILOTE.	38
	D. CONTAMINACION GASEOSA.	39
	E. CONTAMINACION POR SOLIDOS.	40
	F. ESTANDARES DE PRODUCCION	40
	G. COSTO DE OPERACION DEL HORNO	40
IV.	ALTERNATIVAS DE SOLUCION.	42
V.	SITUACION ESTRUCTURAL DESPUES DEL CAMBIO.	44
	A. CONTAMINACION.	44
	B. ESTANDARES DE PRODUCCION	44
	C. COSTOS DE PRODUCCION	45
VI.	EVALUACION.	46
	A. MEJORAMIENTO AMBIENTAL	46
	B. EVALUACION ECONOMICA	46
VII.	RESUMEN Y CONCLUSIONES.	49
Notas		50
ANEXO N° 1: FIGURAS		51

PRESENTACION

Este trabajo responde a un pedido que el Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC) de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) hizo a la CEPAL, en el marco del proyecto "Políticas para la gestión ambientalmente adecuada de los Residuos", que cuenta con el apoyo de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Este proyecto tiene el objetivo de poner al servicio de los gobiernos de la región las bases necesarias para la formulación y aplicación de políticas para el control y la fiscalización de la contaminación urbana e industrial.

La petición se hizo en relación con las nuevas demandas de asistencia técnica hechas a SERCOTEC de parte de medianas y pequeñas empresas, demandas surgidas de la puesta en vigencia del Decreto Supremo N°4 del Ministerio de Salud de Chile, publicado en el Diario Oficial el día 2 de marzo de 1992, y que establece regulaciones de emisiones de material particulado de fuentes estacionarias en la Región Metropolitana, a partir del 31 de diciembre de 1992.

Cabe recordar que desde 1990, la CEPAL, en el marco de las actividades del proyecto CEPAL/GTZ, ha contribuido en diversas formas a la formulación y promulgación del Decreto N°185 del Ministerio de Minería, publicado en el Diario Oficial el 16 de enero de 1992, y del Decreto N°4 del Ministerio de Salud ya mencionado.

Otra forma de la cooperación que podía prestar la CEPAL en el marco del proyecto mencionado era hacer estudios de caso de empresas medianas y pequeñas que fueran afectadas por la normativa del DS N°4, y que ilustrara con ejemplos las ventajas económicas que pudieran derivarse de cambios tecnológicos que tuvieran por finalidad controlar sus emisiones.

Los tres estudios que aquí se presentan cumplen ese objetivo: ilustrar la transformación productiva y sus ventajas económicas y ambientales para medianas y pequeñas empresas.

En los marcos del proyecto mencionado se están haciendo otros estudios que se dirigen al mismo objetivo, y que serán dados a conocer en su oportunidad. Esperamos que nuestras contrapartes, tanto en Chile como en los otros países en que actúa el proyecto, encuentren utilidad en la información aquí entregada.

ESTUDIO DE CASO N° 1

EMPRESA: Fundición Britania Ltda.

ESPECIALIDAD: Fundición ferrosa

LOCALIZACION: Santiago de Chile

I. INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es presentar y analizar el caso de una empresa de tamaño mediano que produce elementos de fundición ferrosa. Esta empresa se vio en la necesidad de realizar un cambio tecnológico motivado por el desafío de aumentar el valor agregado de sus productos y, simultáneamente, disminuir los niveles de contaminación que superaban los límites permitidos por la legislación vigente.

Las fundiciones en general son industrias que generan gases y polvo contaminante en grandes magnitudes. Cuando el impacto ambiental es severo afecta no sólo al local de la industria sino además al vecindario; cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables, afectan al entorno de la población en que está localizada. En esta eventualidad las empresas contaminantes son obligadas a paralizar su funcionamiento, medida aplicada en periodos de emergencia ambiental por la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana (CEDRM).¹

Fundición Britania Ltda. es continuadora de la Fundición Santa Elena Ltda., la cual por su tecnología de proceso de fundición en cubilote emitía gran cantidad de contaminantes y estaba afecta a las medidas restrictivas ya mencionadas. Esta situación condujo al empresario que formó la Fundición Britania a estudiar y realizar un cambio tecnológico, decidiendo reemplazar el horno de cubilote por un horno eléctrico de inducción.

La decisión de cambio tecnológico produjo dos resultados interesantes: disminuyó notablemente la contaminación generada por los procesos de la empresa y mejoró la calidad del producto obtenido.

Las materias que aborda este trabajo se relacionan con los progresos logrados, los medios empleados y los beneficios obtenidos.

Se desea agradecer al socio-gerente de la Fundición Britania, por permitir utilizar la información que se presenta en este informe.

II. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

A. GENERALES

Esta empresa es de creación reciente y la formó el empresario que adquirió los activos de la Fundición Santa Elena Ltda. Está localizada en la Región Metropolitana, comuna de Estación Central, sector cercano al centro de Santiago. Por esta razón es especialmente útil la preocupación acerca de la contaminación que genera por los daños que producen en la población.

Las instalaciones de la empresa ocupan una superficie de 5 000 m², de los cuales unos 3 000 mt² corresponden a edificaciones de talleres, servicios y oficinas.

El equipamiento productivo está compuesto principalmente por: un horno de inducción, moldeadoras neumáticas y granalladoras. La empresa no cuenta con servicios de mecanizado, por ello entrega sus productos fundidos, limpios de incrustaciones y restos de materiales adheridos. A esta presentación se denomina base fundición limpia, sin mecanizar. Los modelos necesarios se subcontratan o los proporciona el cliente, según se trate de producción propia o a pedido. La empresa da empleo a 35 trabajadores, de los cuales 28 pertenecen al área productiva.

B. SECTORIALES

Fundición Britania Ltda. se clasifica dentro del sector industrial bajo el ítem CIIU 371, que corresponde a Industrias Metálicas Básicas de Hierro y Acero.

Este sector está compuesto, a nivel nacional, por más de 40 empresas; de ellas, cerca del 80% están localizadas en la Región Metropolitana. Dan empleo a unas 8 500 personas y su Valor Bruto de Producción se estima en US\$ 770 millones.²

III. SITUACION ESTRUCTURAL PREVIA AL CAMBIO

A. PROBLEMÁTICA

La empresa inicialmente utilizaba horno de cubilote para la fusión del metal con lo que generaba altos índices de contaminantes gaseosos y sólidos. Por otra parte, la calidad de la fundición que se produce con esta tecnología es primaria y se reduce a fundición gris, por dificultad de control del proceso. Este tipo de fundición tiene un precio de venta sensiblemente menor que el de la fundición nodular y el acero fundido. Además, el campo de aplicación es restringido a elementos de propiedades mecánicas simples.

Cabe señalar que las regulaciones aplicadas a los contaminantes gaseosos y sólidos por la ley chilena³ establecen que los niveles de contaminación particulada no deben superar los 130 mg/m³. En el año 1993 esta norma se hará más severa disminuyendo el límite a 113 mg/m³. Estas cifras significan un serio desafío para las fundiciones, pues según mediciones realizadas, los niveles de contaminación particulada van de 1.6 a 8 kg/ton (400 a 2 000 mg/metro³ de gas), en el caso del cubilote. Para hornos de inducción la contaminación llega a 0.9 kg/ton de acero producido.

A continuación se presentarán algunos parámetros de operación que caracterizan el funcionamiento de una fundición con horno de cubilote, según valores históricos dados por la empresa, cuando operaba con ese horno.

B. OPERACION DE UN HORNO DE CUBILOTE

Para apreciar las características de funcionamiento de un horno de cubilote, se presenta la Figura 1 (véase Anexo 1) que muestra un corte de la instalación.

Es un horno de chapa de fierro de sección cilíndrica, revestida interiormente con material refractario. En su parte

superior tiene un tragante por el que se carga chatarra y/o lingotes de arrabio, así como coke y caliza, para absorber el azufre. Entre el crisol y la cuba, existen unas toberas para insuflar el aire necesario para la oxidación de los cuerpos que se desea eliminar, especialmente el carbono. La fundición líquida se extrae a través de una piquera y se vacía en moldes especialmente preparados.

C. CARGA DE UN HORNO DE CUBILOTE

La carga de un horno de cubilote está compuesta principalmente por chatarra de hierro a la que se agregan ferroaleaciones para incorporar silicio y manganeso; además se emplea coke metalúrgico, caliza y caolín, en las proporciones indicadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1

CARGA Y CONSUMO DE HORNO DE CUBILOTE
(Por kg. fundido. Valores en pesos)

Material	Cantidad	Costo unit.	Costo total
Chatarra	1.0	26.0	26.0
Ferro-Si	0.023	300.0	6.9
Ferro-Mn	0.007	340.0	2.4
Coke	0.154	120.0	18.5
Caliza	0.056	12.0	0.7
Caolín	0.016	12.0	0.2
Ladrillo	0.013	150.0	2.0
Oxígeno	0.020	280.0	5.6
Energía	0.014	14.2	0.2

Fuente: Fundición Britania Ltda.

Se aprecian las cantidades de materiales por kg de hierro fundido, a lo que se agrega el oxígeno que se insufla al cubilote, el consumo de refractario y la energía eléctrica consumida para mover el ventilador y el sistema de carga de materiales.

D. CONTAMINACION GASEOSA

El Cuadro 2 muestra que el horno de cubilote produce, en promedio, cerca de 4 m³ de gases por kg de fierro fundido:

Cuadro 2

CONTAMINACION GASEOSA DEL HORNO DE CUBILOTE
(Por kg. fundido)

Gases en los humos	m ³ / kg
CO	1.000
CO ₂	0.513
N ₂	2.27
H ₂ O	0.131
SUB-TOTAL GASES	3.922

Fuente: Balance de materiales del proceso de fusión.

Los gases de la tabla se producen como consecuencia de:

- Operación de hornos de cubilote
- Colada, espumado y transporte del caldo
- Moldes recién colados

Entre los gases, el monóxido de carbono (CO) es el de mayor riesgo para la salud, pues desplaza al oxígeno de la hemoglobina de la sangre.

E. CONTAMINACION POR SOLIDOS

Durante las operaciones de la fundición: carga, operación y mantenimiento, se generan polvos minerales y de origen orgánico. Los primeros tienen tamaños comprendidos entre 0.1 a 200 micras. Por desgracia predominan los tamaños menores a 1 micra. Esto constituye un riesgo para los que respiran, pues las mucosas del sistema respiratorio humano son incapaces de captarlas y eliminarlas, por lo que pasan directamente a los pulmones. Quizás la forma más eficiente de captarlas es mediante un filtro de tela.

Los polvos orgánicos se producen cuando la chatarra sucia trae grasa, aceite o caucho. Durante la colada, también es posible que se formen estos contaminantes, por descomposición térmica de los materiales orgánicos contenidos en el molde.⁴

F. ESTANDARES DE PRODUCCION

1. Mano de obra directa

La mano de obra directa necesaria para operar el cubilote totaliza seis hombres, que se distribuyen de la siguiente forma: tres cargadores, un pinchador, un preparador y arreglador de la cuchara de colada y un hornero.

Se restringió el análisis al cubilote pues el cambio tecnológico afecta sólo a este proceso de manera que el resto de la mano de obra permanece constante.

2. Energía

El cubilote consume 0.014 KWH por kg de fierro fundido. Esta energía se emplea para el ventilador que impulsa el aire dentro del horno y para mover materiales (sistema de carga).

3. Mantenición

Durante el proceso de fundición el material refractario de revestimiento reacciona y se gasta. Considerando la tasa de producción, dura un día y luego hay que cambiarlo. El consumo de refractario se estima en 0.015 kg/kg de fierro.

4. Espacio de almacenamiento

La operación del horno requiere asegurar un flujo constante de insumos por lo que se requiere espacio techado de bodega para el coke y caliza que alcanza a 300 m².

G. COSTO DE PRODUCCION

Para preparar el perfil de costos de producción, se calculó el consumo de cada ítem de acuerdo al balance de materiales y luego se le valorizó a precios de 1991, según información de la empresa.

Los valores calculados corresponden al costo de operación de horno, excluyendo los gastos generales, dado que éstos se desconocen. Esta omisión no subestima los costos dado que se aplicará análisis marginal de inversiones para evaluar el cambio tecnológico. El resto de la mano de obra directa que prepara la arena y los moldes para fundir y que luego granalla las piezas fundidas, así como el personal que realiza tareas administrativas, no experimenta modificaciones con el cambio tecnológico; debido a ello no es relevante para el cálculo.

A continuación se presenta el Cuadro 3 que contiene los valores de costo de producción para una fabricación anual de 1 840 toneladas, que es la producción anual de la empresa.

Cuadro 3

COSTO DE OPERACION CUBILOTE
(Miles de pesos por año, para 1 840 ton.)

Item de costo	Costos fijos	Costos variab.
Mano de obra	6 480	
Depreciación	700	
Mantenición	3 680	
Chatarra		47 840
Ferro-Si		12 693
Ferro-Mn		4 379
Coke		34 003
Caliza		1 237
Caolín		353
Oxígeno		10 304
Energía eléctrica		366
SUBTOTALES	10 860	111 175
COSTO TOTAL		122 035

IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

El caso analizado muestra que los problemas que se presentan se centran en dos aspectos: a) la contaminación que produce el proceso; si no se controla oportunamente, impedirá operar la empresa cuando ocurran episodios críticos de contaminación en Santiago; y b) el bajo precio de venta del producto que se obtiene, por dificultad de control del proceso. Ambos problemas derivan de la tecnología utilizada.

La literatura especializada propone diversas alternativas de solución a estos problemas. Estas se centran en el control de las actividades que producen contaminación; es decir: fusión; colada; enfriamiento preliminar de moldes; desmoldeo; enfriamiento de piezas; desbarbado y preparación de la arena.⁵

En la fusión los cubilotes producen partículas de polvo con diámetros entre 0.1 a 200 micras, con predominio de tamaños menores a una micra. En estas condiciones la práctica recomienda emplear filtros de bolsa o de tela.

En el desmoldeo se genera gran cantidad de polvo. Para controlarlo se emplean campanas que rodean la operación y extraen el polvo, a veces se las aísla acústicamente, para disminuir el nivel de ruido.

La preparación de arenas también desprende polvo, tanto si se realiza manualmente como en forma mecanizada, la solución es encapsular el sistema y extraer el polvo mediante un ventilador.

En el desmoldeo el problema es similar y se controla en igual forma.

El polvo colectado mediante campanas de succión se conduce a un sistema de separación por ciclón o multiciclón para partículas de mayor tamaño. Para tamaños medios se emplea Scrubber o torre de lavado de gases y filtros de bolsa y aún precipitadores electrostáticos para tamaños pequeños. Todas estas soluciones suponen una inversión que puede llegar a U\$ 10 000 las primeras, a U\$ 100 000 las segundas y cercana al medio millón las últimas.⁶

Una alternativa adicional es cambiar la tecnología de producción, que fue la solución adoptada por el empresario. En efecto, para satisfacer las restricciones al problema se eligió cambiar el cubilote por un horno de inducción. Este cambio contempló la importación del horno señalado (usado y completo, con crisoles, paneles de control y comando, fuente de energía, componentes eléctricos y electrónicos), su instalación y el aumento de potencia eléctrica instalada. Todo lo anterior significó una inversión de \$ 40 millones en 1992.

V. SITUACION ESTRUCTURAL DESPUES DEL CAMBIO

El cambio tecnológico realizado (horno de cubilote por horno eléctrico) presenta varias ventajas. Desde luego se elimina la contaminación particulada que genera el cubilote, del mismo modo se reduce el movimiento de materiales (coke y caliza) que desprende polvo y ya no se necesita el espacio en que éstos se almacenaban.

Todos estos cambios reducen las necesidades de dispositivos para captar partículas (ciclones, scrubber, filtros de bolsa) que son de alto costo y permite producir fundición nodular, la cual tiene mayor valor agregado que la fundición gris que producía el cubilote, debido a un mejor control del proceso.

A. OPERACION DE UN HORNO DE INDUCCION

El horno eléctrico aprovecha el efecto de la inducción mediante una bobina dentro de la cual se pone el material a fundir que hace las veces de secundario de una bobina de inducción.

B . CARGA DEL HORNO DE INDUCCION

Los insumos que se introducen al horno para su operación son los que se detallan en el Cuadro 4 y consisten en chatarra, ferroaleaciones y energía.

Cuadro 4

CARGA Y CONSUMO ANUAL HORNO DE INDUCCION (Por kg fundido. En pesos)

Material	Cantidad	Costo unit.	Costo total
Chatarra	1.000 kg	40	40
Ferro-Si	0.023 kg	300	6.9
Ferro-Mn	0.007 kg	340	2.4
Energía eléc.	1.000 KW	14.2	14.2

Fuente: Fundición Britania Ltda.

C. CONTAMINACION GENERADA

Los hornos de inducción se emplean para fundir chatarra de fierro o acero. Como no se refina en este proceso, prácticamente no se generan gases contaminantes.⁷ La cantidad de polvo generado depende de si la operación se realiza a techo descubierto o cerrado. En el primer caso, se produce 0.9 kg/ton y en el segundo 0.2 kg/ton. El polvo es arrastrado verticalmente hacia arriba debido al flujo térmico ascendente producido por el baño.

D. ESTANDARES DE PRODUCCION

1. Mano de obra directa

Esta se reduce a un hornero y su ayudante.

2. Energía

El consumo de energía aumenta hasta 1 kwh por kg de fierro fundido.

3. Mantenición

El costo de mantención corresponde al cambio de revestimiento. Este dura 200 coladas antes de necesitar reposición, por lo que el costo por este concepto asciende a \$0.8 por kg producido.

4. Depreciación

La inversión de \$ 40 millones se deprecia en 10 años, a razón de \$ 4.0 millones anuales.

E. COSTO DE PRODUCCION

Para fines comparativos el costo de producción se estructuró en forma similar al del cubilote.

A continuación se presenta el Cuadro 5 que contiene la estructura de costo para el horno de inducción:

Cuadro 5

COSTO DE OPERACION HORNO INDUCCION
(Miles de pesos por año, para 1 120 tón.)

Item de costo	Costos fijos	Costos variab.
Mano de obra	2 166	
Depreciación	4 000	
Mantenición	896	
Chatarra		44 800
Ferro-Si		7 728
Ferro-Mn		2 666
Energía eléctrica		15 904
SUBTOTALES	7 062	71 098
TOTAL		78 160

Al igual que en el caso del cubilote, los costos variables son sensiblemente mayores que los fijos, lo cual se explica por que no se consideran los gastos administrativos ni la mano de obra indirecta.

VI. EVALUACION ECONOMICA

La decisión de cambio tecnológico presentada en este caso depende no solo de considerar los beneficios económicos que logrará la empresa como consecuencia del cambio, sino también del impacto social derivado de disminuir los niveles de contaminación por gases y partículas. En este caso solo se abordará la evaluación desde el punto de vista privado. En cuanto a la metodología a aplicar, se optó por la técnica de análisis de costos y beneficios marginales.⁸

El análisis marginal de inversiones se presta especialmente para este caso dado que se desea medir la ventaja económica de reemplazar una tecnología en uso por otra más moderna.

La inversión correspondiente al cubilote corresponde a un costo hundido que se realizó en el pasado y ninguna decisión actual logrará que ese costo pasado se modifique; por ello no se tomará en cuenta en la evaluación. Sin embargo, si se decide invertir en el horno de inducción, es probable que el cubilote se pueda liquidar como chatarra. Para fines de cálculo se le asignó un valor residual equivalente a 10% de lo que costó.

Otros costos que merecen consideración especial, son los costos administrativos. En efecto, éstos permanecen en ambas alternativas, por consiguiente si se evalúa un proyecto ficticio formado por la diferencia de los flujos de caja de ambas alternativas, los costos administrativos desaparecen, lo que simplifica los cálculos.

Las variables a considerar para la evaluación son en definitiva las siguientes:

Los ingresos por venta, que en el caso de la tecnología de cubilote eran 400 \$/kg, para la fundición gris y, 650 \$/kg para la tecnología de horno de inducción, permite agregar valor al producir fundición nodular. Sin embargo el volumen de producción anual disminuye al pasar del cubilote al horno de inducción. En el primer caso se funden 1 840 ton/año de fundición gris; en el segundo caso, sólo 1 120 ton/año de fundición nodular. En estas condiciones los ingresos por venta disminuyen desde 736 000 000 \$/año a 728 000 000 \$/año.

Los costos de operación disminuyen aún más violentamente que los ingresos (véanse cuadros 3 y 5), desde 112 035 000 \$/año a 78 160 000 \$/año, al pasar de cubilote a horno de inducción.

Esta disminución de costos, ascendiente a \$ 33 875 miles, compensa con creces la disminución que experimentan los ingresos por un menor volumen de ventas.

A continuación se presenta el Cuadro 6 conteniendo los valores de la evaluación económica:

Cuadro 6

EVALUACION DEL CAMBIO TECNOLOGICO
(Valores en \$ miles)

Año	Invers. deprec)	Ahorro costos	Perd. ingres.	Utilid. margin.	Impto.	Flujo caja
0	40 000	700				-39 300
1	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
2	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
3	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
4	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
5	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
6	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
7	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
8	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
9	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
10	4 000)	33 875	8 000	25 875	2 588	27 287
11	4 000					

Supuestos de cálculo

a) Se consideró un valor de liquidación del cubilote como chatarra de \$700 000, disponibles en el año 0.

b) La inversión inicial y reparaciones mayores realizadas en el cubilote durante su vida útil son hechos acontecidos en el pasado, en estas condiciones se les considera costos hundidos e irre recuperables, luego no influyen en la decisión de reemplazo y no aparecen en el cómputo.

c) Para obtener el flujo de caja del proyecto se considera la diferencia de costos operacionales y se le resta la disminución de las ventas. Se obtiene así la utilidad marginal bruta, a la cual se le resta el monto de impuesto correspondiente para encontrar la utilidad neta. Finalmente, a la utilidad neta encontrada se le adiciona el valor de la depreciación y se encuentra el valor del flujo de caja marginal del proyecto. El flujo de caja marginal hace desaparecer todas las partidas de costo que permanecen constantes en ambas alternativas, como es el caso de los gastos generales.

d) La tasa de impuesto a la utilidad marginal es 10%.

e) Se consideró un valor residual correspondiente al horno de inducción equivalente a 10% de la inversión y recuperable al término de la vida útil del proyecto en el año 11.

Para evaluar la decisión de cambio tecnológico se empleará como criterios el Valor Actual Neto Marginal (VANM) y la Tasa Interna de Retorno Marginal (TIRM). El primero mide el flujo actualizado a la tasa de interés de referencia (15%) de las inversiones, flujos de caja marginal y valor residual. Si este valor es positivo a la tasa considerada, la decisión de cambio tecnológico es correcta.

La tasa interna de retorno marginal mide la tasa de interés que hace equivalentes el valor actual del flujo de caja marginal, el valor residual, y la inversión. Si el valor de esta tasa es mayor que el valor de la tasa de referencia la decisión de cambio tecnológico es adecuada.

Por cierto durante la vida útil del proyecto es probable que se produzcan procesos inflacionarios. Si esto ocurre afectará a los flujos monetarios (ingresos y costos); no ocurre lo mismo con la inversión y depreciación que son no monetarios,⁹ lo que deforma el flujo de caja haciendo aparecer el proyecto más ventajoso de lo que realmente es. En estas condiciones es recomendable realizar una corrección por inflación al TIR marginal, o lo que es lo mismo, deflactar el flujo de caja.

A continuación se presentan los cálculos realizados (cifras en millones de pesos):

$$VANM = -40.0 + 27.3 \times \left[\frac{1}{1+i} + \dots + \frac{1}{(1+i)^{10}} \right] + 4.0 \times \left[\frac{1}{(1+i)^{11}} \right]$$

Para $i = 15\%$ y una vida útil de 10 años, el VAN marginal = \$ 97 710 000. El TIR marginal del proyecto es de 69.1%.

VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El caso presentado en este trabajo analiza y evalúa los efectos de un cambio tecnológico, que reemplaza un proceso de fundición en horno de cubilote, por otro en horno de inducción.

Este cambio está destinado a mejorar la competitividad de la empresa al permitirle aumentar el valor agregado a su producto principal, pasando de fundición gris a fundición nodular.

Simultáneamente el cambio tecnológico disminuye las emisiones de contaminantes gaseosos y particulados, debido a las características del proceso de fundición en horno de inducción.

La evaluación económica de la modificación muestra que es ventajosa, lo que se manifiesta por un valor actual neto marginal positivo y una TIR marginal muy atractiva.

ESTUDIO DE CASO N° 2

EMPRESA: Area metalmecánica

ESPECIALIDAD: Partes de chapa de acero,
con tratamiento térmico

LOCALIZACION: Santiago de Chile

I. INTRODUCCION

La finalidad de este trabajo es hacer el análisis del caso de una empresa metalmecánica de tamaño mediano, la cual ha efectuado un cambio importante en su proceso productivo.

El cambio indicado ha consistido en el reemplazo del petróleo por gas licuado como elemento combustible utilizado en el horno de tratamiento térmico que posee. Los objetivos del cambio señalado tienen por finalidad el logro de una mayor eficiencia energética y una reducción sustancial de las emanaciones gaseosas generadas en la condición original.

Aún cuando la empresa no ha sido afectada por las restricciones a la contaminación ambiental,¹⁰ los menores niveles permitidos a partir de 1993 la habrían llevado a sufrir sanciones legales de paralización y multas. Ante tal eventualidad se decidió efectuar oportunamente los cambios que redujeran drásticamente las emisiones contaminantes, especialmente de tipo atmosférico.

Las materias que se desarrollan en este trabajo dicen relación con los progresos realizados, los medios utilizados y los resultados obtenidos.

II. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

A. GENERALES

La empresa se dedica a la fabricación de partes de chapa de acero, las cuales se obtienen por conformación de la materia prima en prensas mecánicas y tratadas térmicamente por temple y revenido.

En esta empresa trabaja un total de 35 personas. Sus instalaciones están ubicadas en la ciudad de Santiago, ocupando una superficie de terreno de 12 000 m².

Inició sus actividades hace 25 años y ha progresado hasta atender gran parte de las necesidades del mercado interno, referido a sus productos especializados, exportando parte de su fabricación a mercados de Sud y Norteamérica.

La empresa posee un equipamiento productivo constituido principalmente por:

- Guillotina para corte de chapa de acero
- Prensas mecánicas
- Tornos paralelos
- Taladros de columna
- Horno para tratamientos térmicos

B. ANTECEDENTES SECTORIALES

La empresa de este caso pertenece al sector industrial de clasificación CIIU 381 correspondiente a "Fabricaciones de Productos Metálicos, exceptuando maquinarias y equipos".

El sector indicado está compuesto en Chile por 360 establecimientos industriales, los cuales dan en conjunto ocupación a un total de 25 000 personas aproximadamente, con un valor bruto de la producción de US\$ 880 millones.¹¹

III. SITUACION ESTRUCTURAL PREVIA AL CAMBIO

A. PROBLEMATICA

La empresa utilizaba petróleo diesel No.2 como combustible en el horno de tratamiento térmico. Dado el volumen de operación fabril, la generación de gases alcanzaba a 4 750 m³ diarios. Se suma a la anterior la emisión de partículas en niveles objetables de acuerdo a la nueva normativa prevista para 1993.¹²

Por otra parte, la eficiencia térmica obtenida era sólo regular, perdiéndose un 20% del poder calórico en la combustión. Lo anterior ocurría a causa del contenido calórico que llevaban los gases de escape.

La problemática anterior determinó que, en este caso, se decidiera estudiar el cambio de combustible como una forma de controlar las emisiones a la atmósfera y elevar la eficiencia energética.

B. PROCESO PRODUCTIVO

Como una forma de apreciar la incidencia operativa del cambio efectuado, véase la Figura 2 del Anexo 1 en el que se esquematiza el proceso realizado y las operaciones efectuadas.

Se destacan los aspectos que siguen :

- La materia prima empleada es acero en láminas (o planchas) de 3.0 a 8.0 mm de espesor.
- Se procede a cortar las plantillas en guillotina
- Se corta la forma en prensas excéntricas
- Se perfora en taladro de columna
- Se somete a proceso de temple en el horno
- Se somete a baño de aceite de templado
- Se realiza operación de revenido en el horno
- Se efectúa terminaciones de superficie

C. PARAMETROS DE OPERACION

En el funcionamiento del horno, empleando petróleo diesel No. 2, se daban los siguientes parámetros (en que los consumos están basados en un volumen de 80 ton mensuales de producto):

- Consumo de petróleo: 8 000 lt por mes
- Poder calorífico: 8 634 kcal/lt
- Rendimiento del petróleo: 80%
- Aire requerido por 1 000 kcal: 1 302 m³
- Gases producidos: 11.88 m³/lt
- Mantención, en período de operación: 20 horas/mes

- Composición de los gases (base seca, % en volumen):

CO ₂	:	8.65
N ₂	:	87.93
O ₂	:	3.42

- Contenido calórico de los gases a 900° C (kcal/m³ de gas):

CO ₂	:	37.81
N ₂	:	244.09
O ₂	:	10.00

TOTAL:

 291.90

- Calor total en los gases (por 1.376 m³): 401.65 kcal
- Aceite de templado consumido: 220 lt/mes

D. CONTAMINACION GENERADA

1. Gaseosa

La contaminación gaseosa proviene de dos fuentes de origen: la combustión del petróleo y el aceite de templado adherido a las piezas. Este último es quemado en el segundo tratamiento térmico de revenido.

Se conoce, con grado de aproximación aceptable, el volumen de gases generados por efectos de quemar el combustible y eliminación del aceite mencionado.

Los volúmenes en base al nivel de operación de la empresa son los que siguen:

Volumen del combustible:	95 040 m ³ /mes
Volumen del aceite:	3 240 m ³ /mes

No existen antecedentes confiables que permitan establecer la composición de los gases de salida.

En el caso del combustible, siempre que la combustión fuera completa, se tendrían los siguientes volúmenes de gases de salida (base seca, a 900C°):

CO2	:	8 278	m ³ /mes
N2	:	84 153	"
O2	:	3 274	"

TOTAL	:	95 705	

En la realidad, la combustión es incompleta y se generan proporciones variables de CO. Estas últimas no han sido determinadas.

Por efectos de la quema del aceite de templado se libera una cantidad menor de gases, con una composición similar a la del combustible, siendo válidas las mismas consideraciones de aparición de CO en la salida.

2. Sólida

A raíz de la combustión del petróleo diesel (eficiencia del 80%), se liberan partículas sólidas de carboncillo finamente dividido (tamaño entre 0.01 y 0.20 micras). Aún cuando no existen mediciones experimentales en este caso puede estimarse, por comparación con valores obtenidos en otras empresas, que la contaminación de partículas alcanzaría a un nivel entre 150 y 180 mg/m³ de gases producto de la combustión.

Por su parte, la combustión brusca e incompleta del aceite de templado produce una cantidad, también estimada, de 300 a 350 mg/m³.

Cabe señalar que sólo en algunas horas de funcionamiento del horno (período de templado) ambos efectos se suman. En tales ocasiones se libera, aproximadamente, una cantidad de partículas de 450 a 530 mg/m³ de gases generados.

IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

La empresa consideró algunas alternativas de solución a su problema, con los resultados que se indican a continuación:

- Cambio de combustible de petróleo diesel No.2 a kerosene. Se estableció que en este caso los efectos contaminantes disminuían levemente, siendo el costo superior al actual.

- Cambio del combustible por calentamiento eléctrico. Se determinó que esta alternativa era irrealizable por el alto costo de la energía eléctrica, además de requerir un aumento importante de la capacidad instalada en kva. Esto último precisa de una inversión inicial considerable (UF 5.40, equivalentes en la actualidad a \$ 48 384, por kva adicional a contratar con la Cía. de Distribución Eléctrica).

- Cambio del combustible por gas licuado. Solución adoptada, en base a economía energética y disminución sustancial de las emanaciones al ambiente.

V. SITUACION ESTRUCTURAL DESPUES DEL CAMBIO

A. MODIFICACIONES REALIZADAS

Fundamentalmente el cambio ha significado modificar la estructura del horno existente, en la forma que se indica a continuación:

- Instalación de estanque de almacenamiento de gas licuado.
- Tendido de tuberías para la conducción del gas hasta los quemadores en el horno.
- Reemplazo de los quemadores de petróleo por los requeridos para el nuevo combustible.

Cabe señalar que, en este tipo de instalaciones industriales, la compañía suministradora del gas licuado coloca, sin costo para el nuevo cliente, el estanque de almacenamiento del mencionado gas.

Para la empresa en estudio la inversión representó, por este concepto, la suma de 2.5 millones de pesos.

Por otra parte, se diseñó y construyó un sistema de remoción del aceite de templado, de forma que las piezas ingresen al segundo tratamiento térmico (revenido) sin el aceite señalado.

Esta última instalación significó una inversión de 1.9 millones de pesos.

B. NUEVOS PARAMETROS DE OPERACION

La nueva condición de operación del horno de tratamiento térmico utilizando gas licuado como combustible ha determinado que se consigan los parámetros de operación que siguen:

- | | | |
|--|---|------------------------|
| - Consumo de gas licuado (para una producción de 80 ton/mes) | : | 9 580 lt |
| - Poder calorífico del gas licuado | : | 5 883 kcal/lt |
| - Rendimiento del G.L. | : | 98% |
| - Aire requerido por 1 000 kcal | : | 1 156 m ³ |
| - Mantención en período de operación | : | 6 hrs/mes |
| - Gases producidos | : | 6.8 m ³ /lt |

- Composición de los gases (base seca, % en volumen):

CO ₂	:	12.37
N ₂	:	85.57
O ₂	:	2.06

- Contenido calórico de los gases (kcal/m³ de gas, a 900°C):

CO ₂	:	54.07
N ₂	:	237.54
O ₂	:	6.02

TOTAL:

297.63

- Calor total en los gases: 344.03 kcal
 - Aceite de templado quemado: rastros

C. CONTAMINACION GENERADA

1. Gaseosa

Habiéndose eliminado el aceite de templado, luego de esa operación ya no hay desprendimiento gaseoso ni sólido por ese concepto. Las emanaciones gaseosas provienen, exclusivamente, de la combustión del gas licuado. En base a los volúmenes de operación de la empresa, el nuevo volumen de gases generados es de 65 144 m³ por mes y de 6.8 m³ por litro de gas licuado quemado.

La composición de los gases, suponiendo una combustión completa, sería la siguiente (base seca, % en volumen):

CO ₂	:	12.37
N ₂	:	85.57
O ₂	:	2.06

Cabe indicar que en la práctica la combustión no es completa, liberándose una proporción de CO en los gases.

2. Sólida

Las cadenas moleculares del gas licuado (propano, butano) son significativamente menores (más cortas) que las del petróleo. Esto determina que la combustión sea más completa y se produzca una proporción sustancialmente menor de partículas sólidas.

Se estima que en el gas licuado el escape de partículas es mínima. De hecho en las mediciones de productos de la combustión sólo se ha encontrado trazas de partículas sólidas.

VI. EVALUACION

A. MEJORAMIENTO AMBIENTAL

Este aspecto se refiere, fundamentalmente, a la contribución de los cambios al mejoramiento del ambiente. El progreso se traduce en los siguientes resultados:

1. Disminución de emanaciones

Se generaba, al mes, un total de 98 280 m³; actualmente se liberan 65 144 m³ mensuales. En consecuencia, se ha reducido la generación de gases en un 34%, aproximadamente.

Por otra parte, al ser de mayor eficiencia la combustión (98% con gas licuado, contra 80% con petróleo), la cantidad de gases nocivos (CO especialmente) es notoriamente menor.

2. Disminución de partículas

Este aspecto ha mejorado en forma notable; de unos 470 mg/m³, en el caso más desfavorable, se ha pasado a casi eliminar totalmente la emisión de partículas. En estas condiciones la empresa cumple con todas las normativas de control ambiental, habiendo efectuado una contribución importante a la comunidad.

B. EVALUACION ECONOMICA

La evaluación privada se efectuará considerando exclusivamente el impacto directo del cambio producido. Es decir, se calcularán los beneficios por el cambio de combustible, manteniendo constantes todos los otros componentes del costo de producción.

Se procede a valorizar los elementos de los costos diferenciales que siguen:

- Combustible: se gastaba, con petróleo diesel, un total de 8 000 lt/mes, con un costo total de \$ 658 640. En la actualidad, con gas licuado, se consume (para igual volumen de producción) una cantidad de 9 584 lt con un valor total de \$ 854 605. El costo se ha incrementado, por este concepto, en \$ 195 965 al mes.

- **Mantenición:** se empleaban 20 horas en mantención al mes y ahora se utilizan 6 horas en el mismo período. Se produce un ahorro de 14 horas mensuales, con un costo asociado de \$ 11 785.

- **Eficiencia energética:** con gas licuado se emplea una menor cantidad de aire para la combustión (1 376 m³ con petróleo contra 1 156 m³ con G.L.; ambas cifras por 1 000 kcal).

La situación anterior se traduce en un ahorro de \$ 92 260 mensuales, por efecto del contenido calórico que es aprovechado en el horno, el cual no es desperdiciado en los gases de salida.

- **Volumen de producción:** por efectos de una menor mantención operativa al horno, ajustes y correcciones durante el proceso, se produce un ahorro de 14 horas mensuales. Esto determina que se aumente el volumen de producción en un 10.0%. Traducido a facturación, este hecho genera ingresos adicionales por \$ 8.49 millones mensuales. Suponiendo una utilidad bruta de 7.5% sobre las ventas, la cifra anterior representa un incremento de \$ 637 000 mensuales.

- **Aceite de templado:** ha representado una inversión de \$ 1.9 millones, aumentando el costo de elaboración en \$ 80 000 al mes.

RESUMEN:

Como balance de la evaluación privada se obtienen las cifras del Cuadro 1 que se acompaña:

Cuadro 1

BALANCE ECONOMICO (Valores en \$ miles)

Componente	Mayor valor	Menor valor	Resultado
Combustible	196		- 196
Mantenición		11.8	11.8
Efic. energía		92.2	+ 92.2
Vol. producc.			+ 637.0
Elim. aceite			- 80.0
RESULTADO NETO			441.4

A continuación se procede a efectuar la evaluación económica del cambio tecnológico, considerando solamente los aspectos operacionales que han experimentado variación. En este sentido, la

evaluación se hará con una metodología de análisis de costos y beneficios marginales.¹³

Los parámetros de evaluación a considerar son los que se indican a continuación:

- Inversiones: los recursos invertidos para el cambio tecnológico ascienden a \$ 4.4 millones.

- Costos generales: permanecen constantes y no influyen en la comparación que se efectúa.

- Costo del combustible: aumenta en \$ 2 352 miles por año.

- Costo de mantención: disminuye en \$ 142 miles por año.

- Ahorro de energía: asciende a \$ 1 106 miles por año.

- Costo por remoción del aceite de templado: aumenta en \$ 960 miles anuales.

- Aumento producción: por efecto del aumento de producción la utilidad se incrementa en \$ 7 644 miles por año.

UTILIDAD MARGINAL: como resultado de los ahorros y aumentos señalados, se produce una mayor utilidad bruta de \$ 5 297 miles. (Cifra obtenida del Cuadro 1, traducida a base anual.)

Con los valores anteriores y suponiendo una vida útil de 10 años del proyecto de cambio tecnológico, se ha construido el Cuadro 2 que se presenta a continuación:

Cuadro 2

FLUJO DEL PROYECTO
(Cifras en \$ miles)

Año	Inversión deprec.)	Utilid. marg.	Impuesto	Flujo de caja
0	4 400			-4 400
1	440)	5 297	530	5 207
2	440)	5 297	530	5 207
3	440)	5 297	530	5 207
4	440)	5 297	530	5 207
5	440)	5 297	530	5 207
6	440)	5 297	530	5 207
7	440)	5 297	530	5 207
8	440)	5 297	530	5 207
9	440)	5 297	530	5 207
10	440)	5 297	530	5 207

Bases de cálculo:

- a) El valor residual de los elementos retirados del horno, por efectos del cambio, ha sido depreciado.
- b) Las inversiones se deprecian en 10 años, en forma lineal.
- c) El impuesto a la utilidad marginal es de 10% .
- d) El valor del flujo de caja del proyecto se obtiene sumando la utilidad marginal neta y la depreciación.
- e) El flujo de caja marginal hace desaparecer todas las partidas de costo que permanecen constantes en ambas alternativas, como son todos los ítems de costos indirectos.

C. INDICADORES DE EVALUACION

Para evaluar la decisión del cambio tecnológico se empleará como criterio el valor actual neto marginal y la tasa interna de retorno marginal.

El primero, mide el flujo actualizado a la tasa de interés de referencia (15%) de las inversiones, los flujos de caja marginales

y el valor residual. Si este valor es positivo a la tasa considerada, la decisión del cambio tecnológico es correcta.

La tasa interna de retorno marginal mide la tasa de interés que hace equivalente el valor actual del flujo de caja, el valor residual y la inversión. Si el valor de esta tasa es mayor que la tasa de referencia la decisión del cambio es acertada.

A continuación se presentan los resultados de los cálculos efectuados:

$$VANM = -4400 + 5207 \times \left[\frac{1}{(1+i)} + \dots + \frac{1}{(1+i)^{10}} \right] + 440 \times \frac{1}{(1+i)^{11}}$$

Para $i = 15\%$ y una vida útil de 10 años el Valor Actualizado Neto Marginal (VANM) resulta ser de \$ 21 732 730.

La tasa interna de retorno marginal (TIRM) resulta ser de 118%.

VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El caso que se ha presentado analiza y evalúa los efectos del cambio tecnológico del cambio de combustible en un horno de tratamiento térmico, modificación que efectuara una empresa metalmecánica con el propósito de lograr eficiencia productiva y, además, reducir las emisiones contaminantes al ambiente.

Se han podido constatar los notables progresos en la emisión de partículas, con lo cual la empresa cumple todas las normas establecidas y no corre peligro alguno de ser afectada por medidas restrictivas a su actividad.

Por otra parte, se ha determinado un resultado económico beneficioso al registrarse un valor actual neto marginal positivo y una tasa interna de retorno marginal altamente atractiva.

ESTUDIO DE CASO N° 3

EMPRESA: Fundición Gris S.A.
ESPECIALIDAD: Fundición ferrosa
LOCALIZACION: Santiago de Chile

I. INTRODUCCION

Este trabajo tiene por finalidad presentar el caso de una empresa de tamaño mediano que ha realizado recientemente cambios tecnológicos de operación orientados a reducir la contaminación generada y elevar la eficiencia productiva.

La empresa de este caso se dedica a la fundición de hierro, utilizando horno de cubilote para la obtención del metal. El producto obtenido es el denominado "fundición gris", que corresponde a una composición de C de 3.0 a 3.5%.

Las fundiciones, especialmente las que emplean horno de cubilote, son industrias que presentan altos índices de contaminación por emanaciones gaseosas y emisión de partículas a la atmósfera.

En Chile existen normativas que se aplican a las fuentes emisoras fijas (caso de las industrias), habiéndose establecido niveles máximos permitidos de emisiones al ambiente.¹⁴ Los niveles señalados han sido paulatinamente disminuidos y, a partir del 31.12.92, han sido fijados en 112 mg/m³ de gas liberado; a partir del 31.12.97 se ha fijado una segunda meta, la cual podrá ser cumplida mediante un sistema de compensación.

Cuando una industria supera los niveles permitidos es obligada a paralizar, medida aplicada en períodos de emergencia ambiental decretados por el organismo gubernamental competente.

La empresa estudiada estaba afecta a las medidas de paralización señaladas dado que sus emisiones superaban largamente los límites permitidos.

La situación anterior determinó que los ejecutivos de ella adoptaran la decisión de cambios tecnológicos que, junto con reducir sustancialmente las emisiones contaminantes, hicieran más eficiente el proceso de fusión de las materias primas cargadas en el horno de cubilote.

Las materias que aborda este trabajo dicen relación con los cambios efectuados, los resultados obtenidos y los beneficios logrados.

Debe destacarse la colaboración recibida de los socios de FUNGRISA, expresada en los antecedentes proporcionados y la receptividad del socio-gerente de esta empresa.

II. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

A. GENERALES

La empresa fue creada el año 1988 por un grupo de personas ligadas a la actividad industrial de la fundición ferrosa y con amplia experiencia en labores de producción en este rubro. Su localización es la ciudad de Santiago y su especialidad es la fabricación de elementos fundidos utilizados en las instalaciones sanitarias y de agua potable. Las instalaciones incluyen 830 m² edificados, en un terreno de 2 000 m² y con una potencia instalada de 75 kva.

El equipo de producción está compuesto principalmente por un horno de cubilote con dispositivo de carga mecánica, una planta de preparación de arenas con trapiche, un mezclador para preparación de almas con CO₂, tres tornos paralelos de escote, tres taladros de pedestal y herramientas eléctricas de accionamiento manual. Todos los equipos tienen una antigüedad de 4 años, ya que se adquirieron nuevos cuando se creó la empresa. Actualmente la empresa cuenta con una dotación de 39 personas, de las cuales 31 pertenecen al área de producción, 6 al área de administración y finanzas y 2 al área de ventas.

B. SECTORIALES

FUNGRISA pertenece al sector industrial clasificado CIIU 371, el cual corresponde a Industrias Metálicas Básicas de Hierro y Acero.

Este sector está compuesto, a nivel nacional, por alrededor de 40 empresas concentradas en un 80% en la Región Metropolitana. El conjunto de estas industrias da empleo a unas 8 500 personas y su Valor Bruto de Producción se estima en US\$ 770 millones.¹⁵

III. SITUACION ESTRUCTURAL PREVIA AL CAMBIO

A. PROBLEMATICA

La empresa instaló, en su etapa inicial de operación, un horno de cubilote con dispositivos convencionales e inyección de O_2 .

En el año inicial (1988) empezó su incorporación al mercado, progresando hasta estabilizar su producción dos años después (1990). En ese momento se hizo notar la necesidad de aumentar la capacidad de producción dado que el segmento de mercado captado había aumentado su demanda. Cabe señalar que funcionando con un horno de cubilote y considerando el cambio diario de revestimiento, se podía fundir hasta 13.6 ton por semana.

Por otra parte, el índice de contaminación generado alcanzaba a 1 498 mg/m³ de gas liberado. Esta cifra supera largamente los índices de emisión permitidos, por lo que se agregaba un segundo imperativo de realizar cambios que redujeran drásticamente las emisiones de partículas.

A continuación se presentan algunos parámetros característicos de la operación de un horno de cubilote, en base a niveles históricos registrados en FUNGRISA.

B. OPERACION DE UN HORNO DE CUBILOTE

Para apreciar las características de funcionamiento y construcción de un horno de cubilote, véase la Figura 1 del Anexo ya mencionado anteriormente en el estudio de caso 1, que muestra un corte de la instalación.

C. CARGA DE UN HORNO DE CUBILOTE

La carga está compuesta principalmente por chatarra de fierro, a la que se agregan ferroaleaciones para incorporar Si y Mn, como también carbón coke y otros materiales como se indica en el Cuadro 1 que sigue:

CUADRO 1

CARGA Y CONSUMO DEL HORNO DE CUBILOTE
(Cantidades por kg fundido)
(Costos en \$, enero 1992)

Material en la carga	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Chatarra	1.000	32.0	32.0
Ferroaleaciones	0.030	370.0	11.1
Coke	0.154	130.0	20.0
Caliza y caolín	0.072	13.0	1.0
Ladrillo R.	0.013	170.0	2.2
Oxígeno	0.020	300.0	6.0
Energía eléc.	0.014	16.0	0.2

Fuente: FUNGRISA.

En el Cuadro 1 precedente se indican las cantidades consumidas por kg de hierro fundido. Las cantidades señaladas están en kg, salvo el O₂ (m³) y la energía eléctrica (kva).

D. CONTAMINACION GASEOSA

El Cuadro 2 contiene los volúmenes de gases generados al producir cada kg de fierro fundido:

Cuadro 2

CONTAMINACION GASEOSA

Gases en los humos	M ²
CO y CO ₂	1.518
N ₂	2.278
H ₂ O (vapor)	0.131
SUBTOTAL	3.927

Puede apreciarse la gran cantidad de gases generados; cerca de 4 m² por cada kg de fierro fundido producido. El gas de mayor toxicidad es el CO, ya que desplaza al oxígeno de la hemoglobina de la sangre.

E. CONTAMINACION POR SOLIDOS

Durante el proceso de fusión se libera una cantidad alta de partículas sólidas, provenientes de la carbonización del coque y otros elementos componentes de la carga. Los sólidos que escapan por la chimenea están tan finamente divididos que los tamaños predominantes están bajo 1 micra. Esta situación es de alto riesgo para la salud, ya que esos tamaños no son atrapados por las mucosas nasales, pasando directamente a los pulmones.

F. ESTANDARES DE PRODUCCION

1. Mano de obra directa

El personal que labora en funciones directas con el horno son: 3 cargadores, 1 pinchador, 1 encargado de la cuchara y 1 hornero. El personal de los otros procesos no ha sido considerado en el análisis dado que se mantiene inalterable luego del cambio tecnológico que se expone en este caso.

2. Energía

Se emplea un total de 0.014 kva por kg de fierro fundido, energía eléctrica que es consumida por los motores del ventilador y del sistema de carga de los materiales.

3. Mantención

Durante el proceso de fusión el material refractario del revestimiento reacciona y se gasta, debiendo ser cambiado una vez al día. El consumo de ladrillos refractarios asciende a 0.015 kg por kg de fierro fundido.

G. COSTO DE OPERACION DEL HORNO

El perfil de costo de fusión en el horno de cubilote se preparó valorizando los consumos unitarios a los precios vigentes a enero de 1992. Los valores calculados corresponden sólo al proceso de fusión indicado, excluyendo los costos indirectos que se mantienen inalterables luego del cambio tecnológico en FUNGRISA. Esta omisión no altera el procedimiento de evaluación que se aplica, ya que se empleará el análisis marginal de inversiones y costos de operación.

Otros costos directos, como ser la mano de obra de los procesos de moldeo, de transporte, de granallado y de mecanizado, no experimentan cambios por lo cual no alteran los resultados.

A continuación se presenta el Cuadro 3 que contiene los valores de costo de producción fundida, para un volumen mensual de 55 ton.

Cuadro 3

COSTO DE OPERACION HORNO DE CUBILOTE
(Miles de \$ al mes, para 55 ton)

Item de costo	Costo fijo	Costo variable
Mano de obra	810	
Depreciación	50	
Mantención	264	
Chatarra		1 760
Ferroaleaciones		670
Coke		1 100
Caliza y caolín		55
Oxígeno		330
Energía eléctrica		11
SUBTOTAL	1 124	3 926
TOTAL		5 050

El costo medio por kg fundido es de \$ 91.8.

IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Diferentes alternativas fueron analizadas para conseguir los fines de aumentar la capacidad de producción y reducir los índices de contaminación. Las principales consideradas y sus resultados de evaluación fueron:

- Cambio a horno de inducción: significa reemplazar totalmente la instalación del horno actual, introduciendo uno nuevo de alimentación eléctrica. Este cambio representaba una inversión de alrededor de \$ 110 millones (equivalentes a US\$ 300 000). Al monto anterior debía agregarse los recursos para aumentar la potencia eléctrica instalada, lo que suponía disponer de \$ 15 millones adicionales. Esta alternativa fue descartada debido al alto monto de las inversiones requeridas, el cual no podía ser solventado por la empresa.

- Instalación de un segundo horno de cubilote: se conseguía duplicar la capacidad instalada de producción, pero no se solucionaba el problema de la contaminación; esta alternativa se descartó por ser una solución parcial e incompleta.

- Incorporación de mejoras tecnológicas al horno existente: se traducía en la instalación de dispositivos de reducción de las emisiones contaminantes, junto con elevar la eficiencia productiva.

Analizadas las alternativas, sus costos y beneficios, se concluyó que la última era la adecuada a las necesidades y posibilidades de FUNGRISA.

Los cambios realizados son los que se indican a continuación:

- Instalación de un sistema mecanizado para el pesaje y carga de los materiales, con una inversión de \$ 2 150 miles.

- Cambio del revestimiento del horno, utilizando resina plástica resistente a la temperatura (inversión de \$ 783 miles).

- Aumento de la inyección de oxígeno, mediante nuevos impulsores (inversión de \$ 128 miles).

- Instalación de dispositivos de captación de partículas, con una inversión de \$ 14 339 miles.

La inversión total, por concepto de los cambios indicados, ascendió a \$ 17.4 millones.

V. SITUACION ESTRUCTURAL DESPUES DEL CAMBIO

Los cambios realizados han significado notables progresos en la reducción de la contaminación y aumento en la capacidad de producción, como se señala en los párrafos que siguen.

A. CONTAMINACION

De una concentración inicial de 1 498 mg/m³ se ha llegado actualmente a un rango de 30 mg/m³, ambos en la misma base de medición nominal. El progreso en este aspecto es realmente notable y merece destacarse con énfasis y amplitud. Con este índice obtenido, esta fundición puede trabajar cumpliendo todos los requisitos ambientales exigidos.

B. ESTANDARES DE PRODUCCION

En la situación operativa modificada, los nuevos estándares de proceso en el horno de cubilote son los que siguen:

1. Mano de obra directa

Se emplean 5 personas, en tareas directas de fusión.

2. Energía

Se consumen 0.018 kwh por kg de hierro fundido.

3. Mantenición

La mano de obra requerida para la mantención del horno, junto con la reposición del revestimiento alcanza a 18 horas mensuales, con un costo asociado total de \$ 10 miles por mes.

4. Depreciación

La inversión inicial de \$ 17 400 miles se deprecia en un lapso de 10 años, a razón de \$ 1 740 anuales (\$ 145 miles al mes).

5. Capacidad de producción

La nueva capacidad de producción es de 80 ton mensuales, aumento conseguido por efectos de los cambios a la operación (mecanizado de pesaje y carga, aceleración de la fusión mediante la inyección de oxígeno adicional).

C. COSTO DE PRODUCCION

Las nuevas condiciones de operación determinan el esquema de costo que se presenta en el Cuadro 4 que sigue:

Cuadro 4

COSTO DE PRODUCCION MENSUAL DEL HORNO DE CUBILOTE (En miles de \$, para 80 ton)

Item de costo	Costo fijo	Costo variable
Mano de obra	450	
Depreciación	145	
Mantención	170	
Chatarra		2 560
Ferroaleaciones		990
Coke		1 600
Caliza y caolín		80
Oxígeno		480
Energía eléctrica		18
SUBTOTAL	765	5 728
TOTAL		6 493

El costo medio por kg fundido es de \$ 81.2.

VI. EVALUACION

A. MEJORAMIENTO AMBIENTAL

Este aspecto se refiere, básicamente, a la contribución de los cambios al mejoramiento del ambiente.

El progreso se traduce en un resultado tan importante, como es el de reducir la emisión de partículas desde un nivel objetable de 1 498 mg/m³ hasta uno adecuado de 25 a 30 mg/m³ en la actualidad. Por otra parte, al mejorar la combustión se ha reducido la liberación de CO que es un producto de conversión incompleta.

B. EVALUACION ECONOMICA

Para efectuar la evaluación económica se ha utilizado el método del análisis marginal, el cual se presta especialmente para este caso, dado que se desea medir la ventaja económica de reemplazar una tecnología por otra más moderna.¹⁶

Cabe señalar que los costos de los otros procesos complementarios a la fusión, como asimismo los costos indirectos, permanecen invariables después del cambio y no influyen en la comparación económica de las situaciones analizadas. En consecuencia, las variables a considerar son las que se indican a continuación:

a) Por efectos de disminución del costo de fusión se obtiene un ahorro de \$ 10.6 por kg fundido, lo que representa, para una producción de 80 ton al mes y 960 ton al año, un margen bruto positivo de \$ 10.12 millones al año.

b) Como consecuencia del aumento de la producción de 660 a 960 ton por año, se produce una facturación adicional de \$ 105 millones anuales. Suponiendo una utilidad bruta sobre ventas de 7.5% se obtiene un incremento de rentabilidad de \$ 7 875 millones por año.

c) La inversión inicial, como se ha indicado, ascendió a \$ 17.4 millones.

d) El impuesto a las utilidades asciende a un 10% de ellas.

e) Los valores del flujo del proyecto se obtienen sumando a la utilidad marginal la depreciación, en un plazo de 10 años, y restando el impuesto del 10% indicado. La vida útil del proyecto es de 10 años.

Con los valores anteriores, ocupando los criterios que se han indicado, se ha construido el Cuadro 5 que aparece a continuación:

Cuadro 5

FLUJO DEL PROYECTO
(Cifras en \$ miles)

Año	Inversión	Utilidad marginal	Impuesto	Flujo de caja
0	17 360			- 17 360
1		17 995	1 800	16 195
2		17 995	1 800	16 195
3		17 995	1 800	16 195
4		17 995	1 800	16 195
5		17 995	1 800	16 195
6		17 995	1 800	16 195
7		17 995	1 800	16 195
8		17 995	1 800	16 195
9		17 995	1 800	16 195
10		17 995	1 800	16 195

1. Indicadores de evaluación

Para evaluar la decisión del cambio tecnológico se empleará como criterios el valor actual neto marginal (VANM) y la tasa interna de retorno marginal (TIRM). El primero mide el flujo actualizado a la tasa de interés de referencia (15%) de las inversiones, flujo de caja marginal y valor residual (0.1 de las inversiones). Si la suma del flujo y el valor residual, ambos actualizados a la tasa del 15%, es mayor a la inversión inicial, la decisión del cambio tecnológico ha sido acertada.

La tasa interna de retorno marginal representa la tasa de interés que hace equivalente el valor actual del flujo de caja

marginal, el valor residual y la inversión. Si el valor de esta tasa es mayor que la de referencia, la decisión del cambio es conveniente.

A continuación se presentan los resultados del cálculo de los indicadores señalados:

Valor actualizado neto marginal (VANM):

$$VANM = -17\,360 + 16\,195 \times \left[\frac{1}{(1+i)} + \dots + \frac{1}{(1+i)^{10}} \right] + 1\,736 \times \frac{1}{(1+i)^{11}}$$

Para $i = 15\%$ y una vida útil del proyecto de 10 años el VAN marginal resulta ser de \$ 63.92 millones.

Tasa interna de retorno marginal (TIRM); con los valores anteriores se obtiene como resultado:

$$TIRM = 93.16\%$$

VII. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El caso presentado en este trabajo corresponde a una fundición ferrosa que introdujo un cambio tecnológico para reducir la contaminación generada, como también para lograr una operación de mayor eficiencia.

Con las modificaciones realizadas la empresa logró reducir sustancialmente las emisiones de partículas, llegando a niveles muy inferiores a los límites permitidos por la autoridad de saneamiento ambiental. Esto le asegura un funcionamiento regular, sin interrupciones a lo largo del año.

Los beneficios económicos obtenidos son asimismo notables, puesto que ha aumentado su capacidad de producción y ha bajado los costos del proceso de fusión de la materia prima y obtención del metal fundido. Lo anterior queda reflejado en un valor actualizado neto marginal del proyecto altamente positivo, conjuntamente con una tasa interna de retorno marginal excepcionalmente alta.

Puede señalarse que el proyecto ha sido altamente rentable, tanto en su evaluación privada como social.

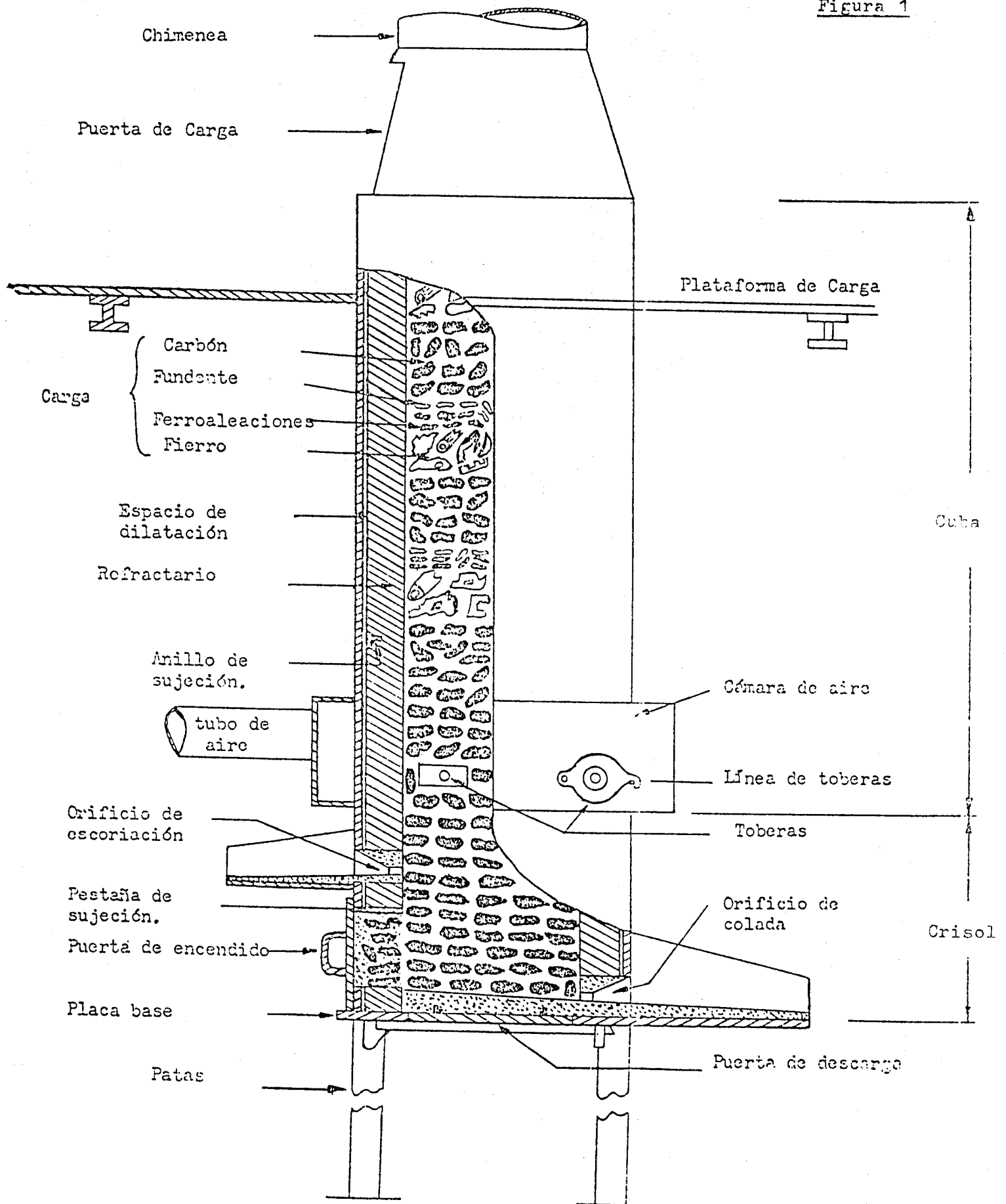
Notas

1. Organismo Gubernamental creado para la regulación de las emisiones al medio ambiente.
2. Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmecánicas A.G. (ASIMET), "Guía de la Industria", 1992, Santiago de Chile.
3. Norma chilena sobre descontaminación.
4. US Department of Health and Education, "Peligros para la salud en una fundición", Fundación N° 248, abril de 1990.
5. Ingemar Tranelid, "Tratamiento eficaz de aire en fundiciones", Fundación N° 234, abril de 1980.
6. B. Schmidt, "Instalación de extracción seca de polvo de cubilote", Fundación N° 233, marzo de 1980.
7. Klaus Polthier, "Electric Steelmaking and the environment", Electric Furnace Steel Production, J. Wiley, 1985.
8. I. Gutiérrez A., "Fundamentos de análisis de inversiones", Facultad de Ingeniería, Universidad Técnica UTE, 1978.
9. I. Gutiérrez A., "Evaluación de proyectos con certidumbre, incertidumbre y riesgo", UTE, 1982.
10. Comisión Especial de Descontaminación ..., op. cit.
11. "Guía de la Industria" ..., op. cit.
12. De acuerdo a la normativa anunciada será de 112 mg/m³ de gas.
13. I. Gutiérrez A., "Fundamentos de análisis de inversiones", Universidad Técnica, 1978.
14. Comisión Especial de Descontaminación ..., op. cit.
15. "Guía de la industria metalúrgica ...", op. cit.
16. I. Gutiérrez A., "Preparación y evaluación de proyecto con certidumbre, incertidumbre y riesgo", Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile, 1989.

ANEXO N° 1: FIGURAS

SECCION HORNO DE CUBILOTE

Figura 1



ESQUEMA DE FLUJO DEL PROCESO

Figura 2