



Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
Facultad de Ciencias Económicas y  
Administrativas  
Escuela de Ingeniería Comercial

## CONTROL DE GESTIÓN

“Estudio de las Variables de Producción, a través de su Impacto en los Costos Indirectos de Fabricación, en los Macro Procesos de Fundición y Refinería de la División Ventanas de Codelco Chile, en el período Enero 2003 – Noviembre 2005”

Memoria para optar al Grado de  
Licenciado en Ciencias en la  
Administración de Empresas y al  
Título de Ingeniero Comercial

JUAN FRANCISCO FREDES GUERRERO  
EDGARDO ANTONIO GUTIERREZ SEPULVEDA

AÑO 2006

## INDICE<sup>1</sup>

### CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

A. Razones Personales para la Selección del Tema.....	7
B. Planteamiento del Problema de Investigación.....	7
B.1. Antecedentes.....	7
B.2. Marco Teórico.....	8
B.2.1. Instrumental de Apoyo.....	8
B.2.2. Términos Relevantes.....	9
B.2.2.2. Sistema de Gestión Codelco.....	9
B.2.2.3. Convenios de Desempeño y Tableros de Gestión.....	9
B.2.2.4. Macro Procesos.....	9
B.2.2.5. Variables Productivas.....	9
B.3. Problema de Investigación.....	10
C. Objetivos de la Investigación.....	10
D. Hipótesis.....	11
E. Descripción del Diseño Metodológico .....	11
E.1. Tipo de Diseño.....	11
E.2. Descripción del Universo.....	11
E.3. Instrumento de Observación.....	11
E.4. Procedimiento para el análisis.....	12
F. Limitaciones del Estudio.....	12

### CAPÍTULO II: PRESENTACIÓN DEL MODELO

A. Alcance de los Macro Procesos.....	14
B. Costos de Producción de la División.....	16
B.1. Precios de los Insumos.....	17
C. Instrumental utilizado por La Fundición y Refinería Ventanas.....	17
D. Metodología de Vinculación entre Elementos Relevantes.....	17
D.1. Método Directo.....	17
D.2. Método Indirecto.....	18
D.2.1 Determinación de los Procesos Relevantes.....	19

<sup>1</sup> El presente estudio se realizó utilizando el modelo de investigación presentado en la asignatura ICA - 253, de la carrera de Ingeniería Comercial de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, dirigida por el profesor Juan Ferrari Ibacache.

D.2.2 Determinación de las Salidas Físicas.....	19
D.2.3 Identificación de las Variables Productivas.....	19
D.2.4 Relaciones entre Variables Productivas y Salidas Físicas.....	20
D.2.5 Análisis numérico relaciones propuestas.....	20
D.2.6 Instrumental Estadístico.....	20
D.2.7 Formalización de las Relaciones Validadas.....	22

## **CAPÍTULO III: HALLAZGOS**

<b>A. Caracterización del Objeto de Estudio.....</b>	<b>24</b>
A.1 Fundición y Refinería Ventanas.....	24
A.1.1 Macro Proceso Fundición.....	25
A.1.2 Macro Proceso Refinería.....	25
<b>B. Presentación General de los Datos.....</b>	<b>26</b>
<b>C. Presentación de los Hallazgos.....</b>	<b>31</b>
C.1 Red de Transformaciones Productivas en los Macro Procesos.....	31
C.1.1 Alineamiento Vertical.....	32
C.1.2 Principales productos y sub productos.....	33
C.1.3 Alineamiento Horizontal.....	35
C.1.4 Relaciones de causalidad en el nivel de producción.....	36
C.1.5 Indicadores de Gestión Históricos.....	37
C.1.6 Conclusiones Previas.....	38
C.2 Explicación de las Salidas Físicas.....	39
C.2.1 Asociaciones Lineales.....	39
a) Macro Proceso Fundición.....	40
a.1) Proceso Fusión.....	40
a.1.1) Metal Blanco de Convertidor Teniente.....	41
a.1.2) Escoria de Convertidor Teniente.....	42
a.2) Proceso Limpieza de Escoria.....	44
a.2.1) Metal Blanco de Horno Eléctrico.....	44
a.2.2) Escoria de Horno Eléctrico.....	46
a.3) Proceso Conversión.....	47
a.3.1) Cobre Blister de Convertidor Peirce Smith.....	47
a.4) Proceso Refinación a Fuego Horno Basculante.....	48
a.4.1) Ánodos Corrientes Horno Basculante.....	49
a.4.2) Ánodos Hojas Madre Horno Basculante.....	50
a.5) Proceso Refinación a Fuego Hornos Refino.....	51

a.5.1) Ánodos Corrientes Hornos Refino.....	52
a.5.2) Hojas Madre Hornos Refino.....	53
a.6) Proceso Limpieza de Gases.....	55
a.6.1) Ácido Sulfúrico.....	55
C.2.2 Conclusiones Previas.....	57
b) Macro Proceso Refinería.....	59
b.1) Proceso Obtención Cátodos Iniciales.....	59
b.1.1) Láminas Iniciales.....	59
b.2) Proceso de Obtención de Cátodos Comerciales.....	61
b.2.1) Cátodos Comerciales.....	61
b.3) Planta de Metales Nobles.....	62
b.3.1) Lixiviación.....	63
b.3.1.1) Teluro.....	63
b.3.2) Deselenización.....	63
b.3.2.1) Selenio.....	63
b.3.3) Refinación Plata.....	64
b.3.3.1) Granalla de Plata.....	64
b.3.4) Refinación Oro.....	65
b.3.4.1) Barras de Oro.....	65
C.2.3 Conclusiones Previas.....	67
C.3 Impacto de las Variables Productivas en los Insumos utilizados.....	69
C.3.1 Costos de los Insumos.....	69
C.3.2.1 Macro Proceso Fundición.....	71
a) Carga Nueva Útil [t].....	71
b) Ley de Azufre en CNU [%].....	72
c) Ley de Magnetita en la Escoria [%].....	73
d) Carga Total.....	74
C.3.2.2 Conclusiones Previas.....	75
C.3.2.3 Macro Proceso Refinería.....	76
a) Ánodos Hojas Madre.....	77
b) Ánodos Corrientes.....	78
c) Barro Anódico Descubrizado.....	79
3.2.4) Conclusiones Previas.....	81

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

A. Resumen.....	84
B. Conclusiones.....	86
C. Recomendaciones.....	92

## **BIBLIOGRAFÍA**

BIBLIOGRAFÍA.....	95
-------------------	----

## **ANEXOS**

Anexo N° 1: Variables Productivas.....	97
Anexo N° 2: Sistema de Gestión Codelco.....	99
Anexo N° 3: Convenios de Desempeño y Tableros de Gestión.....	105
Anexo N° 4: Concepto de Autopoiesis de Maturana.....	110
Anexo N° 5: Esquema Básico de Análisis Modular.....	111
Anexo N° 6: Precios por Insumos Utilizados.....	112
Anexo N° 7: Vinculación Variables Productivas con Costos de Insumos.....	113
Anexo N° 8: Árboles de Valor.....	115
Anexo N° 9: Organigramas.....	116
Anexo N° 10: Funciones de los Procesos Identificados.....	118
Anexo N° 11: Identificación Variables Productivas asociadas a los Procesos.....	122
Anexo N° 12: Red Modular Subsistema Producción.....	(*)
Anexo N° 13: Resultados Regresiones Lineales .....	125
Anexo N° 14: Insumos utilizados por las Salidas Física.....	127
Anexo N° 15: Instrumental Estadístico Utilizado.....	129
Anexo N° 16: Valores de Test Estadísticos Aplicados.....	139

(\*) Apartado especial entre anexos 11 y 13.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN.**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **A. Razones Personales para la Selección del Tema**

El proceso de cambio estratégico que significa el traspaso de la propiedad de la Fundición y Refinería Ventanas a la empresa estatal más importantes del país, Codelco Chile, implica la implementación de una nueva estructura y un nuevo sistema de gestión, que permitan el logro de los objetivos estratégicos. El potencial aporte en dicho proceso, junto con la oportunidad de apreciar de forma interna como se desarrolla el mismo, constituyeron las razones para la selección del tema para el primer autor.

Para el segundo autor el tema de Control de Gestión aplicado en una empresa que recientemente ha sido traspasada a Codelco es una oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera y realizar un aporte al desarrollo de ésta. Se estima que esta investigación será provechosa en el desarrollo profesional y humano.

### **B. Planteamiento del Problema de Investigación**

#### **B.1. Antecedentes**

La propiedad de la Fundición y Refinería Ventanas a partir de Mayo del 2005 se traspasó desde la Empresa Nacional de Minería (Enami) a la Corporación Nacional del Cobre (Codelco). Este acontecimiento ha generado cambios substanciales en la dirección de la empresa, se ha establecido una nueva estrategia, con objetivos y políticas corporativas distintas, así como un nuevo sistema de gestión.

Para el logro de sus objetivos estratégicos, y el cumplimiento de su misión, Codelco ha diseñado un sistema de gestión propio, que capitaliza la experiencia interna de sus divisiones. Este instrumento se denomina Sistema de Gestión Codelco (SGC), y representa el medio a través del cual la nueva dirección pretende hacer operativa la estrategia. El propósito básico del SGC es traducir la estrategia, o impulsos estratégicos, a niveles operativos, definiendo una determinada forma de hacer las actividades cotidianas, apoyándose en indicadores de gestión, los cuales cumplen funciones como medir, orientar e incentivar la actuación.

Una de las principales tareas, necesarias para la implementación de dicho sistema, lo constituye la identificación y selección de un conjunto de indicadores de gestión, que indiquen o den cuenta de los resultados relevantes de los distintos procesos. En División Ventanas esto significa definir indicadores que midan las variables claves, que representan a las principales actividades de la empresa. En lo que se refiere a la naturaleza de las variables a medir, en esta etapa de la implementación, cobran especial importancia las variables de producción, y por lo tanto el área productiva de la empresa, que en este caso particular involucra a dos Macro Procesos, Fundición y Refinería, cuyos resultados en definitiva afectan a los resultados de la División Ventanas.

## **B.2. Marco Teórico**

### **B.2.1. Instrumental de Apoyo**

Para la realización del estudio los autores utilizaron un instrumental de elaboración propia, consistente en un modelo que vincula e integra las variables de producción presentes en los Macro Procesos de Fundición y Refinería, con los costos indirectos de fabricación. Los costos indirectos de fabricación considerados son aquellos que presentan un comportamiento variable dependiendo del nivel de producción de los procesos y además son los que constituyen el mayor sacrificio de recursos entre los costos de producción. Dicho modelo relaciona los distintos procesos del área de producción de la empresa, permitiendo un enfoque global de la dinámica de funcionamiento presente; lo anterior posibilita conocer el intercambio de sub productos entre procesos, así como a las variables que condicionan dicho intercambio. El instrumental descrito se sustenta en la perspectiva que comprende a la empresa como un conjunto de procesos y utiliza la metodología de análisis organizacional propuesta por el profesor Aquiles Limone en su obra “La Empresa una Red de Transformaciones: Un nuevo enfoque de la Organización”.

En cuanto a la forma de vinculación entre variables productivas y costos indirectos de fabricación, se estableció que estos últimos dependen básicamente del nivel de producción de los procesos, y a su vez dicho nivel depende de un conjunto de variables productivas, utilizándose el modelo de regresión lineal para cuantificar las relaciones. El modelo desarrollado se denominó “Modelo FREDGE”<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> El modelo “FREDGE” recibe dicha denominación por la unión de las letras iniciales de los nombres de los autores y se describen su metodología, supuestos y componentes en el capítulo segundo de esta obra.

## **B.2.2. Términos Relevantes**

### **B.2.2.2. Sistema de Gestión Codelco (SGC)<sup>3</sup>**

Es un instrumento de gestión propio (de Codelco Chile) a través del cual se realiza la traducción del Proyecto Común de Empresa (Filosofía de Codelco). Este instrumental permite definir una nueva manera de realizar las tareas cotidianas, de modo de mejorar continua y crecientemente los resultados y las metas divisionales y corporativas.

### **B.2.2.3. Convenios de Desempeño y Tableros de Gestión<sup>4</sup>**

Constituyen un elemento del SGC donde se incorporan los indicadores de gestión seleccionados, permitiendo el registro y control del grado de cumplimiento de los objetivos particulares, los cuales en su conjunto entregan un grado de cumplimiento global de los objetivos estratégicos del negocio

Para esto, los objetivos particulares de cada unidad o área deben estar necesariamente alineados con los objetivos estratégicos de la Empresa.

### **B.2.2.4. Macro Procesos**

Esta denominación se utilizó para referirse al conjunto de procesos productivos que conforman el Área de Producción de la División Ventanas. Son reconocibles dos Macro Procesos, el de Fundición y Refinería, a su vez cada uno de ellos incluye a un número determinado de Unidades Productivas que son las encargadas de la gestión de los procesos propiamente tales.

### **B.2.2.5. Variables Productivas**

Con este concepto se representa a los elementos que forman parte del proceso de producción en general y cuyo comportamiento es cambiante de acuerdo a las situaciones que se presenten. Específicamente se identificaron con esta denominación a los siguientes elementos: cantidad de materias primas ingresadas a un determinado proceso (entradas físicas) y la cantidad de productos o sub productos salientes del mismo (salidas físicas), leyes de minerales presentes en los productos o sub productos y funcionamiento operativo y rendimiento de las maquinarias.

---

<sup>3</sup> Ver Anexo N° 2

<sup>4</sup> Ver Anexo N° 3

### B.3. Problema de Investigación

Los indicadores seleccionados e incorporados en los instrumentos de planificación propuestos por Codelco Chile (Convenios de Desempeño y Tableros de Gestión) deben ser aquellos que indiquen o midan a las variables que tienen un mayor impacto en los procesos, desde la perspectiva de la vinculación con la rentabilidad, y el hecho de que sean las mismas personas responsables de los resultados, quienes proponen los indicadores y que se respalden en los informes de gestión que utilizaba anteriormente Enami, no garantiza que dichas variables estén incluidas.

Por lo tanto se hace indispensable contar con la información respecto a cuáles son las variables claves que explican a los resultados productivos y económicos (costos indirectos) de los procesos, lo cual se lograría a través de una visión integral y objetiva en que se vinculen las distintas actividades de los macro procesos con los costos indirectos que generan. De lo anterior surgen interrogantes como las siguientes: ¿es relevante medir las variables que están presentes en los actuales informes de gestión?, ¿están presentes las variables claves en dichos informes?, ¿los indicadores elegidos miden correctamente a las variables?, la respuesta a estas preguntas representan una valiosa información para la nueva dirección y uno de los pasos de mayor importancia en la implementación del SGC.

### C. Objetivos de la Investigación

1. Definir la estructura a través de la cual se llevan a cabo los procesos del área productiva de la división.
2. Cuantificar la relación entre las variables productivas y las salidas físicas de cada proceso.
3. Determinar las variables productivas críticas que explican los resultados productivos de los macro procesos.
4. Determinar el impacto de las variables productivas críticas sobre los costos indirectos de fabricación de los macro procesos.

### D. Hipótesis

1. La naturaleza de las relaciones entre procesos productivos está determinada por una secuencia de purificación del insumo primario, concentrado de cobre, hasta la obtención del producto final, cátodo comercial.
2. Las salidas físicas de los procesos dependen, en parte, de las leyes de minerales presentes en la materia prima que reciben.
3. Las variables productivas de mayor impacto sobre los costos indirectos de fabricación, corresponden a las cantidades de materia prima ingresada a los procesos.

## **E. Descripción del Diseño Metodológico**

### **E.1. Tipo de Diseño**

Esta investigación tuvo por finalidad la descripción de las probables relaciones existentes entre variables productivas, identificadas desde el comienzo del estudio, con determinados indicadores económicos utilizados para medir la efectividad de la gestión. Los autores utilizaron un estudio de tipo descriptivo para el desarrollo de esta investigación.

### **E.2. Descripción del Universo**

El universo lo constituye la División Ventanas perteneciente a Codelco Chile, y se centra particularmente en los Macro Procesos de Fundición y Refinería.

### **E.3. Instrumento de Observación**

Para la realización del estudio se utilizó información de tipo primaria y secundaria. La información de tipo primaria se obtuvo a través de la técnica de la entrevista, registrada en planillas para entrevistas, realizadas a los jefes de las Unidades Productivas de los Macro Procesos de Fundición y Refinería, al Jefe de Gestión Operativa de Producción y a Expertos del Área de la Gerencia Corporativa de Excelencia Operacional.

La información de tipo secundaria se obtuvo a través del método de registro de datos oficiales proporcionados por los responsables de las Unidades de Control de Gestión y Departamento de Contabilidad Metalúrgica de la División.

### **E.4. Procedimiento para el análisis**

En el desarrollo del estudio se utilizó principalmente el método correlacional, asociando variables de producción con cantidades de productos o subproductos.

El instrumental utilizado para llevar a cabo lo anterior, lo constituyó un modelo elaborado por los autores, denominado "Modelo FREDGE".

## **F. Limitaciones del Estudio**

En la vinculación entre variables productivas y salidas físicas se utilizó el método de regresión, asumiendo un comportamiento lineal en las relaciones y no se utilizaron otras formas funcionales para las relaciones entre elementos.

En los análisis relacionados con el impacto en los costos indirectos de fabricación se asumió un funcionamiento a plena capacidad, tanto del macro proceso de fundición como de refinería, así mismo se trabajó con el supuesto de la disponibilidad de procesos y suministros, como también de una eficaz coordinación del recurso humano de la División.

En cuanto a la disponibilidad de datos cuantitativos, el control y registro de datos históricos de leyes minerales en el Concentrado de Cobre (Macro Proceso Fundición), no se realizaba de igual forma en la Planta de Metales Nobles (Macro Proceso Refinería), específicamente en las entradas Barro Anódico Crudo (BAC) y Barro Anódico Descubrizado (BAD), dificultando así el análisis de los subproductos - Selenio, Teluro, Sulfato de Cobre, Concentrado de Paladio y Platino - pues los datos disponibles de entradas físicas no fueron suficientes para explicarlos. En cuanto al Sulfato de Cobre y Concentrado de Paladio y Platino, representan a subproductos obtenidos en dos procesos distintos cada uno y cuyos datos de producción individualizados no se encontraron disponibles.

## **CAPÍTULO II**

### **PRESENTACIÓN DEL MODELO.**

## CAPÍTULO II

### PRESENTACIÓN DEL MODELO

En el presente capítulo se describió el procedimiento utilizado por los autores para dar respuesta a las interrogantes del planteamiento del problema, exponiendo los supuestos, metodología y componentes del mismo. La finalidad primaria del instrumento desarrollado fue determinar el impacto que tuvieron las distintas variables productivas, presentes en los Macro Procesos de Fundición y Refinería, sobre los costos indirectos de fabricación, y cuya interpretación permitiera seleccionar las variables críticas, desde dicha perspectiva. Para tales efectos se determinaron áreas de análisis, a saber: Alcance de los Macro Procesos; Costos de Producción de la División; Instrumental utilizado por la Fundición y Refinería Ventanas; y Metodología de Vinculación entre Elementos Relevantes.

#### **A. Alcance de los Macro Procesos**

Esta área de observación se refirió a la necesidad de contar con un entendimiento global de los Macro Procesos y lo que ellos representaban en la División Ventanas, desde diversas perspectivas. Se fundamentó en las ventajas provenientes de adoptar un enfoque sistémico al abordar cualquier temática compleja, como fue el caso del objeto de estudio de esta investigación.

Desde el punto de vista del ordenamiento interno de la División y los niveles jerárquicos existentes, los Macro Procesos se situaron bajo las Superintendencias de Fundición y Refinería, las que a su vez dependían de la Gerencia de Operaciones. De acuerdo a la mirada de la dirección de Ventanas, fueron considerados como Áreas de Negocios cuyos resultados impactaban en la eficacia de la gestión de la División. Para propósitos del estudio fueron estimados como centros de responsabilidad, es decir, unidades dirigidas por un responsable con capacidad para tomar decisiones.

Desde la perspectiva funcional, los Macro Procesos de Fundición y Refinería representaron el área productiva de la División Ventanas, que fue donde ocurrió la transformación de los insumos a productos terminados. Precisamente dichas transformaciones significaron un punto crítico de comprensión que fue necesario analizar en profundidad, debido a su relación con las vinculaciones que se pretendieron elaborar.

Fue así que se utilizó el modelo propuesto por los autores Aquiles Limone Aravena y David Cademártori Rosso, en su obra “La Empresa, Una Red de Transformaciones: Un nuevo Enfoque de la Organización”. Con la metodología anterior se procedió a conceptualizar los elementos presentes en los Macro Procesos y a definir el contexto en el que se desarrolló el estudio.

En su obra, Limone y Cademártori, proponen una metodología de análisis organizacional, útil en la comprensión de la empresa como sistema y, concibiendo a la misma desde una perspectiva fenomenológica, como un fenómeno que surge en el espacio de las relaciones humanas. Dicha metodología se constituía a partir de la aplicación de la teoría de la autopoiesis<sup>5</sup> y la teoría de redes al estudio de las organizaciones humanas, teniendo su expresión final en la creación de una red modular que mostraba la dinámica de funcionamiento de la empresa y los sub sistemas que la componen.

Fundamentalmente, se comprende a la empresa como constituida por una red de procesos, entre los que se distinguen como principales, a los denominados Proceso Decisional y Proceso Primario, este último representa el conjunto de transformaciones realizadas por la empresa, en el que fue posible apreciar un subconjunto de transformaciones –financieras, de personal, comerciales, productivas -, en tanto el Proceso Decisional o de Pilotaje cumple la función de “especificar las coherencias operacionales en toda la amplitud del sistema”<sup>6</sup>.

Uno de los elementos de la metodología presentada por Limone y Cademártori, que mayor utilidad presentó en el desarrollo del estudio fue el proceso de estructuración que propusieron, el cual se generó a partir del acoplamiento de dos módulos, a saber, el denominado Modulo Tecnológico y Modulo de Pilotaje, que a su vez serían el resultado de dos fenómenos que intervienen en la generación del sistema empresa, el administrativo o de pilotaje y el de producción estructural o estructuración.

Tal como lo describieron los autores citados, el módulo de pilotaje “es el encargado de decidir la acción a realizar” y el módulo tecnológico “es el encargado de ejecutar la acción”<sup>7</sup>. De esa forma ambos módulos en su acoplamiento generan la estructura a través de la cual tiene lugar el proceso primario.

Por último, en la metodología analizada, Limone y Cademártori, mencionan un elemento denominado “Variables Esenciales” que son “variables del módulo tecnológico que permiten saber cómo está operando dicho módulo y que al ser comparado sus valores con un estándar u objetivo permiten controlar”<sup>8</sup>. Lo anterior

---

<sup>5</sup> Ver Anexo N° 4

<sup>6</sup> Aquiles Limone y David Cademártori, La Empresa, Una Red de Transformaciones: Un nuevo Enfoque de la Organización, p. 34.

<sup>7</sup> Ibid. p. 47

<sup>8</sup> Ibid. p.48

fue relevante para los propósitos del presente estudio, ya que una de sus finalidades fue determinar variables críticas de naturaleza productiva cuyo comportamiento importaba administrar.

La representación gráfica de los elementos descritos e instrumento a utilizar, se mostraron en el Anexo N° 5.

## **B. Costos de Producción de la División**

En cuanto a los costos de conversión de la división, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación (vale mencionar que la división Ventanas era una empresa maquiladora, por lo tanto no era propietaria de la materia prima que procesaba) el presente estudio se circunscribió a estos últimos, específicamente a los materiales indirectos y a otros costos indirectos, principalmente combustibles y energía, excluyéndose del análisis los costos de mano de obra indirecta.

Los costos indirectos de fabricación considerados, fueron aquellos que presentaban un comportamiento variable asociado a los niveles de producción de los diferentes procesos productivos, tal como se mencionó en el párrafo anterior, dichos costos incluían a materiales indirectos, así como otros costos indirectos de fabricación como combustibles y energía; en el presente estudio se les denominó como “Insumos”.

Respecto a la forma de costeo, en Ventanas, y en coherencia a la naturaleza de sus operaciones, se utilizaba un sistema de costos por procesos, distinguiéndose distintos centros de costos. Bajo dicha perspectiva, en los Macro Procesos de Fundición y Refinería se identificaron un conjunto limitado de procesos a los cuales fueron atribuibles los elementos componentes del costo de conversión, básicamente el asociado a la utilización de insumos.

El nivel de actividad representó la cantidad de productos mineros tratados en un periodo de tiempo determinado, este concepto representó a los resultados tangibles de los procesos analizados, también denominados como “físicos”, que representaban a los productos o sub productos asociados a los distintos procesos. Entonces, entrada física significó el ingreso o “input” de un determinado sub producto (o producto en proceso) a un determinado proceso productivo, y salida física expresó el resultado o “output” del proceso en cuestión. De dicha forma se vislumbró un flujo de “físicos” que permitió una aproximación al modelamiento de los Macro Procesos.

### **B.1. Precios de los Insumos**

Los precios correspondientes a los materiales e insumos utilizados, fueron acordados por la División Ventanas y Proveedores externos, algunos de los cuales fueron contratados por licitación pública, ejemplo de ello era el abastecimiento de energía eléctrica. Para efectos del presente estudio, las variables representadas por los precios fueron consideradas como una variable exógena. (Ver Anexo N° 6)

### **C. Instrumental utilizado por La Fundición y Refinería Ventanas**

Hasta la fecha de inicio del estudio no existía en términos formales un instrumental relacionado con el análisis de los costos indirectos de fabricación, que incluyera una conexión con las variables productivas. Las mediciones realizadas eran, meramente de carácter productivo y estaban contenidas en informes de producción. El operar consistía en el cumplimiento de programas de tratamiento de productos mineros y producción de cobre, emanados por la gerencia operativa. No obstante, los ingenieros del departamento de control de gestión diseñaron un instrumental que medía la utilización de insumos productivos por cada proceso que efectivamente implicara una transformación física, basándose en los comportamientos promedios históricos de los procesos, dicho instrumento se denominó “matriz I/P”<sup>9</sup> (matriz insumo – producto) y representó el apoyo para la determinación de los insumos utilizados por los procesos identificados.

### **D. Metodología de Vinculación entre Elementos Relevantes**

En la búsqueda de las alternativas que permitieran cumplir con los objetivos propuestos en la investigación, los autores concluyeron que básicamente existían dos (2) distintas formas en las que se podían vincular las variables productivas con los costos indirectos de fabricación, una forma directa y una forma indirecta de vinculación.

#### **D.1. Método Directo**

De acuerdo a la percepción de los autores, éste camino representaba la forma directa de enfrentar el problema. Consistió fundamentalmente en la identificación de la totalidad de las variables productivas y la obtención de los datos de su comportamiento histórico, para posteriormente realizar asociaciones utilizando el modelo de regresión, vinculándolas con el comportamiento histórico de los costos indirectos de fabricación. No obstante, la inexistencia de datos

---

<sup>9</sup> Ver Anexo N° 14

históricos confiables para la mayor parte de las variables, sumado a la ineficacia en cuanto a los resultados esperados, determinaron la inviabilidad de tal alternativa.

## **D.2. Método Indirecto.**

La forma indirecta de vinculación consistió en relacionar las variables productivas con los costos indirectos de fabricación, a través del impacto de éstas sobre el nivel de producción de los distintos procesos pertenecientes a fundición y refinería. La idea básica que subyacía a tal forma de vinculación consistía en que las variables productivas impactaban en las operaciones de los procesos alterando el nivel de producción provocando variaciones en la cantidad y calidad de los resultados obtenidos, lo que a su vez impactaba sobre los costos indirectos de fabricación.

En el caso del Macro Proceso de Fundición, las operaciones abarcaban desde la recepción de la materia prima, concentrado de cobre con una ley del mencionado mineral del 30 %, hasta la producción de ánodos de cobre con una ley de pureza cuprífera del 99,7 %. Este razonamiento surgió a partir del análisis de la observación de los “Árboles de Valor”<sup>10</sup>, en los cuales se identificaron las variables productivas a partir de una secuencia de “causas-efectos” comenzando desde niveles de flujos de caja operacionales. De tal forma se concluyó que las variables productivas impactaban en los costos indirectos de fabricación de los macro procesos de fundición y refinería, por medio de su influencia en los niveles de producción, tal como se señaló en apartados anteriores. (Ver Anexo N° 7, figuras 7.1 y 7.2).

Los autores optaron por dicha alternativa, debido a su factibilidad y eficacia en los objetivos buscados.

La cadena de vinculaciones propuesta para relacionar las variables productivas y los resultados económicos, implicó una serie de actividades o pasos a seguir, los que se detallaron en el listado siguiente y representaron la base del modelo propuesto:

### **D.2.1 Determinación de los Procesos Relevantes**

El primer paso consistió en identificar un conjunto limitado de procesos relevantes que definieran el área de estudio. Se utilizó el término “relevante”,

---

<sup>10</sup> Ver Anexo N° 8

para señalar a aquellos procesos que representaran los aspectos de mayor importancia en el área productiva de la empresa, tanto en términos operativos como en términos económicos (costos de conversión). De tal forma se consideraron como relevantes a los procesos en donde efectivamente se llevaban a cabo transformaciones físicas de la materia prima ingresada, ya que ello significaba cambios en el nivel de producción y utilización de insumos productivos (costos).

La primera aproximación respecto a la individualización de los procesos relevantes de Fundición y Refinería se obtuvo al considerar los centros de costos determinados por el sistema de costeo y el análisis de los árboles de valor elaborados por los ingenieros en proceso de la División. Posteriormente se contrastó con lo expresado por los expertos y responsables del área productiva.

### **D.2.2 Determinación de las Salidas Físicas**

Fue preciso listar por cada proceso definido, el número de salidas físicas que representaban los resultados de las operaciones del mismo. Al igual que con la determinación de los procesos relevantes, se utilizó como base lo presentado por los “árboles de valor”, junto con los informes de producción elaborados por los responsables del área.

### **D.2.3 Identificación de las Variables Productivas**

También por cada proceso fue necesario reconocer la totalidad de variables productivas presentes en el funcionamiento operativo del mismo. En esta etapa se elaboró un listado en “bruto” de la totalidad de variables productivas, considerando los elementos que ingresaban y salían de los procesos, las funciones operativas de mayor importancia de acuerdo a los informes de gestión que se utilizaban hasta entonces, como también lo propuesto por los responsables del área productiva.

### **D.2.4 Relación entre Variables Productivas y Salidas Físicas**

Esta descripción se realizó en conjunto con los responsables de las unidades productivas y el jefe del departamento de control de gestión, quienes

basados en la experiencia propusieron vinculaciones posibles entre variables. En cuanto a las propiedades de las salidas físicas a explicar, se identificaron básicamente dos (2) aspectos, la cantidad y la calidad de las mismas, esta última se asociaba tanto a especificaciones químicas (leyes de minerales) y físicas, no obstante el énfasis del estudio se concentró en el aspecto relacionado con la cantidad de físicos resultantes de los distintos procesos.

#### **D.2.5 Análisis numérico relaciones propuestas**

La explicación de las salidas físicas representó el eslabón primario del análisis realizado. De acuerdo a lo propuesto, se consideraron como base a las variables productivas identificadas. Para tales efectos se utilizaron a las variables productivas como variables independientes o “explicativas” de las salidas físicas, o variables dependientes o “explicadas”.

El estudio de las salidas físicas y su explicación se realizó específicamente en términos de la cantidad producida por los distintos procesos y se consideraron como un antecedente las leyes de minerales y otras propiedades de la naturaleza química de los físicos resultantes, asumiendo que los mismos presentaban un estándar en cuanto a la presencia de dichos elementos.

En esta fase, considerando las opiniones de los expertos, se llevó a cabo un análisis apoyado en datos numéricos. En este sentido, una limitante la constituyó la falta de datos para algunas de las variables identificadas, no obstante, para las principales variables propuestas por los expertos y explicitadas por los árboles de valor se contaban con registros confiables.

El instrumento utilizado en la cuantificación de las relaciones propuestas correspondió al Modelo de Análisis de Regresión, constituyendo el soporte numérico en el análisis realizado.

#### **D.2.6 Instrumental Estadístico**

Tal como se mencionó en el párrafo anterior, se utilizó el Modelo de Análisis de Regresión para cuantificar las relaciones propuestas por los expertos del área productiva entre salidas físicas y variables productivas de los distintos procesos.

En el listado se presentaron los pasos y elementos considerados en la validación estadística de los modelos elaborados (cada modelo integró a una salida física o variable dependiente con una o más variables productivas o variables explicativas, a través de una relación de causalidad)

## **1) Procedimiento de elaboración modelos**

Lo esencial en esta etapa consistió en la selección de las variables productivas que se utilizarían en la explicación de las salidas físicas de los procesos relevantes. Para tales efectos lo prioritario lo constituyó la existencia de una lógica presente en las relaciones que se planteaban, los autores utilizaron el término “lógica productiva” para conceptualizar tal situación, de tal forma se evitaría obtener relaciones con validez estadística pero sin validez productiva, o también denominadas “relaciones espurias”. Una vez comprobado lo anterior se procedió a incluir de forma individual las potenciales variables explicativas.

## **2) Incorporación variables explicativas**

Para determinar la inclusión o no de las potenciales variables explicativas, se les sometió a pruebas para conocer la significancia estadística de las mismas. Tales pruebas consistieron en test de hipótesis de parámetros individuales como también de significancia conjunta<sup>11</sup> para los estimadores obtenidos.

## **3) Impacto de variables explicativas**

Dado que en la explicación de algunas de las salidas físicas, se utilizaron más de una variable, se procedió a determinar cuales de las variables explicativas tenía un mayor impacto sobre la variable dependiente, lo anterior a través de la comparación entre las estimaciones de los parámetros. Para ello, y dado que el coeficiente de regresión era sensible a las unidades de medida, los datos fueron estandarizados y procesados, obteniendo las ponderaciones de cada variable explicativa, por medio de los coeficientes de regresión estandarizados o coeficientes beta.

## **4) Revisión cumplimiento de los supuestos<sup>12</sup>**

El modelo estadístico utilizado trabajaba con un conjunto de supuestos relacionados tanto con los estimadores obtenidos así como con la muestra poblacional utilizada. De tal forma fue preciso verificar el cumplimiento de dichos supuestos con la finalidad de que las conclusiones que tuvieran como base los

---

<sup>11</sup> Ver Anexo N° 14 y 15

<sup>12</sup> Ver Anexo N ° 15 y 16

resultados de la metodología empleada fueran válidos desde el punto de vista estadístico.

### **D.2.7 Formalización de las relaciones validadas**

En esta etapa se elaboraron las ecuaciones que representaban a las vinculaciones determinadas en las fases anteriores, de manera que las salidas físicas de los distintos procesos se presentaran como “explicadas” por las variables seleccionadas. A su vez, las salidas físicas de un proceso representaban las entradas para otro y en consecuencia se conformó una especie de red que vinculaba en forma global la totalidad de los procesos y variables en análisis, lo cual tuvo su expresión final en un Modelo General que a partir de un número reducido de variables de entradas permitió estimar los resultados de los procesos involucrados.

Lo expuesto en el presente capítulo resumió los elementos esenciales de la metodología utilizada, así como los fundamentos que le subyacían; vale reiterar que el propósito de la misma fue servir de utilidad en el logro de los objetivos de la investigación. Resumiendo los requisitos deseables del instrumental fueron el permitir visualizar el proceso de producción o red de transformaciones productivas en su conjunto, explicar las salidas físicas relevantes de los distintos procesos involucrados en los Macro Procesos de Fundición y Refinería, y cuantificar el impacto en los costos indirectos de fabricación que las salidas físicas implicaron.

## **CAPÍTULO III**

### **HALLAZGOS.**

## CAPÍTULO III

### HALLAZGOS

#### A. Caracterización del Objeto de Estudio

##### A.1 Fundición y Refinería Ventanas

El alcance de este estudio se circunscribió a la División Ventanas de Codelco Chile, específicamente a los Macro Procesos de Fundición y Refinería que era donde se llevaban a cabo las transformaciones productivas, foco principal de los análisis realizados por los autores.

Esta Fundición y Refinería se encuentra ubicada en Ventanas, comuna de Puchuncaví, a unos 164 kilómetros de Santiago y a unos 50 kilómetros de Viña del Mar, en el sector norte de la provincia de Valparaíso. Fue inaugurada en el año de 1964 y como parte de la Empresa Nacional de Minería (Enami), Ventanas tenía la misión de fomentar el desarrollo de la pequeña y mediana minería nacional.

Uno de los eventos de mayor relevancia en la historia reciente de Ventanas lo constituyó el traspaso de su propiedad a la Corporación Nacional del Cobre (Codelco Chile). Este hecho ocurrió en Mayo del 2005, través de la ley 19.993 del 4 de Enero del mismo año, con lo que se convirtió oficialmente en la quinta División de la Cuprífera Estatal.

En cuanto a su naturaleza, Ventanas, se definió básicamente como una empresa maquiladora de concentrado de cobre, obteniendo como resultado, cátodos comerciales de cobre en distintas variedades. En términos precisos, el operar de esta nueva División de Codelco se concentraba en cuatro (4) procedimientos que eran Fundición, Refinación a Fuego, Refinación Electrolítica y Tratamiento de Metales Nobles, los dos primeros se incluían en un Macro Proceso denominado Fundición y los dos restantes en un Macro Proceso denominado Refinería. Estos Macro Procesos se ordenaban bajo el área de operaciones de la División y a su vez contaban con una organización interna, tal como se presentó en el Anexo N° 9 figuras N° 9.1 y N° 9.2.

En cuanto al aspecto económico, en la División Ventanas fue posible determinar tres (3) fuentes de ingresos operacionales, a saber, las Tarifas por tratamiento de Productos Mineros (Servicios de Maquila), Venta de sub productos, y Servicios prestados a Terceros. En la tabla se mostraron los montos ingresados a la División, en miles de dólares, por los conceptos antes mencionados durante el período Jun-05/Sep-05, que correspondía al período en que Codelco absorbió a Ventanas.

**Tabla N° 1: Fuentes de Ingresos División Ventanas (MUS\$)**

Fuente/Mes	Junio	Julio	Agosto	Sept
Servicios de Maquila	7.722	16.163	10.118	12.155
Venta de Sub Productos	1.036	1.265	1.290	1.210
Servicios a Terceros	0	3	48	3
Total	8.758	17.431	11.456	13.368

Tal como se mostró en la presentación, el Tratamiento de minerales o Servicios de Maquila representaron la fuente principal de ingresos para la División, bordeando el 90% de los ingresos operacionales.

#### **A.1.1 Macro Proceso Fundición**

Tal como se mencionó en párrafos anteriores en este macro proceso se encontraban las funciones de fundir y refinar a fuego. La fundición consistía en procesar el concentrado de cobre ingresado sometiénolo a procesos térmicos que separaban el cobre de los demás minerales presentes; la etapa más representativa de tal procedimiento la constituía la fusión de concentrado que además servía para medir la capacidad de la fundición. La capacidad de fusión al año 2005 era de 424.000 toneladas de concentrado de cobre, cifra que Codelco planteaba duplicar en los próximos años. En tanto la refinación a fuego consistía en seguir con el proceso de purificación de cobre, obteniendo como resultado final dos variedades de ánodos, corrientes y hojas madre.

Además, como resultado de las operaciones de “purificación” de la materia prima recibida, se encontraban gases emanados por dos procesos, fusión y conversión, que era preciso procesar. Tal procedimiento se llevaba a cabo en el proceso limpieza de gases desde el cual se obtenía ácido sulfúrico, que representaba uno de los sub productos comercializables por la División.

#### **A.1.2 Macro Proceso Refinería**

En este macro proceso se observó dos partes: Refinería Electrolítica (Rel) y Planta de Metales Nobles (Plamen). En Rel estaban presentes las funciones de refinar electrolíticamente hojas madres para obtener láminas iniciales y refinar cátodos iniciales con ánodos corrientes para obtener el producto final, que era cátodos comerciales.

El subproducto o desecho de la función Rel era el barro anódico - materia prima de Plamen - que contenía las funciones de lixiviación, deselenización, tostado, fusión oro y refinación plata y oro. Como resultado de la cadena de purificación del barro anódico se obtenían subproductos como selenio, telurio, paladio, platino, plata y oro.

## B. Presentación General de los Datos

En el presente apartado se presentaron, en las tablas N° 2 y N° 3, los datos correspondientes a las salidas físicas y variables productivas del Macro Proceso Fundición respectivamente, utilizadas para la elaboración de las asociaciones lineales.

**Tabla N° 2: Salidas Físicas Macro Proceso Fundición**

Fecha	MBCT [t]	MBHE [t]	Cu BI [t]	AC HB [t]	HM HB [t]	AC HA [t]	HM HA [t]	Ácido [t]
Ene-03	12.157	8.979	15.221	3.258	209	16.700	1.907	33.410
Feb-03	3.444	3.444	4.116	1.187	301	7.858	2.419	10.035
Mar-03	11.347	7.606	13.585	6.253	969	11.904	1.700	34.884
Abr-03	10.496	7.708	13.616	5.252	1.736	5.847	2.084	33.606
May-03	11.849	8.672	15.374	2.248	347	16.809	2.160	35.615
Jun-03	10.855	7.472	12.716	4.890	859	12.137	2.447	32.501
Jul-03	10.681	7.575	12.820	6.041	1.685	8.683	2.268	31.723
Ago-03	11.675	8.477	14.167	4.477	812	16.899	2.885	34.650
Sep-03	10.476	8.057	12.422	3.733	669	15.196	2.766	30.233
Oct-03	10.465	7.749	12.667	4.330	791	15.529	2.682	31.471
Nov-03	10.030	8.118	12.079	5.524	1.066	10.133	2.033	30.128
Dic-03	10.209	8.692	12.673	6.791	1.181	10.282	1.660	31.900
Ene-04	9.266	9.461	12.844	4.373	729	13.966	2.365	30.883
Feb-04	3.506	3.413	4.349	646	218	9.081	2.453	10.934
Mar-04	13.171	7.155	11.472	5.549	1.216	8.752	1.692	31.955
Abr-04	9.594	6.263	11.576	3.891	608	13.679	2.618	29.543
May-04	9.758	7.339	12.072	4.697	790	14.148	2.592	29.990
Jun-04	12.049	8.641	11.680	2.022	287	16.211	3.029	30.074
Jul-04	15.437	8.456	12.660	3.773	637	15.930	2.660	31.468
Ago-04	11.162	6.796	11.301	6.636	1.731	6.578	1.653	31.439
Sep-04	8.282	5.894	9.261	4.742	850	11.440	2.068	26.887
Oct-04	9.133	8.359	11.852	2.461	520	15.029	2.737	31.896
Nov-04	8.262	7.067	9.874	4.271	1.204	8.528	2.427	28.629

Dic-04	9.266	8.728	12.471	4.932	1.152	13.054	3.031	31.535
Ene-05	7.554	3.598	7.895	3.596	765	13.400	2.861	26.573
Feb-05	2.112			315	69	9.477	2.339	6.761
Mar-05	8.528	3.711	8.214	2.886	599	12.548	2.864	29.208
Abr-05	9.738	7.973	12.415	5.348	1.057	10.376	2.982	30.530
May-05	9.369	8.036	12.134	8.113	1.481	6.871	1.347	28.618
Jun-05	8.943	7.021	10.915	5.811	1.650	7.866	2.077	28.122
Jul-05	10.906	8.528	12.415	3.452	2.764	15.074	2.768	31.086
Ago-05	10.383	7.805		2.846	3.693	14.951	2.955	28.816
Sep-05	32,41	37.860		21,05	3.001	14.135	2.652	
Oct-05	32,57	36.571		20,75	5.114	11.328	2.118	
Ago-03	31,39	40.128		19,85	4.197		7.814	
Sep-03	31,44	37.029		19,90	5.292		7.592	
Oct-03	31,53	36.154		17,31	2.316		6.542	
Nov-03	30,84	37.304		19,63	1.562		7.180	
Dic-03	30,60	39.274		20,35	4.103		7.246	
Ene-04	31,40	37.839		20,85	3.333	164,00	5.869	
Feb-04	31,27	13.996		21,32	900	167,25	6.413	
Mar-04	30,92	38.503		18,24	3.036	174,75	8.024	
Abr-04	30,00	36.757		18,93		175,00		
May-04	30,43	36.874		18,01	4.000	180,50	7.912	
Jun-04	30,01	36.711		17,83	3.275	191,50	7.343	
Jul-04	30,16	38.078		17,16	2.545	197,00	7.084	
Ago-04	30,51	37.541		15,23	1.729	199,50	7.928	
Sep-04	30,16	32.439		18,16		200,00		
Oct-04	29,37	39.902		17,86	2.756	200,75	7.894	
Nov-04	29,86	36.538		18,13	1.161	204,25	5.416	
Dic-04	30,02	37.568		16,50	2.311	206,50	8.789	
Ene-05	29,38	37.577		18,09	3.156	219,00	9.955	
Feb-05	29,43	11.099			2.294	220,75	8.584	
Mar-05	30,29	39.893		18,32	3.438	225,00	8.827	
Abr-05	29,92	38.038		17,85	1.179	234,75	7.552	
May-05	30,05	37.955		18,07	943	241,25	6.117	
Jun-05	28,83	36.187		16,01	1.434	249,50	7.056	
Jul-05	28,86	39.924		15,68	2.171	260,00	8.356	
Ago-05	28,69	39.400		15,86	2.731	300,00	7.136	
Sep-05					3.195		6.432	
Oct-05					2.270		3.263	

**Tabla N° 3: Variables Productivas Macro Proceso Fundición**

A continuación se presenta en la tabla N° 4 los datos correspondientes a las salidas físicas del Macro Proceso Refinería, y en la tabla N°5 las variables productivas utilizadas para la elaboración de las asociaciones lineales. En cuanto a la salida física más importantes de Refinería se incluyó datos desde enero del 2003 a octubre del 2005, al igual que en el análisis de Fundición.

**Tabla N° 4: Salidas Físicas Macro Proceso Refinería.**

<b>Fecha</b>	<b>Lam. Ini. [t]</b>	<b>CC [t]</b>	<b>Ag [t]</b>	<b>Au [t]</b>
Ene-03	936	24.919	13	0,45
Feb-03	767	23.122	14	0,36
Mar-03	959	26.745	15	0,52
Abr-03	787	26.350	15	0,52
May-03	948	26.907	17	0,71
Jun-03	1.166	25.980	16	0,44
Jul-03	1.331	26.384	15	0,58
Ago-03	1.573	26.936	18	0,50
Sep-03	1.496	26.764	14	0,42
Oct-03	1.609	28.339	15	0,68
Nov-03	920	26.364	16	0,53
Dic-03	1.028	28.140	15	0,58
Ene-04	944	27.817	16	0,44
Feb-04	999	24.477	12	0,36
Mar-04	1.298	27.925	14	0,52
Abr-04	1.074	26.573	16	0,52
May-04	1.227	26.862	13	0,46
Jun-04	1.219	26.443	18	0,47
Jul-04	1.056	27.392	13	0,55
Ago-04	1.135	26.884	14	0,43
Sep-04	1.040	26.056	11	0,52
Oct-04	1.029	26.679	12	0,52
Nov-04	960	26.179	10	0,48
Dic-04	1.151	27.469	13	0,46
Ene-05	1.188	26.543	12	0,39
Feb-05	907	24.025	11	0,44
Mar-05	1.191	27.235	15	0,52
Abr-05	1.028	28.370	14	0,42
May-05	902	30.470	13	0,63
Jun-05	905	29.991	16	0,50
Jul-05	790	30.390	18	0,50
Ago-05	1.282	31.505	14	0,50
Sep-05	979	30.418	14	0,64
Oct-05	996	31.502	14	0,44

**Tabla N° 5: Variables Productivas Macro Proceso Refinería**

tablas

Fecha	Carga Hojas Madre [t]	Ánodos a REL [t]	Metal Dore [t]	Ánodos Au [t]
Ene-03	2.558	29.516	18	0,45
Feb-03	2.342	27.292	20	0,40
Mar-03	2.581	35.397	19	0,52
Abr-03	2.390	30.496	18	0,52
May-03	2.669	35.260	21	0,72
Jun-03	2.920	30.640	18	0,52
Jul-03	3.055	32.668	19	0,53
Ago-03	3.184	33.628	21	0,55
Sep-03	3.086	31.304	18	0,42
Oct-03	3.295	35.381	17	0,68
Nov-03	2.316	31.123	19	0,48
Dic-03	2.756	34.661	20	0,58
Ene-04	2.703	35.396	19	0,48
Feb-04	2.572	27.568	13	0,37
Mar-04	3.008	33.680	17	0,47
Abr-04	2.782	33.194	19	0,57
May-04	2.994	36.228	17	0,47
Jun-04	2.906	33.694	22	0,47
Jul-04	2.751	33.690	15	0,55
Ago-04	2.826	33.089	16	0,43
Sep-04	2.909	34.405	13	0,46
Oct-04	2.747	34.186	16	0,58
Nov-04	2.643	33.782	14	0,48
Dic-04	2.806	35.742	16	0,46
Ene-05	2.861	35.322	17	0,39
Feb-05	2.639	31.518	14	0,44
Mar-05	2.864	35.960	18	0,52
Abr-05	2.701	35.276	20	0,42
May-05	2.676	36.005	17	0,63
Jun-05	2.677	34.869	20	0,50
Jul-05	2.463	36.907	19	0,50
Ago-05	2.955	37.187	19	0,50
Sep-05	2.652	38.541	16	0,60
Oct-05	2.818	38.571	19	0,44

En las

anteriores se presentaron los datos de los físicos y variables productivas seleccionadas en la elaboración de los modelos explicativos, expuestos en la sección C) de este capítulo, no obstante existieron otras variables que fueron analizadas, pero no seleccionadas; para conocer los datos referidos a dichas variables ver Anexo N° 1.

Algunas precisiones que ayuden al lector a una mejor comprensión de las Tablas:

**Nomenclatura utilizada.**

- MBCT:** Metal blanco del convertidor teniente, representado por el proceso fusión.
- MBHE:** Metal blanco del horno eléctrico, representado por el proceso limpieza de escoria.
- Cu BI:** Cobre blister del convertidor Peirce – Smith, representado por el proceso de conversión.
- AC HB:** Ánodos corrientes del horno basculante, perteneciente al proceso de refinación a fuego.
- HM HB:** Ánodos hojas madre del horno basculante, perteneciente al proceso de refinación a fuego.
- AC HA:** Ánodos corrientes de los hornos de refino, pertenecientes al proceso de refinación a fuego.
- HM HA:** Ánodos hojas madre de los hornos de refino, pertenecientes al proceso de refinación a fuego.
- Ácido:** Ácido sulfúrico producido por el proceso limpieza de gases.
- S en CNU:** Antimonio en carga nueva útil.
- CNU a CT:** Carga nueva útil ingresada al convertidor teniente.
- Mag Esc CT:** Ley de magnetita presente en la escoria de convertidor teniente.
- BI Sól:** Cobre blister sólido.
- Sb en CNU:** Ley de antimonio en la carga nueva útil.
- Lam. Ini.:** Láminas Iniciales.
- CC:** Cátodos Comerciales.
- Ag:** Símbolo que representa el metal noble Plata. (*Argentum en Latín*)
- Au:** Símbolo que representa el metal noble Oro. (*Aurum en Latín*)
- Respecto a los meses de Septiembre y Octubre del 2005, algunas de las salidas físicas y variables productivas no presentaron información debido que a la fecha de procesamiento de los datos, los informes de producción pertinentes no estuvieron listos.

En cuanto al mes de Febrero del 2005, las salidas MBHE, Cu BI y Mag Esc CT, si bien se contó con los datos, los autores decidieron omitirlos por considerarlos distorsionadores, una de las razones es que en dicho mes en la División se procedía a realizar una mantención general de las instalaciones productivas, con una duración aproximada de 20 días, además un porcentaje alto del personal se encontraba en vacaciones. Lo mismo para el dato de febrero del 2004 para la salida Ag.

En relación al mes de Julio del 2004, el dato correspondiente a MBCT fue extraordinariamente superior a los datos que lo precedían, lo que se explicó debido a un traspaso de metal blanco del horno eléctrico, conducta que no era habitual en el funcionamiento operativo, por lo tanto se excluyó del análisis.

## **C. Presentación de los Hallazgos**

### **C.1 Red de Transformaciones Productivas en los Macro Procesos**

El propósito de esta información fue lograr una primera aproximación del proceso productivo presente en la División Ventanas y con ello elaborar un esquema global de los elementos presentes en los Macro Procesos de Fundición y Refinería, así como la relación existente entre ellos, que permitieran conocer su dinámica de funcionamiento y de tal forma determinar los elementos esenciales de interés. Lo anterior se concretizó en la elaboración del módulo táctico (uno de los subsistemas de la empresa) especializado en la conducción de las actividades de producción de la División Ventanas. Para la finalidad expuesta se consideró la información proveniente de los datos del alineamiento vertical o relación dueño-empleado; de los principales productos y sub productos de División Ventanas; del alineamiento horizontal o la relación cliente-proveedor; las relaciones de causalidad en el nivel de actividad; e indicadores de gestión históricos.

#### **C.1.1 Alineamiento Vertical**

Este apartado se refirió a la relación entre el responsable de una determinada Unidad Productiva o Proceso y los integrantes de la misma. Con lo

anterior se intentó lograr un alineamiento de tipo vertical o determinación de la relación “dueño-empleado”<sup>13</sup> que permitiera conocer el alcance de la Unidad Productiva o Proceso analizado. Formalmente se habían determinado cuatro (4) Unidades Productivas en el Macro Proceso Fundición y tres (3) Unidades Productivas en el Macro Proceso de Refinería, a su vez cada Unidad Productiva era responsable por un conjunto de Procesos y una dotación de personal, que al integrarlos formaron una primera aproximación de la Estructura presente en los Macro Procesos, tal como se mostró en la tabla. La Unidad Productiva “Productos Metalúrgicos” tenía como función ser una especie de Aduana o Bodega, en donde los productos intermedios y finales se mantenían hasta entrar a proceso o a embarque, de igual forma, en Fundición, el proceso “Manejo de Materiales”, no representaba una transformación física, sino que su función consistía en el almacenamiento y distribución de materiales.

**Tabla Nº 6: Unidades Productivas y Procesos en Fundición y Refinería**

<b>Macro Proceso</b>	<b>Unidad Productiva</b>	<b>Proceso</b>
Fundición	Recepción y Mezcla	Manejo de Materiales Chancado y Selección
	Fundición	Secado Fusión Limpieza de Escoria Conversión
	Refino a Fuego	Horno Basculante Hornos Refino Moldeo
	Planta de Gases	Producción Ácido
Refinería	Refinería Electrolítica	Obtención Laminas Iniciales Obtención Cátodos Comerciales Tratamiento Electrolito
	Productos Metalúrgicos	Productos Intermedios Productos Finales
	Planta de Metales Nobles	Lixiviación Barro Anódico Planta de Selenio  Horno TROF Electrólisis Plata Fundición Oro Refinación Oro

Para propósitos del estudio se consideraron a los Macro Procesos como Centros de Responsabilidad, es decir, unidades dirigidas por un responsable con capacidad para tomar decisiones. Desde tal perspectiva las Unidades Productivas

<sup>13</sup> Expresión utilizada para representar los niveles jerárquicos y de responsabilidad al interior de las Unidades Productivas de los Macro Procesos.

también fueron consideradas como centros de responsabilidad, pero a una escala menor, y cuyo ámbito decisional estuvo circunscrito al de los Macro Procesos.

Cada unidad productiva estaba a cargo de un Jefe de Unidad que contaba con el apoyo de un Jefe de Turno, que a su vez era responsable por la coordinación de los Encargados de los distintos procesos. Vale decir que se utilizó la categoría de “Proceso” para representar a un conjunto de actividades interrelacionadas, y que los procesos determinados fueron los que a juicio de los Jefes de Unidades, y respaldados por el Jefe de Gestión Operativa y Expertos de la Gerencia de Excelencia Operacional, mayor importancia tenían en cuanto a la descripción de la transformación productiva.

De la observación previa de los árboles de valor y del funcionamiento del sistema de costeo utilizado en Ventanas, se determinaron la existencia de ocho (8) procesos para Fundición, sin embargo, de acuerdo a los expertos, se reconocieron 10 procesos para una completa visión del Macro Proceso. En cuanto a Refinería, el sistema de costeo consideraba un conjunto de 15 procesos, no obstante 11 de ellos (los mostrados en la tabla N° 6) representaban los principales centros de actividad de acuerdo a los expertos consultados.

Cada uno de los procesos identificados representaría a un Módulo Tecnológico, ya que eran las unidades ejecutoras o donde se llevaban a cabo las actividades de transformación, a su vez, tal como se mencionó anteriormente, cada uno de los procesos identificados estaban bajo la responsabilidad de un encargado, quien representaría al Módulo de Pilotaje, ya que era quien regulaba y coordinaba el desempeño de la unidad ejecutora. Además se desprendió la existencia de interconexiones entre Módulos de Pilotaje, en las relaciones existentes entre los encargados de los procesos y los jefes de turno o jefes de la Unidad Productiva.

### **C.1.2 Principales productos y sub productos**

Esta sub categoría se refirió a los resultados de las actividades realizadas en el proceso productivo de Fundición y Refinería. También se les denominó “físicos” o “salidas físicas” ya que representaban el efecto tangible de las distintas actividades. Los productos terminados de mayor representatividad en la División Ventanas eran los Ánodos de Cobre asociados al Macro Proceso de Fundición y los Cátodos Comerciales de alta pureza asociados al Macro Proceso de Refinería. No obstante existía un conjunto de sub productos que permitieron un acercamiento al flujo físico que se llevaba a cabo en las operaciones internas de

los Macro Procesos mencionados. A continuación se presentó un listado de lo expuesto anteriormente.

En las salidas físicas expuestas se incluyeron algunos residuos resultantes de los procedimientos; en el Macro Proceso Fundición fue el caso de los gases originados en CT y CPS, el agua y la escoria final. También en Fundición se incluyó la salida “ventas externas” que obedeció a las ventas de concentrado de cobre en existencia aprovechando diferenciales de precio, no era una conducta habitual ni el resultado de una transformación física, no obstante como primera aproximación se incorporó en el análisis. En lo relacionado al Macro Proceso Refinería se incorporó el residuo Escoria Líquida además de distintas denominaciones de tipos de cátodos de cobre que en términos agregados se denominaban Cobre Electrolítico.

**Tabla N° 7: Salidas Físicas de los Macro Procesos Fundición y Refinería**

<b>Macro Proceso</b>	<b>Salidas Físicas</b>	<b>Macro Proceso</b>	<b>Salidas Físicas</b>
<b>Fundición</b>	Mezcla Húmeda	<b>Refinería</b>	Láminas Iniciales
	Circulante Chancado		Cátodos Iniciales
	Fundentes		Cátodos Comerciales
	Ventas Externas		Cátodos Descubrización
	Mezcla Seca		Cátodos Estándar
	Agua		Láminas y Despunte
	Metal Blanco CT		Electrolito
	Escoria a HE		Barro Anódico Desc.
	Gases CT		Teluro
	Metal Blanco HE		Moldes
	Escoria Final		Selenio
	Cobre Blister		Escoria Líquida
	Gases CPS		Metal Doré
	Escoria Basculante		Granalla de Plata
	Cobre Anódico		Paladio y Platino
	Escoria Anódica		Platino
	Ánodos Corrientes		Barro Aurífero
	Ánodos Hojas Madre		Ánodos Oro
	Ácido Sulfúrico		Barras de Oro

A partir de lo anterior fue posible vincular las distintas salidas físicas a Centros o Unidades responsables de ellas, contribuyendo al establecimiento de un número determinado y finito de procesos productivos que permitieran vislumbrar

las principales transformaciones que tenían lugar en los Macro Procesos de Fundición y Refinería.

El origen y destino de dichos flujos físicos representaron la manera de interconexión entre los módulos tecnológicos (procesos productivos), configurando la transformación principal que se llevaba a cabo en el área productiva de la División. De tal forma el ingreso de un determinado físico a un proceso representó la variable de entrada al módulo tecnológico y el resultado del proceso, o salida física, representó la variable de salida de dicho módulo tecnológico.

### **C.1.3 Alineamiento Horizontal**

Esta sección se refirió a la conexión presente entre los distintos procesos productivos. El establecimiento de estas relaciones se constituyó a través del intercambio físico existente entre ellos, es decir, utilizando como medio de orientación el origen y destino de los distintos productos y sub productos presentes en los Macro Procesos.

El propósito de lo anterior fue sentar las bases del alineamiento horizontal o de la relación “Cliente-Proveedor”<sup>14</sup> necesaria para la elaboración de la red de transformaciones productivas presentes en los Macro Procesos.

De acuerdo a los datos proporcionados por los Jefes de Unidades y Gestión Operativa, relacionados con las principales actividades efectuadas por los distintos procesos identificados (Ver Anexo N° 10), fue posible determinar una primera aproximación del alineamiento horizontal.

De los procesos identificados en Fundición, nueve (9) de ellos efectivamente implicaron una transformación de físicos, siendo el proceso de “Manejo de Materiales” una instancia en la que se almacenaban y distribuían materiales. En cuanto al Macro Proceso Refinería, de los 11 procesos reconocidos, dos (2) de ellos, “Productos Intermedios” y “Productos Finales”, no implicaban transformación física relevante y su función consistía en almacenar y distribuir productos a los procesos internos o a embarque.

En las relaciones representadas se establecieron los vínculos básicos entre procesos. Al estudiar las características de dichas relaciones, se observó que esencialmente las transformaciones productivas correspondían a una “cadena de purificación” de la materia prima Concentrado de Cobre, cuya expresión final se constituyó en el producto final del Macro Proceso de Refinería que era el Cátodo

---

<sup>14</sup> Término utilizado para expresar que una misma unidad cumple un doble rol, tanto como de cliente, como de proveedor.

Comercial. Además fue posible apreciar que las mayores transformaciones eran asociadas a un número limitado de salidas, a saber, Metal Blanco, Cobre Blister, Ánodos y Ácido Sulfúrico en Fundición, antecedente que sustentó la consideración de solo seis (6) procesos relevantes -Producción Ácido, Fusión, Limpieza de Escoria, Conversión, Horno Basculante, Hornos Refino. A su vez, en Refinería las salidas consideradas fueron Láminas Iniciales, Cátodos Comerciales, Granallas de Plata y Barras de Oro, las que se asociaban a cuatro (4) procesos relevantes, Obtención Cátodos Iniciales, Obtención Cátodos Comerciales, Refinación Plata y Fundición Oro.

También fueron reconocibles los desechos o residuos de los procesos (que para efectos de este estudio también se consideraron como físicos) de Fusión, Limpieza de Escoria y Conversión en el Macro Proceso de Fundición, que implicaban una limitante en el nivel producido por regulaciones ambientales y representaba un punto crítico en el operar diario de la Fundición.

Una vez determinados los procesos relevantes y las salidas físicas asociadas a ellos fue posible la incorporación de las variables productivas que complementarían el proceso de conversión productiva en la División Ventanas y la relación que dichas variables presentaban con los físicos mencionados.

#### **C.1.4 Relaciones de causalidad en el nivel de producción**

En este apartado se identificaron los factores determinantes del nivel de actividad, medido en términos de Producto/Tiempo, y se basó en que el comportamiento de determinadas variables era el causal de determinados resultados; dichas variables cobraban interés para los encargados de los procesos y jefes de unidades productivas, ya que representaban los factores explicativos de los resultados por los cuales serían evaluados (estos resultados se concretizaban en parámetros atribuibles a valores de ciertas variables críticas o, en términos de la metodología empleada, variables esenciales o de control). De esta forma fue posible distinguir un conjunto de variables productivas por cada proceso perteneciente a Fundición y Refinería. A continuación se expusieron, como una muestra, las variables productivas y las salidas físicas correspondientes al Proceso Fusión del Macro Proceso de Fundición. (Para conocer el listado con la totalidad de variables productivas ver Anexo N° 11)

<b>PROCESO</b>	<b>SALIDAS</b>	<b>VARIABLES</b>
		Concentrado de cobre ingresado.

<p>FUSIÓN (CONVERTIDOR TENIENTE)</p>	<p>Metal Blanco Escoria a Horno Eléctrico Gases</p>	<p>Ley de cobre en concentrado. Ley de azufre en concentrado. Ley de fierro en concentrado. Ley de arsénico en concentrado. Ley de antimonio en concentrado. Tiempo de soplado. Temperatura pirómetro.</p>
--	---	--

**Tabla Nº 8: Salidas físicas y variables productivas proceso fusión.**

La clase de variables identificadas, a través de la modalidad de causalidad, fueron, básicamente, del tipo de “Calidad de las Entradas Físicas” representadas por las leyes de los distintos minerales presentes en ellas. Lo anterior tenía su fundamento en que dependiendo de la “Calidad de las Entradas” su procesamiento sería más o menos eficiente en términos de materiales e insumos utilizados, y más o menos eficaz en cuanto a la “Calidad de las Salidas” del determinado proceso. De lo analizado anteriormente se dedujo una primera aproximación relacionada con la importancia que tendrían tanto la cantidad como la calidad de las entradas físicas a los procesos, en la productividad de los mismos y por lo tanto en los costos indirectos de fabricación a los cuales se intentaron vincular las variables.

Del listado de variables expuesto fue preciso analizar y seleccionar aquellas que fueran de mayor importancia, primeramente considerando su impacto en los resultados físicos o productivos en los procesos y posteriormente tomando en cuenta su influencia en los costos indirectos de fabricación. De tal manera se buscó contar con un conjunto acotado de variables esenciales o de control, a través de las cuales fuera posible medir, incentivar y guiar a los responsables de los distintos procesos.

### **C.1.5 Indicadores de Gestión Históricos**

En esta sección se examinaron los indicadores del comportamiento de las variables que se consideraban críticas en el sentido de consecución de resultados determinados, a juicio de los Jefes de las Unidades Productivas, y que quedaron plasmados en los instrumentos de planificación propuestos por Codelco, los Convenios de Desempeño y Tableros de Gestión. (Ver Anexo Nº 3).

El conjunto de indicadores presentados a través de los instrumentos de planificación coincidieron con los planteados en las relaciones de causalidad y se centraron, fundamentalmente, en las leyes de minerales contenidas en los productos y sub productos, y en la oportunidad de entrega de los mismos desde un proceso a otro.

### C.1.6 Conclusiones Previas

Del análisis e interpretación realizadas y expuestas en las sub categorías anteriores -alineamiento vertical, principales productos y sub productos, alineamiento horizontal, relaciones de causalidad e indicadores de gestión históricos- fue posible elaborar un módulo que mostrara la dinámica existente en el subsistema primario de producción que incluyó a los dos principales macro procesos productivos. (Ver Anexo N° 16). De la observación de dicho módulo fue posible concluir que:

Fue viable representar el proceso de conversión o subsistema primario de producción realizado en División Ventanas a través de un conjunto limitado de procesos presentes en las Áreas de Fundición y Refinería, los cuales constituían las unidades de ejecución o centros de actividad, donde se realizaba la acción o transformación propiamente tal. Del total de procesos o módulos tecnológicos identificados, existieron tres (3) que no constituían una transformación física de la materia prima, sino que su función consistía en el almacenaje y distribución de materiales o físicos (manejo de materiales y productos metalúrgicos).

La configuración de la transformación principal se logró a través de la asociación de los procesos por medio del intercambio de físicos entre ellos. Tal como se mencionó, los físicos eran productos o sub productos de los distintos procesos, y se constituyeron en las variables de entrada y variables de salida del módulo tecnológico. Por lo tanto, las interconexiones de los procesos o módulos tecnológicos a través de los productos o sub productos, establecieron la red de transformaciones productivas de la División.

En cuanto a la naturaleza de las transformaciones identificadas se apreció que representaban una “cadena de purificación” en que la entrada física o variable de entrada primaria concentrado de cobre se convertía en cátodos comerciales de alta pureza.

Del conjunto de salidas físicas o productos o sub productos definidos, asociados a cada proceso identificado, fue posible distinguir tres (3) clases, a saber, aquellas que representaban una transformación física, las que no representaban una transformación física y los desechos, siendo las primeras las de mayor interés para el presente estudio.

En cuanto a las propiedades de las salidas que sí representaban una transformación física, se consideraron dos (2) de ellas como principales, la cantidad y la calidad, esta última expresada básicamente a través de leyes de minerales. Ambas consideradas como determinantes a juicio de los expertos.

Las variables de acción provenientes de los módulos de pilotaje correspondían básicamente a regulaciones de las actividades internas vinculadas con el operar de las maquinarias, además de comunicar los niveles productivos esperados.

Las variables que se expusieron como esenciales o de control en el módulo elaborado correspondieron a las consideradas como tales por los responsables de la gestión de los procesos, no obstante, fue propósito de la presente investigación determinar la relevancia productiva y económica (costos productivos) de considerar dichas variables como el medio a través del cual se mida la eficiencia y eficacia de la gestión.

En síntesis la identificación y asociación de módulos tecnológicos realizada definió un contexto en el cual fue posible estudiar las variables productivas que representaron un elemento primario en este estudio.

## **C.2 Explicación de las Salidas Físicas**

La finalidad de esta información fue determinar cuáles de las variables productivas relacionadas con los distintos procesos identificados eran las que explicaban mayormente el comportamiento de las salidas físicas asociadas a los mismos.

Para tales efectos se basó en la información proporcionada por los datos obtenidos de las asociaciones lineales entre salidas físicas y variables productivas. El procedimiento utilizado se explicó en el Capítulo II.

### **C.2.1 Asociaciones Lineales**

En esta sección se consideraron las regresiones lineales realizadas entre las salidas físicas (variables dependientes o explicadas) y las variables productivas (variables independientes o explicativas). Las salidas físicas explicadas y las variables productivas utilizadas, junto con los parámetros obtenidos se presentaron en el Anexo N° 13. De igual forma, la presentación de los test estadísticos utilizados, así como los valores resultantes de su aplicación fueron expuestos en los anexos N° 15 y N° 16 respectivamente.

Para efectos de mejor comprensión se mencionaron las principales pruebas realizadas: Significancia estadística de los parámetros estimados (test t y test F), detección multicolinealidad (coeficiente de correlación), detección heteroscedasticidad (test Goldfeld y Quandt) y detección autocorrelación (test Durbin-Watson).

## a) Macro Proceso Fundición

Las salidas físicas analizadas correspondieron a los resultados de los procesos relevantes de Fundición, y que constituían una efectiva transformación física, a saber: Metal Blanco Convertidor Teniente y Escoria Convertidor Teniente; Metal Blanco Horno Eléctrico y Escoria Final; Cobre Blister de Convertidor Peirce Smith; Ánodos Corrientes y Ánodos Hojas Madre Horno Basculante; Ánodos Corrientes y Ánodos Hojas Madre de Hornos de Refino; y Ácido Sulfúrico. Para cada una de las salidas físicas consideradas se mostró gráficamente el comportamiento real (línea continua) y el comportamiento estimado por los modelos elaborados que incluyeron las variables productivas seleccionadas (línea discontinua).

### a.1) Proceso Fusión

La principal salida de este proceso fue el Metal Blanco y secundariamente la Escoria.

Las variables productivas consideradas fueron:

**Tabla N° 9: Variables productivas proceso fusión.**

<b>Variables Productivas</b>
Concentrado de cobre ingresado.
Ley de cobre en concentrado.
Ley de azufre en concentrado.
Ley de fierro en concentrado.
Ley de arsénico en concentrado.
Ley de antimonio en concentrado.
Tiempo de soplado.
Temperatura pirómetro.

#### a.1.1) Metal Blanco de Convertidor Teniente

El metal blanco fue uno de los resultantes del proceso de fundición del concentrado de cobre, su ley bordeaba entre 70 y 75 % Cu. En la explicación de este sub producto se consideraron las variables productivas CNU y Ley de Azufre, siendo la primera la principal materia prima del proceso global de “purificación” y la segunda uno de los minerales presentes en la misma.

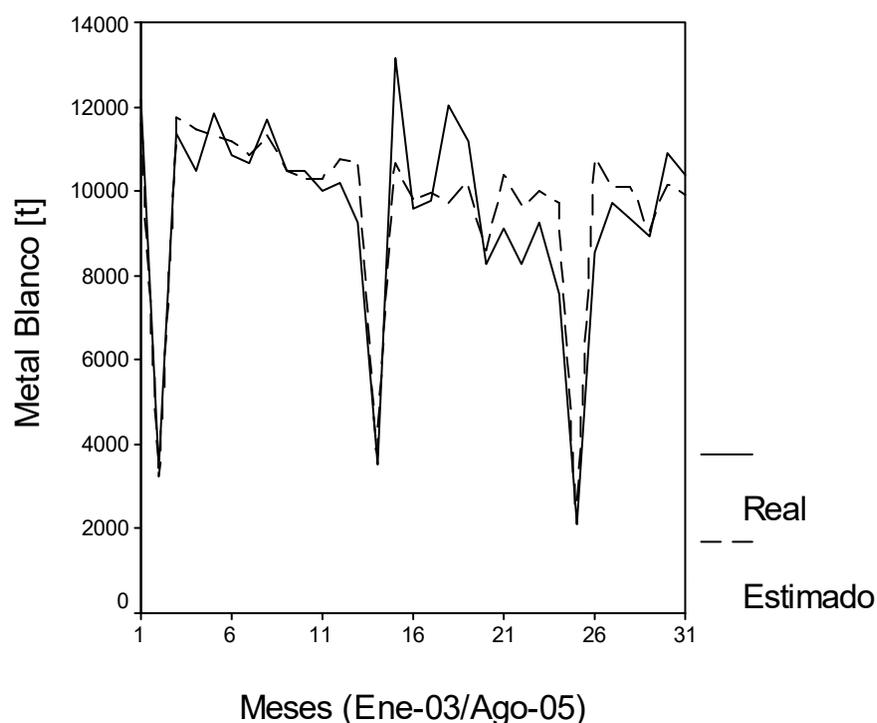
La justificación productiva en la selección de dichas variables se sustentó en que operativamente ante una mayor carga de concentrado se asumía que existía más cobre, considerando una mezcla que cumplía con los estándares establecidos. En cuanto a la ley de azufre, era conocido entre los expertos que un concentrado con una mayor ley de azufre implicaba una mayor ley de cobre.

En términos comparativos entre las dos variables explicativas, se determinó, a través de los coeficientes beta, que la CNU tenía un mayor impacto en el metal blanco que la ley de azufre.

En cuanto a la validez estadística de los parámetros estimados, ambos resultaron significativos al nivel de significancia exigido (5 %), tanto individual como conjuntamente, indicando que las variables explicativas seleccionadas se relacionaban linealmente con el metal blanco. Respecto a la bondad del ajuste, el coeficiente de determinación obtenido fue de 0,82 indicando un alto grado en la explicación de la varianza de la variable dependiente.

En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de metal blanco utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 1: Comportamiento histórico producción metal blanco convertidor teniente.**



Examinando la naturaleza de las variables productivas consideradas, en relación al metal blanco se observó que su comportamiento (en términos de cantidad producida) dependía de la cantidad de materia prima que el convertidor teniente recibía, quedando en lugares secundarios las leyes de minerales y funcionamientos operativos existentes, lo cual quedó en evidencia por medio de los valores de los coeficientes beta calculados.

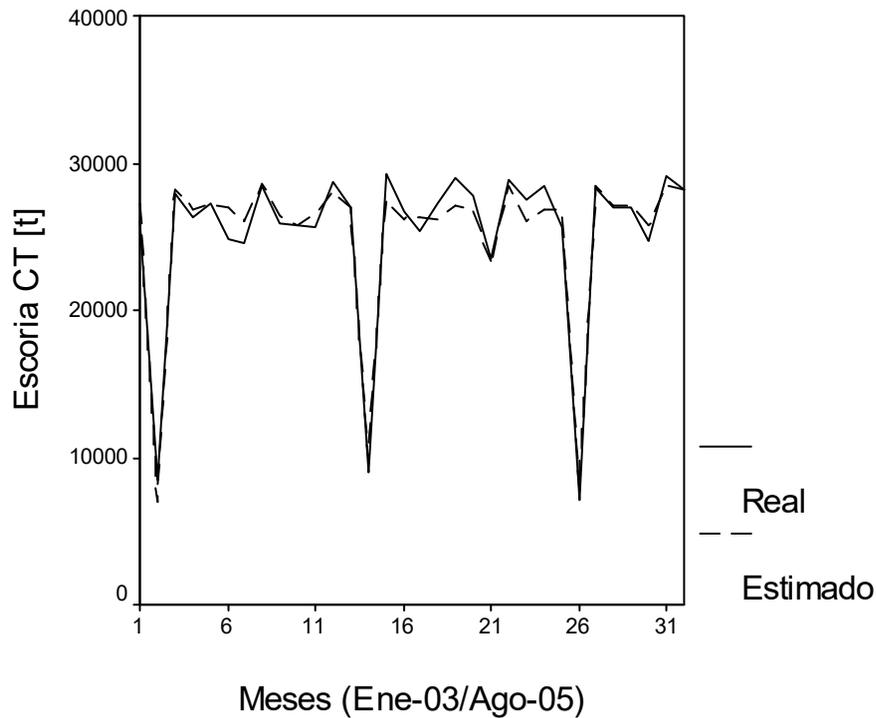
Por lo tanto, de acuerdo a lo expuesto en los párrafos anteriores se determinó que las variables productivas que explicaban o condicionaban mayormente el comportamiento de la producción de metal blanco fueron la CNU y la ley de Azufre presente en el concentrado de cobre, así como que tales relaciones contaban con el sustento productivo necesario para considerarlas válidas.

#### **a.1.2) Escoria de Convertidor Teniente**

La escoria representaba otro de los elementos resultantes del proceso de fundición del concentrado de cobre, productivamente en términos comparativos, la escoria era la parte más liviana del fundido y la importancia de su procesamiento radicó en que aún contenía algún nivel de cobre (8 % aprox.). La principal variable productiva vinculada con este proceso fue la CNU ingresada al convertidor teniente, la lógica productiva consistió en que la CNU ingresada tendría en promedio una ley de cobre de 30%, por lo tanto el 70% restante de masa sería escoria y frente a una mayor cantidad de CNU habría más escoria. En cuanto a la significancia estadística de esta variable los indicadores utilizados demostraron su validez.

Respecto del ajuste de la recta estimada, el valor del coeficiente de determinación fue de 0,96 lo que indicaba que gran parte de la varianza de la escoria era explicada por el modelo. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de escoria utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 2: Comportamiento histórico producción escoria de convertidor teniente.**



Al igual que en el caso del metal blanco, la naturaleza de la variable productiva utilizada correspondió a cantidad de materia prima ingresada al proceso, quedando en lugares secundarios las otras dos (2) categorías (leyes minerales y funcionamientos operativos).

Por lo tanto, de acuerdo a lo expuesto anteriormente se concluyó que la cantidad de escoria de convertidor teniente dependía básicamente de la cantidad de CNU que era ingresada al proceso de fusión, además que tal observación contaba con un respaldo productivo y estadístico.

### **a.2) Proceso Limpieza de Escoria**

La limpieza de la Escoria proveniente del Convertidor Teniente se basaba en la máxima recuperación posible de cobre del desecho del proceso previo de fusión, las dos salidas físicas correspondían a Metal Blanco de Horno Eléctrico y Escoria Final. Las variables productivas consideradas fueron:

**Tabla N° 10: Variables productivas proceso limpieza de escoria.**

<b>Variables Productivas</b>
Escoria de Convertidor ingresada.
Temperatura de Escoria ingresada.
Ley de Magnetita en Escoria CT.

Ley de cobre en Escoria ingresada
Calidad de Secundarios.
Potencia Eléctrica.

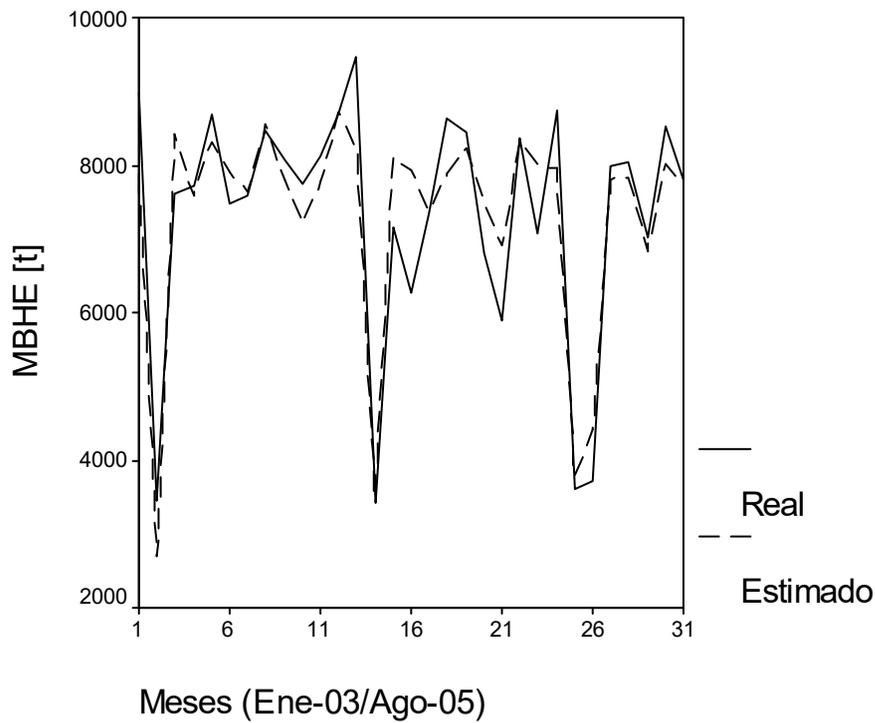
Las variables críticas fueron la Ley de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) que contuviera la Escoria y la cantidad del físico ingresado (cantidad de Escoria de Convertidor Teniente ingresada al Horno Eléctrico).

### **a.2.1) Metal Blanco de Horno Eléctrico**

Este sub producto era uno de los resultados del procedimiento de limpieza o purificación de la escoria del convertidor teniente y tal como fuera mencionado, contenía una ley de cobre fluctuante entre 70 y 75 %. En el modelo elaborado para la explicación del Metal Blanco del Horno Eléctrico se incluyeron las dos variables mencionadas en el párrafo anterior, Escoria de convertidor teniente y ley de magnetita, esta última correspondía a un mineral formado básicamente por el hierro presente en el concentrado y su incorporación en el modelo obedeció a la lógica productiva que una mayor cantidad de magnetita “arrastraba” una cantidad mayor de cobre; en este caso particular un argumento adicional para utilizar esta última variable fue que la ley de cobre en la escoria de convertidor teniente no sería medida en forma eficiente.

En cuanto al impacto que cada variable explicativa tenía sobre la salida física en análisis, claramente la escoria de convertidor teniente superaba a la ley de magnetita, interpretación que se obtuvo al analizar los coeficientes beta. Respecto a la significancia de los parámetros estimados, ambos mostraron validez estadística de acuerdo a lo demostrado por las pruebas tanto individuales como conjuntas, y relacionado con lo anterior, la bondad del ajuste, medida a través del coeficiente de determinación ajustado fue de 0,83. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de metal blanco utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 3: Comportamiento histórico producción metal blanco horno eléctrico.**



De acuerdo a la naturaleza de las variables explicativas, nuevamente cobró mayor importancia la cantidad de físicos o subproductos que eran ingresados al proceso, seguida por las leyes de minerales presentes en la misma. En este caso, las variables relacionadas con el funcionamiento operativo de los procesos no fueron estadísticamente significativas, no obstante la lógica productiva indicó que eran indispensables en el desarrollo de los mismos. En cuanto al aspecto estadístico se determinó que se cumplía con los niveles de significancia exigidos en las pruebas de hipótesis.

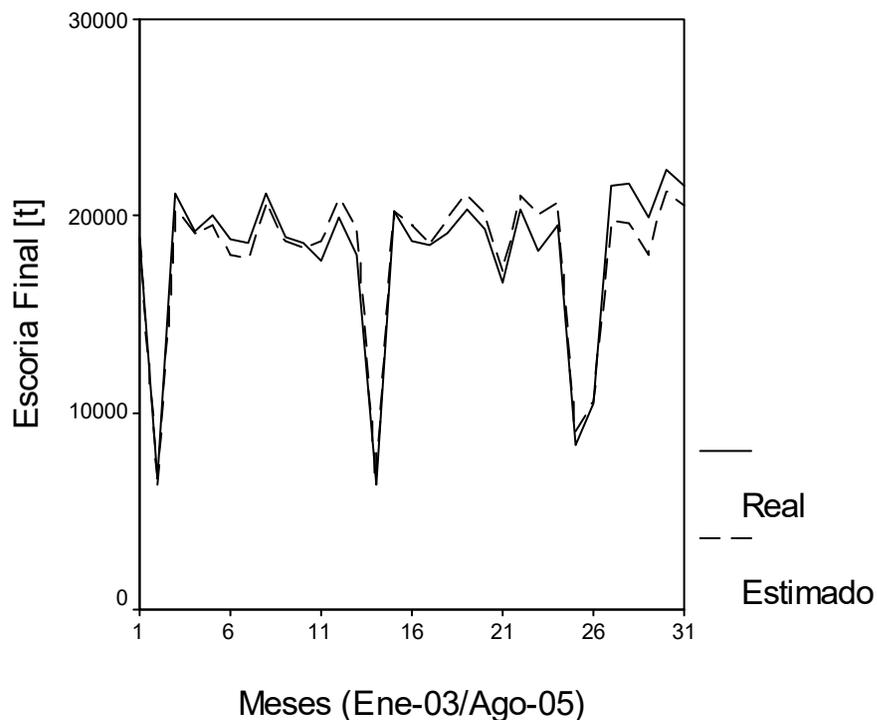
Por lo tanto se concluyó que el metal blanco proveniente del horno eléctrico dependía básicamente de la cantidad de escoria ingresada desde el convertidor teniente y de la ley de magnetita que esta tuviera, lo anterior sustentado tanto estadística como productivamente.

### **a.2.2) Escoria de Horno Eléctrico**

La escoria resultante del proceso en cuestión correspondía a la cantidad de mineral que se desechaba por considerar su nuevo procesamiento como no rentable, en efecto, la ley de cobre de este residuo bordeaba alrededor del 0,8 %. En la explicación de la salida física Escoria Final se utilizó la variable Escoria de CT, que tal como ha sido mencionado correspondía a una de las salidas del proceso fusión. El criterio utilizado en su inclusión correspondía a que frente a mayores cantidades de físicos ingresados al proceso de limpieza, mayor cantidad de físicos resultarían de él. En cuanto a la validez estadística del parámetro

estimado, se consideró válido de acuerdo a las pruebas realizadas; respecto a la bondad del ajuste, se observó un coeficiente de determinación alto correspondiente a 0,94. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de escoria final utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 4: Comportamiento histórico producción escoria horno eléctrico**



Al igual que en la totalidad de los procesos analizados hasta el momento, la naturaleza de las variables productivas que implicaron un mayor impacto sobre las variables explicadas correspondieron a cantidades de productos o subproductos ingresados a los distintos procesos.

Por lo tanto, la variable productiva que implicaba un mayor impacto sobre la obtención del residuo escoria del horno eléctrico correspondió a la escoria de convertidor teniente ingresada al proceso limpieza de escoria; relación que estuvo fundamentada tanto estadística como productivamente.

### **a.3) Proceso Conversión**

En este punto se transformaba el Metal Blanco proveniente tanto del proceso Fusión como de Limpieza de Escoria, en Cobre Blister Líquido. Las variables productivas consideradas fueron:

**Tabla N° 11: Variables productivas proceso conversión**

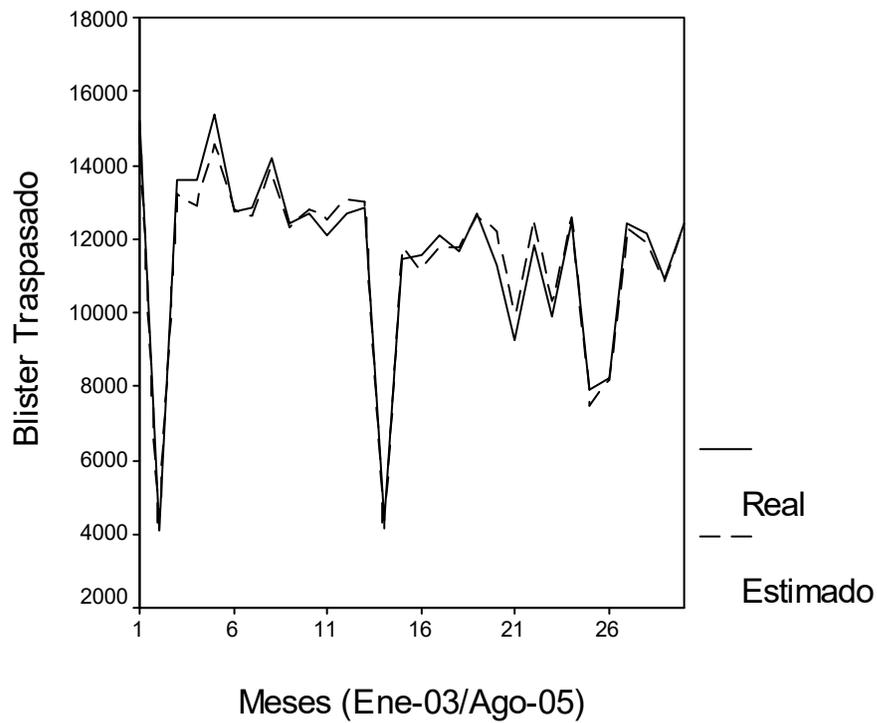
<b>Variables Productivas</b>
Metal Blanco ingresado.
Calidad Metal Blanco
Temperatura del baño.
Flujo de Aire.
Enriquecimiento de Aire.
Tiempo de Soplado

Básicamente la interpretación del análisis fue que la variable crítica correspondía a la cantidad de Metal Blanco ingresado al Convertidor Peirce Smith.

### **a.3.1) Cobre Blister de CPS**

El cobre blister fue el resultado del procesamiento del metal blanco proveniente del proceso fusión, era considerado como cobre de alta pureza, alcanzando una ley de 99 %. Utilizando la variable explicativa mencionada en el párrafo anterior, Metal Blanco Total ingresado al Convertidor Peirce Smith, bajo la lógica que la base de la operación consistía en depurar dicha entrada, se obtuvo un modelo con un  $R^2$  de 0,97, en que el estimador cumplió con la significancia estadística exigida. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de cobre blister utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 5: Comportamiento histórico producción cobre blister convertidor Peirce – Smith.**



La naturaleza de la variable explicativa obedeció a la cantidad de físicos ingresados al proceso, considerando las demás variables productivas analizadas como no significativas a los niveles estadísticos exigidos.

Por lo tanto la variable productiva que afectaba de mayor manera el nivel de producción del cobre blister en los convertidores Peirce-Smith correspondió a la cantidad de metal blanco ingresado desde los procesos de fusión y limpieza de escoria; la relación mencionada contaba con el respaldo estadístico y productivo estimado como relevante.

#### **a.4) Proceso Refinación a Fuego Horno Basculante**

Este proceso recibía solamente el Cobre Blister Líquido proveniente del Convertidor Peirce Smith, y a partir de éste se obtenían Ánodos Corrientes y Hojas Madre. Las variables productivas consideradas fueron:

**Tabla N°12: Variables productivas proceso horno basculante.**

<b>Variables Productivas</b>
Blister traspasado
Ley de Antimonio Blister.
Flujo de gas

Nuevamente el factor crítico en la explicación de las cantidades obtenidas de Ánodos fue el volumen ingresado de físicos, en este caso Cobre Blister Líquido, no obstante la sola vinculación de la cantidad producida de este sub producto por el proceso previo no fue suficiente para explicar satisfactoriamente las salidas físicas del Horno Basculante. La razón de lo anterior se encontró en la existencia de “trasvases” de Cobre Blister Líquido desde el Horno Basculante hacia los Hornos de Refino, por lo tanto una primera medida fue analizar este “trasvase”, llegándose a la conclusión que el cobre blister trasvasado era aquel con una ley de Antimonio superior a las 480 [ppm]. No obstante no existían mediciones confiables respecto a tal variable, por lo tanto, la cantidad trasvasada se consideró como una variable exógena.

A partir de lo anterior fue posible explicar los Ánodos Corrientes y Ánodos Hojas Madres resultantes del Horno Basculante a través de la variable representada por la diferencia entre el Cobre Blister CPS y el Cobre Blister Traspasado hacia los Hornos de Refino.

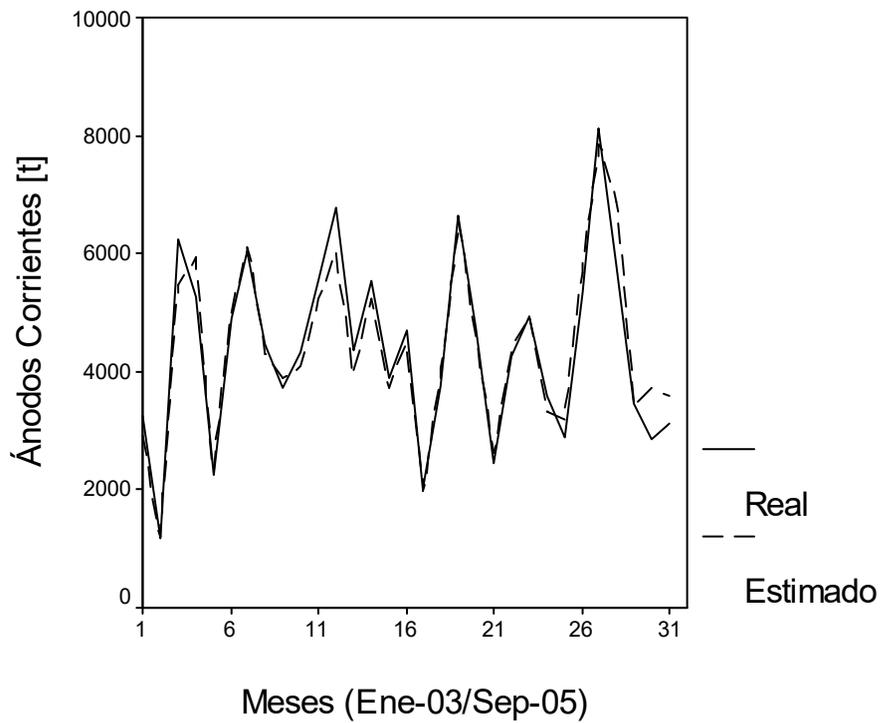
#### **a.4.1) Ánodos Corrientes Horno Basculante**

Los ánodos corrientes eran placas en forma rectangular con un peso de 278 kilogramos y una pureza de 99,7 %, en términos precisos, la salida principal de este proceso correspondía al cobre anódico que después de moldearse se transformaba en ánodos.

La variable productiva seleccionada correspondió al cobre blister ingresado o también denominada como Blister “neto” proveniente del convertidor Peirce-Smith, la razón por la cual se utilizó dicha variable fue que este proceso básicamente aumenta la pureza del cobre blister ingresado, y frente a mayores cargas de cobre blister mayor cantidad de cobre anódico se obtendrían.

En cuanto a la validez estadística de los estimadores se consideraron significativos al nivel exigido (5 %); respecto a la varianza de la variable dependiente explicada por el modelo, el coeficiente de determinación de la muestra fue de 0,93. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de ánodos corrientes utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

#### **Figura N° 6: Comportamiento histórico producción ánodos corrientes horno basculante.**

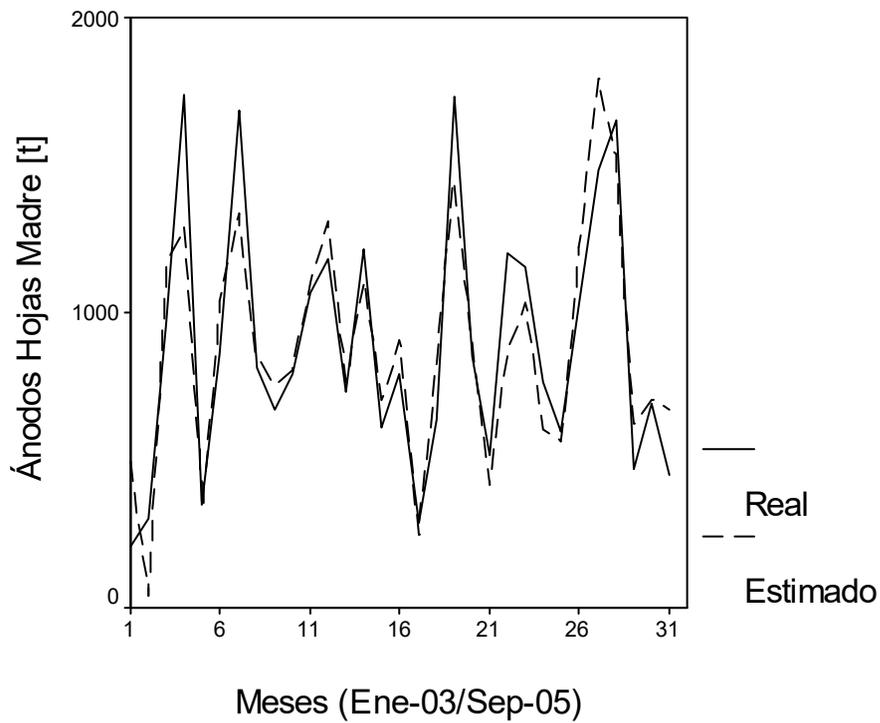


En relación a la naturaleza de la variable explicativa seleccionada, y al igual que en los procesos anteriores, correspondió a la cantidad de físicos ingresados al proceso. Por lo tanto, la variable productiva que mayor impacto tuvo en la producción de ánodos corrientes atribuibles al proceso de refinación de horno basculante fue la cantidad de cobre blister ingresado; la relación mencionada contó con el respaldo estadístico, así como con la lógica productiva necesarios para considerarlos como válidos.

#### a.4.2) Ánodos Hojas Madre Horno Basculante

Al igual que los ánodos corrientes, los ánodos hojas madre contaban con una pureza de 99,7 % de cobre, la diferencia entre ambos físicos radicó en el peso y en el propósito, las hojas madre pesaban 282 kilogramos y se utilizaban en la producción de cátodos iniciales. Utilizando la misma variable explicativa que para los Ánodos Corrientes se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,80, en cuanto a la significancia estadística del estimador, se consideró válida de acuerdo a los niveles exigidos. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de ánodos hojas madre utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 7: Comportamiento histórico producción ánodos hojas madre horno basculante.**



En cuanto a la naturaleza de la variable explicativa seleccionada, correspondió a la cantidad de físicos ingresados al proceso, aspecto que ha sido generalizable a los modelos elaborados hasta aquí. Los aspectos relacionados con las leyes de minerales y funcionamientos operativos resultaron no significativos a los niveles exigidos.

Por lo tanto la variable explicativa cantidad de cobre blister ingresado al horno basculante resultó ser la variable productiva de mayor impacto sobre los niveles de producción de tal proceso; la relación mencionada contó con el respaldo estadístico y productivo estimado como relevante para considerarla válida.

#### **a.5) Proceso Refinación a Fuego Hornos Refino**

Estos Hornos refinaban el Scrap, el Cobre Blister Sólido y el Cobre Blister Líquido proveniente de distintos procesos, generando un Cobre Anódico que luego de ser moldeado se transformaba en Ánodos Corrientes y Ánodos Hojas Madre.

Las variables productivas consideradas fueron:

**Tabla N°13: Variables productivas proceso hornos refino.**

<b>Variables Productivas</b>
Trasvase Blister Líquido.
Ingreso Scrap.
Ingreso Blister sólido.

Calidad de la carga
Flujo de gas.

Al igual que en procesos anteriores, las salidas físicas se vieron explicadas por el volumen o cantidad de físicos ingresados. En este caso se elaboraron dos (2) modelos –uno (1) para los Ánodos Corrientes y uno (1) para las Hojas Madres los cuales incorporaban como variable explicativa a la carga total recibida por los mismos, que estaba compuesta por los físicos Scrap, Cobre Blister Sólido y Cobre Blister Líquido.

#### **a.5.1) Ánodos Corrientes Hornos Refino**

Este producto presentaba las mismas características mencionadas para las salidas físicas del proceso horno basculante, con un peso de 278 kilogramos y una pureza del 99,7 %. A diferencia del proceso anterior, las entradas físicas diferían, siendo esta estación una receptora de partes no utilizadas de otros productos, principalmente de ánodos. Tal como se mencionó en el párrafo anterior, la variable productiva seleccionada correspondió a la carga total de los hornos de refino, asumiendo que a mayor cantidad de carga se produciría una mayor cantidad de ánodos corrientes.

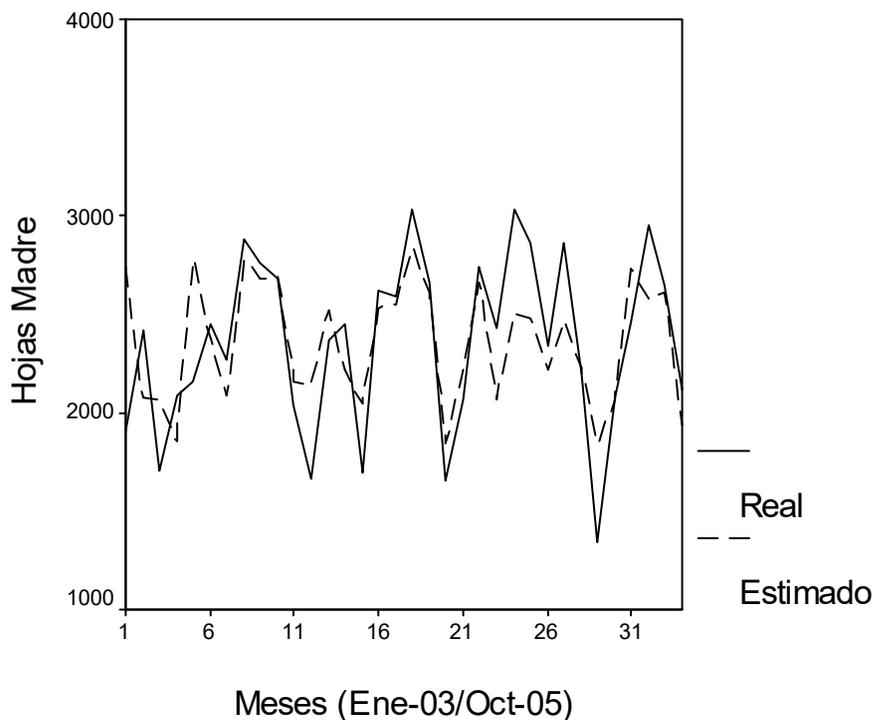
Desde el punto de vista estadístico el resultado del análisis arrojó un  $R^2$  de 0,70, manteniéndose la tendencia de altos niveles en la bondad del ajuste para los modelos elaborados; la significancia estadística del estimador se consideró como válida de acuerdo a las pruebas realizadas. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de ánodos corrientes utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura Nº 8: Comportamiento histórico producción ánodos corrientes hornos de refino.**



de determinación de 0,49, y el estimador del parámetro fue significativo al 5 por ciento exigido. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de ánodos hojas madre utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 9: Comportamiento histórico producción ánodos hojas madre hornos de refino.**



En cuanto a la naturaleza de la variable productiva seleccionada como explicativa de la salida física en cuestión, ésta se relacionó con la cantidad de físicos ingresados, siendo las leyes de minerales y funcionamientos operativos, no validos estadísticamente a los niveles de significancia exigidos.

Por lo tanto, de acuerdo a lo explicitado en los párrafos anteriores se determinó que en la producción de ánodos hojas madre, la variable productiva que tenía un mayor impacto era la carga total ingresada a los hornos; la relación mencionada contó con el respaldo estadístico y productivo relevante para considerar la validez de la relación expuesta.

#### **a.6) Proceso Limpieza de Gases**

También denominada Planta de Gases o Producción de Ácido, recibía los residuos tóxicos resultantes de los procesos de Fusión y Conversión, cuyo

tratamiento resultaba en Ácido Sulfúrico. Las variables productivas consideradas fueron:

**Tabla N° 14: Variables productivas procesos limpieza de gases.**

<b>Variables Productivas</b>
Características de los Gases.
Control Temperatura de Gases.
Carga de polvos en precipitado electroestático.
Tasa de captura de Azufre.

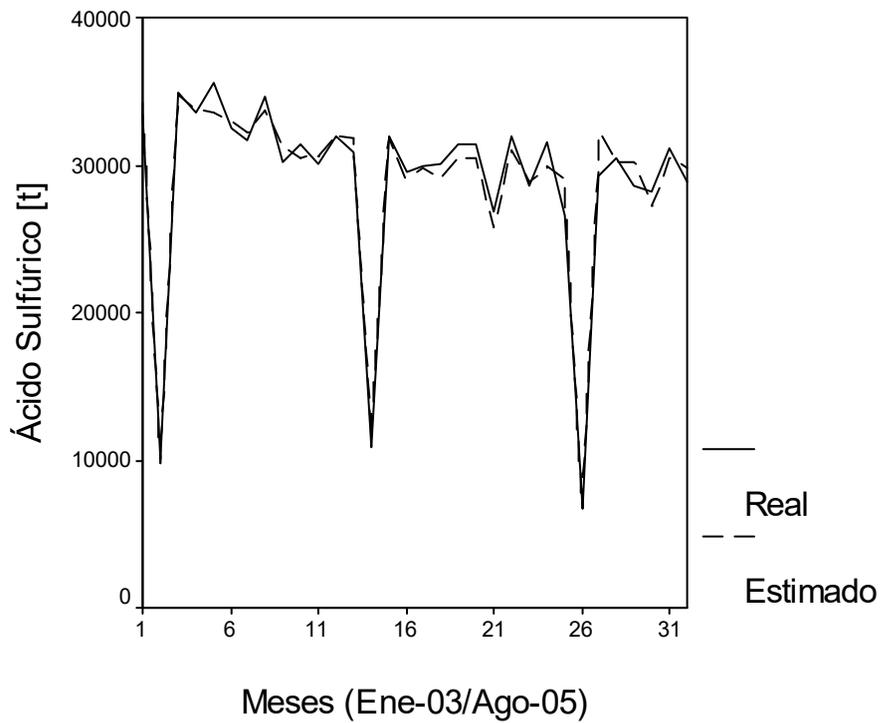
### **a.6.1) Ácido Sulfúrico**

El ácido sulfúrico era producido a partir del procesamiento de los gases tóxicos emanados de los procesos de fusión y conversión, formados principalmente por el azufre contenido en la materia prima.

En la explicación de esta salida física se utilizaron variables productivas relacionadas con otros procesos, debido a que las variables listadas en el párrafo anterior no presentaron niveles significativos, por lo tanto se analizaron las variables asociadas a los procesos que originaban los gases que recibía la planta. Fue así como resultaron claves la CNU ingresada al Proceso Fusión y la ley de Azufre (S) en la misma. El modelo elaborado obtuvo un  $R^2$  ajustado de 0,97, resultando de mayor importancia la CNU, lo que fue indicado por los coeficientes beta.

Desde el punto de vista estadístico, ambos estimadores resultaron significativos a los niveles exigidos (5 %), tanto individual como conjuntamente, validándose la relación lineal entre ácido con CNU y Ley de Azufre. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de ácido sulfúrico utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 10: Comportamiento histórico producción ácido sulfúrico planta de ácido.**



De acuerdo a la naturaleza de las variables productivas seleccionadas, se relacionaron con dos (2) de las tres (3) categorías definidas, resultando la de mayor importancia la cantidad de físicos ingresados a los procesos. En este caso en particular no fue precisamente la entrada al proceso en cuestión, pero sí una variable con estrecha relación con la real entrada física que serían los gases.

Por lo tanto, de acuerdo a lo expuesto en los párrafos anteriores, se determinó que en la producción de ácido sulfúrico, las variables productivas de mayor impacto fueron la CNU ingresada al proceso fusión y la ley de azufre presente en la misma; la relación mencionada contó con el respaldo estadístico y productivo que se consideró como relevante.

### C.2.2 Conclusiones Previas

En la siguiente tabla resumen se presentaron los resultados obtenidos de las regresiones realizadas:

**Tabla N° 15: Resumen asociaciones lineales macro proceso fundición.**

<b>Proceso</b>	<b>Salida Física</b>	<b>Variable Productiva</b>
Fusión	Metal Blanco CT [t]	CNU ingresada a CT [t]
		Ley de Azufre CNU [%]
	Escoria CT [t]	CNU ingresada a CT [t]
Limpieza Escoria	Metal Blanco HE [t]	Escoria CT ingresada [t] Ley Magnetita en Esc [%]
	Escoria Final [t]	Escoria CT ingresada [t]
Conversión	Cobre Blister [t]	Metal Blanco Total [t]
Horno Basculante	Ánodos Corrientes [t]	Blister Neto [t]
	Hojas Madre [t]	Blister Neto [t]
Hornos Refino	Ánodos Corrientes [t]	Carga Total [t]
	Hojas Madre [t]	Carga Total [t]
Limpieza de Gases	Ácido Sulfúrico [t]	CNU ingresada a CT [t]
		Ley de Azufre CNU [%]

De la observación de los resultados de las asociaciones lineales realizadas se desprendió que fueron necesarias siete (7) variables productivas para lograr una explicación de las distintas salidas físicas presentes en los procesos relevantes del macro proceso fundición.

En cuanto a la naturaleza de las variables explicativas, dos (2) de ellas –ley de Azufre y ley de Magnetita - correspondían a leyes de minerales presentes en los físicos y cinco (5) a físicos propiamente tal -CNU, Escoria CT, Metal Blanco total, Blister neto y Carga total Hornos de Refino.

Respecto a las variables explicativas, que representaban a físicos propiamente tales, fue posible apreciar que eran las que mayor importancia tenían en la explicación de la salidas físicas relevante y conformaban la secuencia propia de la red de transformaciones productivas elaborada, por lo tanto, se simplificó de mayor forma la cantidad de variables necesarias para estimar las cantidades de salidas físicas de los procesos.

De acuerdo a lo expuesto en el párrafo anterior, se determinó que solo bastaba conocer la cantidad de CNU ingresada al Proceso Fusión, la ley de Azufre de la misma, además de la ley de Magnetita presente en la Escoria CT y las cargas a los Hornos de Refino para estimar la totalidad de salida físicas de los procesos analizados, con lo cual, se logró reducir a cuatro (4) las variables necesarias para conocer los resultados de los procesos. Por lo tanto las cuatro (4)

variables mencionadas conformaron el conjunto de variables productivas “críticas” cuyo comportamiento impactaba mayormente en los niveles de producción del Macro Proceso Fundición, y que en definitiva determinaban los cambios en el nivel de actividad del Macro Proceso mencionado.

Un aspecto presente en el operar de los procesos y también determinante de la productividad de los mismos se refirió al estado funcional de los equipos disponibles, aspecto que involucró a otro elemento que fue la mantención de los mismos, así como la eficacia en la coordinación de las personas integrantes de la organización.

Respecto al respaldo estadístico en las relaciones elaboradas, que descansaba principalmente en el modelo de regresión lineal, se observó que en la mayoría de los casos se cumplió con los supuestos de trabajo de tal metodología, no obstante se detectaron en algunos modelos ciertos niveles de heteroscedasticidad o correlación entre los residuos. En términos porcentuales el 30 % de los modelos relacionados con el macro proceso fundición presentó algún grado de correlación entre los errores y en el 23 % de las variables explicativas se observaron señales de heteroscedasticidad.

La razón principal por la cual se explicaron dichos problemas radicó en la utilización de datos agrupados, ya que en el análisis se trabajó con valores promedios de las variables. En relación a los efectos sobre los resultados de las regresiones, los estimadores obtenidos presentarían problemas de eficiencia, manteniéndose insesgados, pero debería prestarse atención a su varianza. No obstante, dado los propósitos de predicción perseguidos en la utilización de los resultados, se observó el argumento favorable para tales fines, representado por los altos niveles en los coeficientes de determinación logrados.

Por último, respecto a la normalidad en la distribución de los residuos, se determinó, de acuerdo a las pruebas realizadas, que solo en uno (1) de los 10 modelos elaborados se cumpliría tal condición. Lo anterior afectaría los valores de las pruebas estadísticas de significancia de los parámetros estimados, tanto individual como conjunta, pudiendo ser utilizados, pero de manera más conservadora que la habitual.

## **b) Macro Proceso Refinería**

Las salidas físicas analizadas correspondieron a los resultados de los procesos relevantes del Macro Proceso Refinería, y que constituían una efectiva transformación física, a saber: Láminas Iniciales; Cátodos Comerciales; Teluro y Sulfato de Cobre; Selenio; Granalla de Plata; Barras de Oro; Paladio y Platino. Para cada una de las salidas físicas consideradas se mostró gráficamente el comportamiento real (línea continua) y el comportamiento estimado por los modelos elaborados que incluyeron las variables productivas seleccionadas (línea discontinua).

### **b.1) Proceso Obtención Cátodos Iniciales.**

La principal salida física de este proceso fue el subproducto lámina inicial. Las mencionadas láminas se traspasaban a la planta de cátodos iniciales en donde una máquina las prensaba y cada lámina pasaba a ser una cara del cátodo inicial que se sometía a la electrólisis junto a los ánodos corrientes producidos en refinación a fuego.

Las variables productivas consideradas en la explicación de dicho sub producto fueron:

**Tabla Nº 16: Variables productivas proceso obtención cátodos iniciales**

<b>Variables Productivas</b>
Carga de Ánodos Hojas Madre
Densidad de corriente
Eficiencia circuito hoja madre
Rendimiento máquina preparadora de cátodos

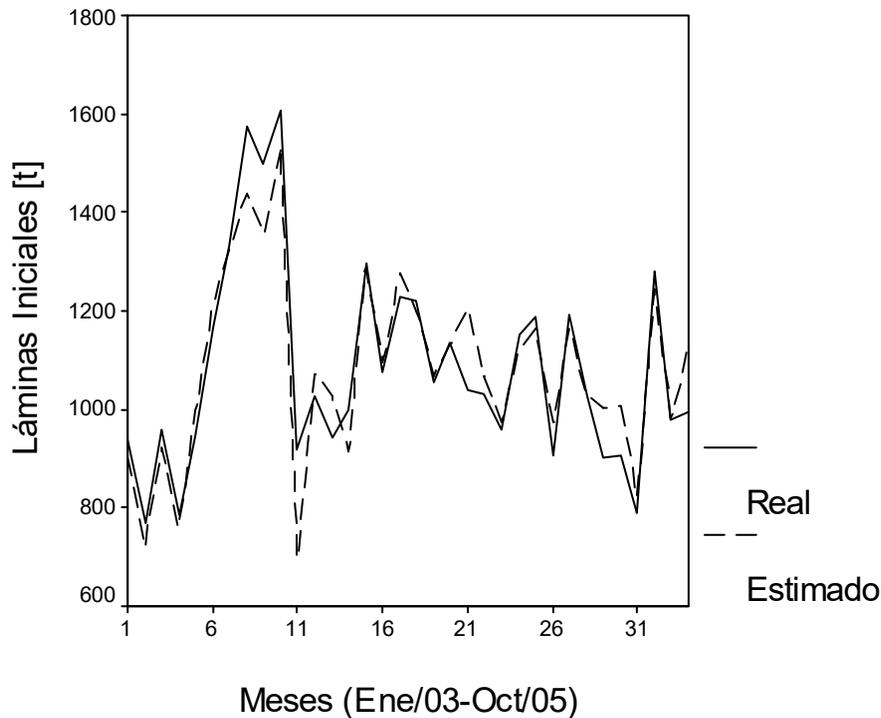
#### **b.1.1) Láminas Iniciales**

Las láminas iniciales correspondían a los principales componentes de los cátodos iniciales, de hecho un cátodo inicial era la unión de dos láminas iniciales. Este subproducto se obtenía por medio de electro refinación entre dos ánodos hojas madre y una lámina de titanio. La variable productiva seleccionada fue la Carga de Ánodos Hojas Madre, bajo la lógica que frente a una mayor cantidad de carga se obtendrían un número mayor de láminas iniciales. Desde el punto de vista estadístico, la bondad del ajuste para la muestra poblacional, medida a través del coeficiente de determinación fue de 0,86. En cuanto a la significancia

estadística del estimador se determinó como válido de acuerdo a las pruebas realizadas.

En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de láminas iniciales utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura Nº 11: Comportamiento histórico producción láminas iniciales.**



En cuanto a la naturaleza de la variable productiva considerada como explicativa, ésta se relacionó con la cantidad de físicos ingresados al proceso, resultando las demás variables productivas como no significativas a los niveles exigidos.

Por lo tanto, de acuerdo a lo expuesto en los párrafos anteriores, se determinó que en la producción de láminas iniciales la variable productiva de mayor impacto fue la carga de ánodos hojas madre ingresadas al proceso de obtención de láminas iniciales; la relación mencionada contó con el respaldo estadístico y productivo considerado como relevante.

### **b.2) Proceso de Obtención de Cátodos Comerciales.**

Representaba al proceso en que se obtenían los cátodos comerciales de la División Ventanas, significando la principal salida de este proceso. Además

existían las salidas representadas por el subproducto Barro Anódico Crudo, que constituía la principal variable de entrada para la unidad de planta de metales nobles, y el electrolito, que también era procesado en forma posterior.

Las variables productivas consideradas en la explicación de la principal salida física del mencionado proceso fueron:

**Tabla N° 17: Variables productivas proceso obtención cátodos iniciales**

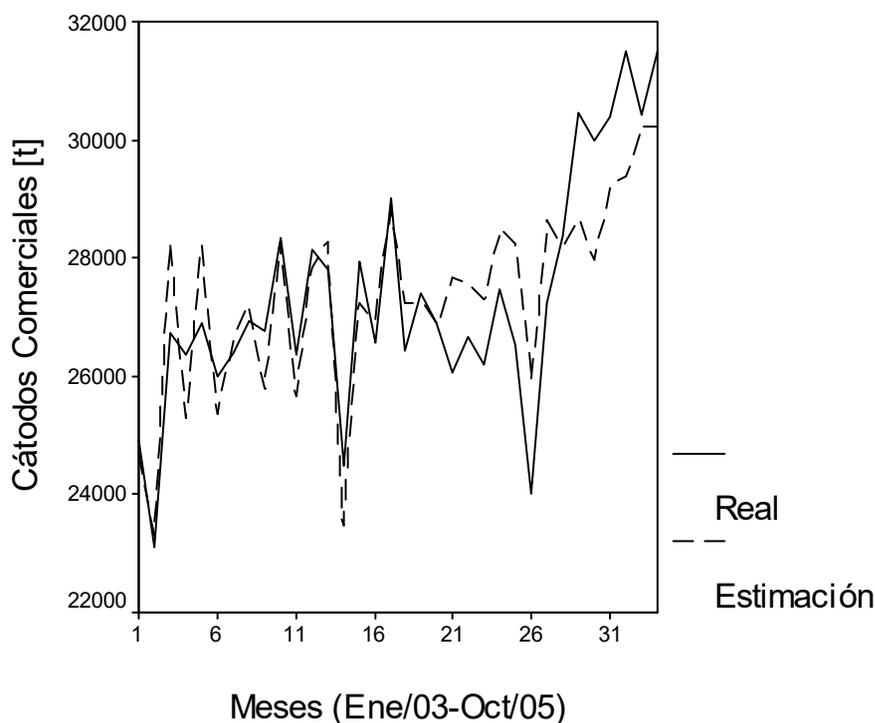
<b>Variables Productivas</b>
Carga Ánodos Corrientes
Densidad de corriente
Nivel de descarte de electrolito
Calidad química ánodo
Calidad física ánodo
Calidad física cátodo inicial

### **b.2.1) Cátodos Comerciales**

El cátodo comercial representaba el eslabón final de la cadena de purificación que comenzaba con el ingreso de concentrado de cobre al macro proceso fundición. Este producto contenía una pureza de 99,99 % de cobre y su peso bordeaba los 120 kilogramos. En su obtención participaban los ánodos corrientes provenientes tanto de fundición como de proveedores externos. El modelo elaborado incluyó la variable Ánodos Corrientes, al igual que lo acontecido con las láminas iniciales, se asumió que frente a una mayor carga de ánodos a las piscinas de electrolito, mayor cantidad de cátodos comerciales se obtendrían.

Desde el punto de vista estadístico, el coeficiente de determinación para la muestra fue de 0,70; por su parte el estimador del parámetro resultó significativo a los niveles exigidos por la metodología elaborada para el particular estudio. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de cátodos comerciales utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 12: Comportamiento histórico producción cátodos comerciales.**



En cuanto a la naturaleza de la variable productiva seleccionada como explicativa, ésta correspondió a la cantidad de físicos ingresados, aspecto que se repitió en la mayor cantidad de los modelos elaborados.

Por lo tanto, de acuerdo al análisis desarrollado y expuesto en los párrafos anteriores, se determinó que en la obtención de cátodos comerciales la variable productiva de mayor impacto fue la carga de ánodos corrientes en las piscinas de electrolito; la relación anterior se sustentó en términos estadísticos y productivos considerados como relevantes.

### **b.3) Planta de Metales Nobles (Plamen)**

La unidad productiva Plamen era considerada como un proceso de tratamiento de residuos, en la que se purificaba la principal entrada física, Barro Anódico Crudo, a través de un conjunto de subprocesos obteniéndose como productos finales los metales nobles plata, oro, paladio y platino, entre otros.

Los subprocesos que fueron mencionados en el párrafo anterior se refieren básicamente a Lixiviación, Deselinización, Refinación Plata y Refinación Oro. En los apartados siguientes se describieron los mismos, así como la explicación de las salidas físicas relevantes vinculadas a ellos.

#### **b.3.1) Proceso Lixiviación**

En esta instancia se sometía a tratamiento el Barro Anódico Crudo (BAC), separando sus partes solubles e insolubles. De lo anterior resultaba el barro

anódico lixiviado y con ello el subproducto denominado Teluro, y por otra parte el subproducto Barro Anódico Sólido (BAS) que posteriormente se deselenizará en el Horno Selenio.

En cuanto a las variables productivas a considerar en este subproceso de Plamen se destacó principalmente el Barro Anódico Crudo en términos de cantidad del mismo.

#### **b.3.1.1) Teluro**

Se analizó la producción de Teluro en cuanto a la determinación de las variables productivas que la explicaran, de lo cual se concluyó que al cuantificar las relaciones propuestas no existían los grados de asociaciones lineales que permitieran establecer las vinculaciones. Prueba de lo anterior lo representó la asociación de Teluro con la variable Barro Anódico Crudo, ya que al utilizar sólo esta variable, el coeficiente de determinación dio como resultado 0,0064.

#### **b.3.2) Proceso Deselenización (Planta de Selenio)**

Posterior a la lixiviación del Barro Anódico Crudo, se procedía a deselenizar el Barro Anódico Sólido, con el propósito de obtener el producto Selenio, que representó la principal salida física de este proceso.

En relación a las variables productivas consideradas, la principal correspondía al Barro Anódico Sólido proveniente del proceso previo correspondiente a lixiviación.

#### **b.3.2.1) Selenio**

La producción de Selenio se sometió al análisis de regresión lineal con la variable Barro Anódico Sólido (BAS), la cual representaba el total de BAS interno y el proveniente desde fuera de la División Ventanas. Al analizar dicha variable, se determinó que no era estadísticamente significativa, de acuerdo a los test utilizados. Respecto a la bondad del ajuste se obtuvo un coeficiente de determinación cuyo valor fue de 0,0595, lo que ratificó la decisión de no incluir dicha variable productiva.

#### **b.3.3) Proceso Refinación Plata**

En este proceso, también denominado Electrólisis de Plata, se obtenían como resultado, básicamente dos subproductos, granalla de plata (99,99% Ag) y

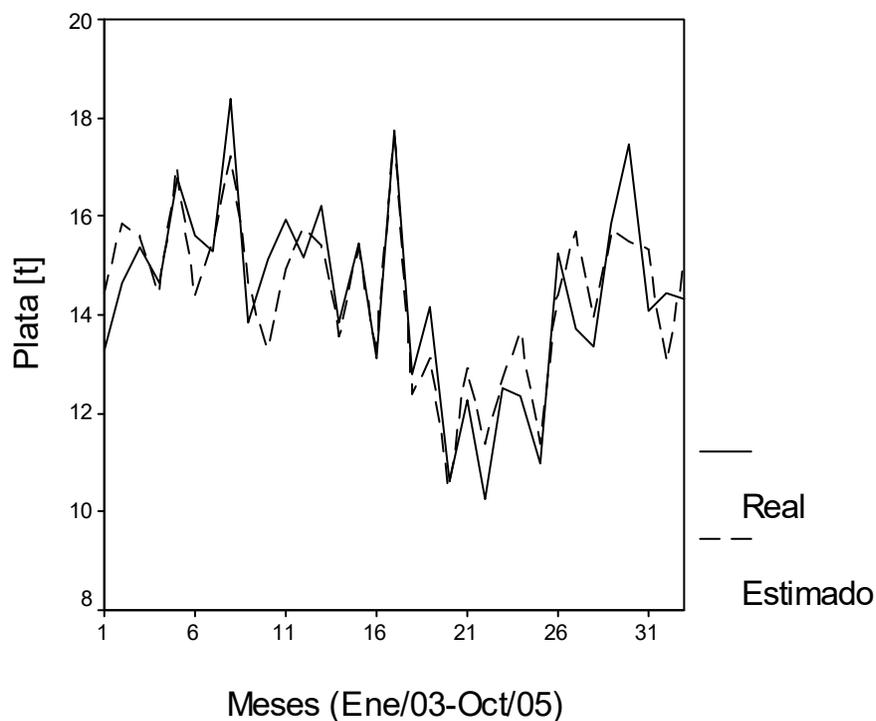
barro aurífero crudo, este último a su vez representaba la variable de entrada a los procesos finales en los que se obtenían oro, paladio y platino. En cuanto a las variables productivas consideradas, la principal de ellas correspondía al Metal Doré en términos de cantidad del mismo.

### b.3.3.1) Granalla de Plata

En lo que referido a la Plata, que se obtenía en forma de granalla, en Plamen se utilizaban métodos electrolíticos para eliminar las impurezas del metal dore, físico principal en el proceso mencionado.

La variable productiva seleccionada fue el Metal Doré, desde el punto de vista que frente a una mayor cantidad de dicho físico se obtendría una mayor cantidad de plata. En lo referido al aspecto estadístico, el coeficiente de determinación calculado fue de 0,75. En cuanto a la significancia estadística del estimador, éste resultó válido a los niveles exigidos. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de plata utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 13: Comportamiento histórico producción granallas de plata.**



En cuanto a la naturaleza de la variable explicativa, se relacionó con la cantidad de físico ingresado al proceso en análisis, determinándose que las variables productivas vinculadas con leyes de minerales y funcionamientos operativos no

presentaron niveles de significancia que satisficieran las exigencias de la metodología elaborada.

Por lo tanto, de acuerdo a lo expresado en los párrafos anteriores, se determinó que la variable productiva que tenía un mayor impacto sobre la producción de plata en la planta de metales nobles fue la cantidad de metal doré ingresada al proceso de refinación mediante electrólisis; la relación mencionada se sustentó tanto productiva como estadísticamente en términos considerados como relevantes.

#### **b.3.4) Refinación Oro**

También denominado como Electrólisis de Oro, en este proceso se obtenían los productos finales de la planta de metales nobles, oro y concentrado de paladio/platino, los que representaban las principales salidas físicas del mismo.

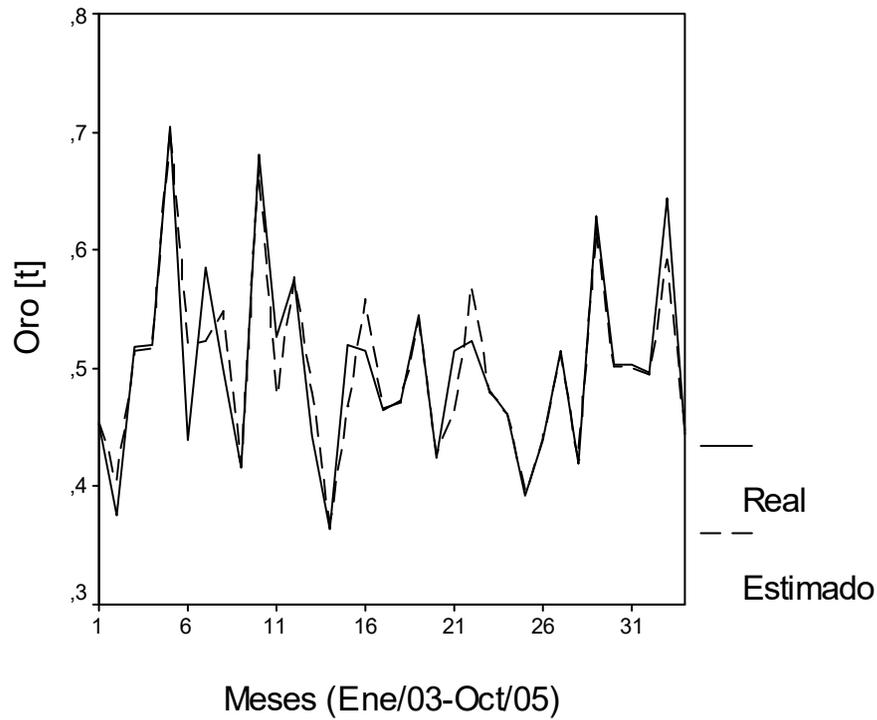
En cuanto a las variables productivas consideradas, la identificada como principal, correspondía a los ánodos de oro, que a su vez provenían de la lixiviación del subproducto barro aurífero resultante de la refinación de plata.

##### **b.3.4.1) Barras de Oro**

En relación al oro, que se comercializaba en forma de barras, y se obtenía a través de la fundición de barro aurífero y electrólisis de ánodos de oro, se desarrolló un modelo en el que la variable explicativa fue Ánodos de Oro, asumiendo que frente a una mayor cantidad de este físico, mayor cantidad de cátodos de oro se producirían y con ello en definitiva un volumen mayor de barras del mismo metal.

Desde el punto de vista estadístico se observó un coeficiente de determinación de 0,86. A su vez el valor t observado para el parámetro estimado determinó su validez estadística y confirmó la relación lineal entre los ánodos de oro y las barras del mismo elemento metálico. En la figura se representó tanto el comportamiento real como el estimado en la producción de oro utilizando los resultados de las regresiones realizadas.

**Figura N° 14: Comportamiento histórico producción barras de oro.**



Respecto a la naturaleza de la variable explicativa, ésta se relacionó con la cantidad de físicos ingresados al proceso productivo, siendo las demás variables productivas, leyes de minerales y funcionamientos operativos, no significativos a los niveles exigidos por la metodología establecida.

Por lo tanto, de acuerdo a lo expresado en los párrafos anteriores, se determinó que en la producción de barras de oro, la variable productiva que mayor impacto tuvo correspondía a la cantidad de ánodos de oro presentes en la electrólisis; la relación mencionada contó con el respaldo estadístico y productivo que se consideró relevante.

### C.2.3 Conclusiones Previas

En la siguiente tabla resumen se presentaron los resultados obtenidos de las regresiones realizadas:

**Tabla N° 18: Resumen asociaciones lineales macro proceso refinería.**

<b>Proceso</b>	<b>Salida Física</b>	<b>Variable Productiva</b>
Obtención Cátodos Iniciales	Láminas Iniciales	Hojas Madre [t]
Obtención Cátodos Comerciales	Cátodo Comercial [t]	Ánodos Corrientes [t]
Refinación Plata	Granalla de Plata [kgs]	Metal Doré [kgs]
Fundición Oro	Barras de Oro [kgs]	Barras de Oro [kgs]

De la observación de los resultados de las asociaciones lineales realizadas se desprendió que fueron necesarias cuatro (4) variables productivas para lograr una explicación de las distintas salidas físicas presentes en los procesos relevantes del macro proceso refinería.

En cuanto a la naturaleza de las variables explicativas, la totalidad de ellas correspondían a físicos propiamente tal –Ánodos Hojas Madre, Ánodos Corrientes, Metal Doré y Barras de Oro.

Respecto a las variables explicativas determinadas, si bien fue cierto que conformaban la secuencia propia de la red de transformaciones productivas elaborada, no fue posible simplificar la cantidad de variables debido a dos razones principales, la primera se relacionó con la precariedad de los registros disponibles en la unidad de Plamen, y la segunda se refirió a que las producciones de los distintos subproductos de la planta de metales nobles responde más bien a decisiones coyunturales, no existiendo un patrón establecido.

De acuerdo a lo expuesto en los párrafos anteriores las variables productivas críticas, cuyo comportamiento impactaba mayormente en los niveles de producción del Macro Proceso Refinería y que en definitiva determinaban los cambios en el nivel de actividad fueron cuatro (4), Ánodos Hojas Madre y Ánodos Corrientes, Metal Doré y Barras de Oro.

Respecto a las variables productivas relacionadas con funcionamientos operativos, en la totalidad de los modelos elaborados se determinó que su impacto en el resultado final de los distintos procesos no era válido estadísticamente, no obstante desde el punto de vista productivo era indispensable que tales variables fueran gestionadas, planificadas y reguladas, eficientemente.

En relación al respaldo estadístico con que contaron las relaciones productivas modeladas, basado principalmente en el sustento proporcionado por el modelo de regresión lineal, se observó que existieron algunos problemas

relacionados con los datos. Fue posible apreciar que existieron ciertos niveles de heteroscedasticidad y correlación entre los errores en los modelos desarrollados. En términos precisos, dos (2) de los cuatro (4) modelos elaborados en el macro proceso refinería presentaron algún grado de correlación entre residuos y en una (1) de las cuatro variables explicativas se observó señales de presencia de heteroscedasticidad.

Lo anterior se explicó fundamentalmente debido a que los datos utilizados eran datos agregados, variando la cantidad de cargas externas, lo cual se relacionaba estrechamente con problemas de eficiencia en los parámetros estimados.

En lo referido a las consecuencias de lo anterior, se debería tener consideración con la varianza de los estimadores, no obstante seguirían cumpliendo con la propiedad de insesgamiento.

Respecto a los propósitos de predicción con los resultados obtenidos, un elemento a favor lo representó el alto nivel presentado por los coeficientes de determinación calculados. Por último fue preciso mencionar que en cuanto al requisito de normalidad en la distribución de los residuos, que no representaba un supuesto propiamente tal, en los cuatro (4) modelos elaborados para el macro proceso refinería no se cumplió tal situación de acuerdo a los niveles de significación exigidos. La consecuencia de lo anterior se relacionaría principalmente con la validez de los resultados de los test de parámetros individuales y de significancia conjunta, ya que el no cumplimiento del requisito en cuestión alteraría sus valores, por lo tanto su utilización debiera hacerse de manera más conservadora que la habitual.

Tal como se ha mencionado, la red de transformaciones productivas de la División Ventanas básicamente representaba una “cadena de purificación” de la materia prima ingresada a los distintos procesos, comenzando con el concentrado de cobre y terminando con los cátodos comerciales. A su vez existían dos grandes procesos que constituían el área de producción de la empresa, Macro Proceso Fundición y Macro Proceso Refinería; en cuanto a la vinculación de los mismos, ésta se concretizaba a través del traspaso de los Ánodos de Cobre producidos en Fundición a las piscinas de electrolito de Refinería en donde se llevaba a cabo la electrólisis y se obtenían los Cátodos Comerciales.

### **C.3 Impacto de las Variables Productivas en los Insumos utilizados**

La formación de una red de transformaciones productivas, entrelazando un conjunto limitado de procesos, a través del intercambio de productos y sub

productos entre ellos, definió un contexto que permitió una visión global del funcionamiento operativo de los Macro Procesos de Fundición y Refinería. Sumado a ello, la determinación de un número acotado de variables productivas que explicaban los resultados obtenidos de los distintos procesos, representó la base para la incorporación de los costos indirectos de fabricación, paso necesario para dar respuesta a lo expuesto en el planteamiento del problema.

El objeto de esta categoría consistió en establecer los efectos que las variables productivas críticas de los dos Macro Procesos de interés tenían en los costos indirectos de fabricación; fue así como se apoyó en la información otorgada por los datos de los Costos de los insumos.

### **C.3.1 Costos de los Insumos**

En la División Ventanas, atendiendo a la naturaleza de sus operaciones, se utilizaba un sistema de costos por procesos, reconociendo ocho (8) de ellos en el Macro Proceso Fundición y 15 de ellos en Macro Proceso de Refinería. Dentro de la totalidad de costos de producción, los ítems de mayor relevancia de acuerdo a los Jefes de Unidades, y considerados generalmente como indicadores críticos en la gestión de los procesos, fueron los costos de los materiales indirectos – refractarios, reactivos y fundentes- y otros costos indirectos relacionados con el componente energético -gas natural, petróleo y energía eléctrica-. Ambos ítems fueron catalogados como Insumos.

La identificación de los Insumos asignables a los procesos, así como la cuantificación del consumo de los mismos, se realizó utilizando un instrumental desarrollado por la Jefatura de Control de Gestión, denominado “Matriz I/P”, que básicamente representaba los rendimientos históricos, en cuanto a materiales y otros elementos consumidos, presentados por los procesos analizados. (Ver Anexo N° 14). En las tablas siguientes se listaron los Insumos correspondientes a los Macro Procesos de Fundición y Refinería.

**Tabla N° 19: Insumos utilizados en Fundición**

<b>Insumos</b>	
Agua Industrial	Mangas
Aire 90	Oxígeno

Coke	Pasta Electrónica
Desmoldante	Petróleo Diesel
Fundentes	Refractarios
Energía Eléctrica	Soda Cáustica
Gas Natural	Troncos Eucaliptos

**Tabla N° 20: Insumos utilizados en Refinería**

Insumos	
Acido Nítrico	Ensayes Químicos
Acido Sulfúrico	Env Cartón Ag 25 kg
Agua Potable	Eq. Rodante Ventanas
Agua Tratada	Protectores de Canto
Aire Comprimido	Soda Cáustica
Cinta Poliéster	Vapor
Energía Eléctrica	

Para efectos de la asignación de los costos mencionados en las tablas anteriores, y en base a lo propuesto por la Matriz I/P, se consideraron categorías que representaban a los físicos o productos o sub productos relacionados con los distintos procesos, y fueron:

- 1) **Concentrado de Cobre fundido:** Incorporaba a los Procesos de Secado y Fusión, representándose a través de los físicos Metal Blanco de Convertidor Teniente (MBCT) y Escoria de Convertidor Teniente (Esc. CT).
- 2) **Escoria Tratada:** Se refirió al Proceso de Limpieza de Escoria, y se cuantificó por medio de los físicos Metal Blanco de Horno Eléctrico (MBHE) y Escoria Final o de Descarte (Esc Final).
- 3) **Cobre Blister:** Incorporó al Proceso de Conversión en el Convertidor Peirce Smith (CPS), y la salida física a través de la cual se representó fue el Cobre Blister CPS (Cu Blister CPS).
- 4) **Cobre RAF:** Se refirió a los Procesos de Horno Basculante, Hornos de Refino y Moldeo, representándose mediante los Físicos Ánodos Corrientes y Ánodos Hojas Madre.
- 5) **Ácido Sulfúrico:** Se refirió al Proceso Limpieza de Gases o Producción de Ácido y se cuantificó a través del físico del mismo nombre.
- 6) **Láminas Iniciales:** Representaba al Proceso Obtención de Cátodos Iniciales y se cuantificó por medio del subproducto Láminas Iniciales.

- 7) **Cátodos Comerciales:** Se refirió a los Procesos Obtención de Cátodos Comerciales y Lixiviación, representándose a través del físico del mismo nombre.
- 8) **Barro Anódico Descubrizado:** Incorporaba a los Procesos Deselinización, Refinación Plata, Fundición Oro y Refinación Oro, cuantificándose a través del subproducto Barro Anódico Descubrizado.

De tal forma se procedió a determinar el impacto de las distintas variables productivas críticas sobre los costos indirectos de fabricación representados por la utilización de los Insumos, para cada macro proceso.

### C.3.2.1 Macro Proceso Fundición

Este macro proceso consideró las transformaciones involucradas desde el ingreso de concentrado de cobre hasta la obtención de ánodos corrientes y hojas madre, es decir, los procesos Fusión, Limpieza de Escoria, Conversión, Limpieza de Gases, Horno Basculante, Hornos de Refino y Moldeo.

El aspecto de interés estuvo representado por la variación experimentada por los Insumos utilizados al producirse un cambio porcentual unitario en las variables productivas críticas. Se analizó cada variable por separado, permaneciendo constantes las demás, manteniéndolas en sus valores promedios obtenidos durante el período de estudio.

#### a) Carga Nueva Útil

Al variar en 1 % el ingreso de Carga Nueva Útil [t] al comienzo del procesamiento, la variación de los Insumos tuvo el comportamiento presentado en la tabla:

**Tabla Nº 20: Impacto unitario CNU sobre cantidad Insumos utilizados**

Insumo	Cambio %	Insumo	Cambio %
Refractarios	1,03%	Energía Eléctrica	0,92%
Soda Cáustica	1,02%	Pasta Electrónica	0,86%
Petróleo diesel	1,01%	Coke	0,86%

Mangas	1,01%
Oxígeno	1,01%
Fundentes	1,01%
Agua Industrial	0,97%

Aire 90	0,71%
Gas Natural	0,58%
Desmoldante	0,50%
Tronco Eucaliptos	0,50%

La totalidad de los Insumos relacionados con el macro proceso fundición (14 insumos) se vieron afectados ante una variación de la CNU ingresada. El impacto unitario de esta variable productiva sobre el costo total de insumos del macro proceso fue de 0,89 %. Los insumos que presentaron una mayor variación fueron los ladrillos refractarios, soda cáustica, petróleo, mangas, oxígeno y fundentes, variando más que proporcionalmente frente al cambio porcentual unitario de la CNU.

Los insumos de mayor sensibilidad se asociaron a los procesos de fusión, conversión y producción de ácido principalmente.

La asociación entre procesos e insumos se explicó considerando la naturaleza de los primeros. En el presente caso tanto en el proceso fusión como en el de conversión se llevaban a cabo procedimientos térmicos que requerían energía y revestimiento de refractarios en su interior. En cuanto a la planta de ácido, se requería de mayor cantidad de soda cáustica debido a mayor cantidad de gases a procesar.

#### **b) Ley de Azufre en CNU [%]**

Al producirse un cambio del 1 % en la Ley de Azufre en CNU, se determinaron los cambios porcentuales presentados en la tabla:

**Tabla N° 21: Impacto unitario ley de Azufre en CNU sobre Insumos utilizados.**

Insumo	Cambio %
Soda Cáustica	1,30%
Agua Industrial	1,13%
Refractarios	0,81%
Gas Natural	0,49%

Insumo	Cambio %
Petróleo diesel	0,46%
Mangas	0,46%
Fundentes	0,46%
Oxígeno	0,46%

Tronco Eucaliptos	0,47%
Desmoldante	0,47%

Energía Eléctrica	0,44%
Aire 90	0,40%

De los datos expuestos en la tabla se desprende que 12 de los insumos relacionados con el macro proceso fundición se vieron alterados ante cambios en la Ley de Azufre de la CNU.

En cuanto a la variación del costo total del macro proceso frente a la variación mencionada, correspondió a un 0,54 %. Los insumos que presentaron un mayor incremento fueron la soda cáustica, el agua industrial y los ladrillos refractarios, presentando los dos (2) primeros un cambio más que proporcional frente al cambio porcentual unitario en la ley de azufre.

De acuerdo a lo anterior se determinó que el 86 % de los insumos se vio afectado por la variación de la variable productiva en análisis, de los cuales el 16 por ciento presentó un cambio más que proporcional, lo que demostró una menor sensibilidad de los insumos frente a cambios en la ley de azufre, en comparación a la CNU.

En cuanto a la Soda Cáustica y el Agua Industrial, que fueron los Insumos que presentaron un mayor incremento, ambos se identificaron con el proceso Producción de Ácido; en relación al Agua Industrial, se explicó debido a que ante un aumento de impurezas de los gases se necesitaba más de este Insumo para la limpieza, por la misma razón se hacía necesario mayor cantidad de soda cáustica para neutralizar los “riles”, que eran desechos del ácido.

### c) Ley de Magnetita en la Escoria [%]

Al variar en un 1 % la Ley de Magnetita en la Escoria de Convertidor Teniente, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N° 22: Impacto unitario ley de Azufre en CNU sobre Insumos utilizados.**

Insumo	Cambio %
Coke	0,24%
Pasta Electrónica	0,24%
Energía Eléctrica	0,15%
Refractarios	0,15%
Aire 90	0,13%

Desmoldante	0,10%
Tronco Eucaliptos	0,10%
Gas Natural	0,10%
Agua Industrial	0,03%

Del total de insumos relacionados con el macro proceso fundición, nueve (9) de ellos presentaron una variación frente a cambios en la ley de magnetita en la escoria de convertidor teniente. En cuanto al cambio experimentado por el costo total relevante ante variaciones de la variable productiva en análisis, fue de 0,07 por ciento. Entre los insumos que variaron mayormente figuraron el Coke, la Pasta Electrónica y la Energía Eléctrica, observándose que la totalidad de insumos afectados varió menos que proporcionalmente.

De acuerdo a lo anterior el 64 % de los insumos relevantes experimentó un cambio frente a variaciones de la ley de magnetita, en un porcentaje menor al uno (1) por ciento lo que demostró la menor sensibilidad que presentaron los insumos frente a esta variable, en comparación a la cenu y la ley de azufre. Los tres (3) principales incrementos, representados por el Coke, Pasta Electrónica y Energía Eléctrica, se vincularon directamente con el proceso Limpieza de Escoria y se explicaron debido a que frente a mayor cantidad de magnetita, se debía reducir en mayor cantidad y el procedimiento precisaba de mayor energía eléctrica.

#### **d) Carga Total**

Al variar en un 1 % la carga total a los hornos de refino, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N° 23: Insumos utilizados por tonelada de Restos de Ánodos procesada.**

<b>Insumo</b>	<b>Cambio %</b>
Desmoldante	0,30%
Tronco Eucaliptos	0,30%
Gas Natural	0,25%
Aire 90	0,15%
Agua Industrial	0,02%

Del total de insumos relevantes del macro proceso fundición, cinco (5) de ellos presentó algún grado de variación frente a un cambio en el total de carga ingresada a los hornos de refino. En cuanto a la variación del costo indirecto de fabricación total del macro proceso, correspondió a un 0,05 %. Entre los costos que presentaron una mayor variación se identificaron al consumo de desmoldante, de troncos de eucaliptos y gas natural, todos variando menos que proporcionalmente.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, el 36 % de los insumos del macro proceso presentó un cambio ante la variación experimentada por la variable productiva analizada, resultando todas ellas menos que proporcional demostrando una baja sensibilidad de los insumos en comparación a la cnu y la ley de azufre.

Entre los insumos de mayor variación se encontraron el consumo de desmoldante y los troncos de eucaliptos, ambos incrementos obedecieron a una mayor cantidad de físicos que procesar, por lo tanto se requeriría más desmoldante por que existirían más moldeos y más troncos porque era preciso captar más oxígeno por mayor carga.

### **C.3.2.2 Conclusiones Previas**

Considerando las cuatro (4) variables productivas críticas obtenidas en el macro proceso fundición a través de las asociaciones lineales realizadas, se determinó que todas ellas tuvieron algún grado de implicancia en los costos por concepto de utilización de insumos.

De las variables mencionadas en el párrafo anterior, la cnu y la ley de azufre fueron las que impactaban mayormente sobre los insumos consumidos en los diferentes procesos, siendo la cnu la que implicó un mayor impacto, ya que afectó a la totalidad de los mismos, seguida por la ley de azufre con una implicancia en el 86 % de ellos. En cuanto a la ley de magnetita y la carga a los hornos, tuvieron un impacto en el 64 % y 36 % de los insumos relacionados con el proceso de fundición respectivamente.

En términos totales, el impacto unitario de las variables productivas críticas sobre el costo total del macro proceso fundición por concepto de materiales, energía y combustible (costos indirectos de fabricación) fue de 0,89 % para la cnu, de 0,54 para la ley de azufre, de 0,07 % para la ley en la magnetita y de 0,05 % para la carga total a los hornos de refino, y que al agruparlas de acuerdo a su naturaleza se determinó que las relacionadas con cantidades de físicos

ingresados a los procesos tenían un mayor impacto en comparación con las leyes de minerales presentes en la materia prima.

Respecto a los costos de los insumos y los procesos considerados, se determinó que en fusión los insumos que mayor impacto tenían en los costos correspondían al consumo de fundentes y oxígeno, representando ambos el 91,14 por ciento del costo indirecto atribuible al proceso. En el proceso tratamiento de escoria, el consumo de energía eléctrica y coque industrial, significaron el 94,21 % del costo de materiales, energía y combustibles.

En el proceso conversión los consumos de mayor importancia fueron los ladrillos refractarios y el gas natural, la suma de ambos representó el 89,97 % del costo de insumos utilizados. En los procesos de refinación y moldeo, el consumo de gas natural representó el 89,40 % del costo total por concepto de insumos. En Tratamiento de Gases (o Planta de Ácido) el consumo de energía eléctrica y soda cáustica, significaron el 82,10 % del costo indirecto atribuible al proceso por concepto de utilización de insumos

En términos globales, considerando la totalidad del macro proceso fundición se determinó que los insumos de mayor impacto sobre los costos de materiales, energía y combustible, fueron la energía eléctrica (23,47 %), fundentes (20,66 %), gas natural (18,90 %), oxígeno (13,95 %) y soda cáustica (7,23 %), representando en conjunto el 84, 22 % del costo total relevante.

### **C.3.2.3 Macro Proceso Refinería**

Este macro proceso consideró las transformaciones involucradas desde la producción de láminas iniciales hasta la obtención de cátodos comerciales, además de la producción de metales nobles en la unidad Plamen, considerando los procesos Obtención Cátodos Iniciales, Obtención Cátodos Comerciales, Lixiviación, Deselinización, Refinación Plata, Fundición Oro y Refinación Oro.

El aspecto de interés estuvo representado por la variación experimentada por los Insumos utilizados al producirse un cambio porcentual unitario en las variables productivas críticas. No obstante, en el caso particular de este Macro Proceso, las variaciones experimentadas en la utilización de insumos no se explicaron de acuerdo a la producción de las salidas físicas particulares de los mismos, en los casos de los procesos de Deselinización, Refinación Plata, Fundición Oro y Refinación Oro, se utilizó una aproximación representada por el subproducto Barro Anódico Descubrizado, el que fue considerado como una variable exógena del modelo debido a la imposibilidad de explicar su comportamiento con los instrumentos utilizados en el presente estudio para tales

finés. Por lo tanto, en el análisis de los costos indirectos de fabricación, se utilizaron las variables Ánodos Hojas Madre, Ánodos Corrientes y Barro Anódico Descubrizado.

Se analizó cada variable por separado, permaneciendo constantes las demás, manteniéndolas en sus valores promedios obtenidos durante el período de estudio.

### a) Ánodos Hojas Madre

Al variar en 1 % el ingreso de Ánodos Hojas Madre al comienzo del procesamiento, la variación de los Insumos tuvo el comportamiento presentado en la tabla:

**Tabla Nº 24: Impacto unitario Ánodos Hojas Madre sobre cantidad Insumos utilizados**

Insumo	Cambio %
Aire Comprimido	0,0600%
Cinta Poliéster	0,0600%
Protectores de Canto	0,0590%
Acido Sulfúrico	0,0300%
Eq. Rodante Ventanas	0,0086%
Energía Eléctrica	0,0039%
Vapor	0,0020%
Agua Potable	0,0010%
Soda Cáustica	0,0002%
Ensayes Químicos	0,0001%

Del total de los insumos relacionados con macro proceso refinería, nueve (9) de ellos presentaron una variación frente a un cambio en la carga de ánodos hojas madre. En cuanto al costo total del macro proceso, el cambio en la variable productiva analizada implicó una variación del 0,0035 %. Entre los insumos que presentaron un mayor incremento se encontraron el aire comprimido, cinta poliéster, protectores de canto y ácido sulfúrico, todos ellos experimentaron una variación menos que proporcional frente al cambio en la variable productiva, lo cual fue explicado, en parte, a que el grueso de producción en las piscinas electrolíticas se basaba en la maquila de Ánodos provenientes de otras Divisiones.

De acuerdo a lo anterior el 69 % de los insumos presentó algún grado de afectación, de los cuales los más importantes se relacionaron con los procesos de obtención de cátodos iniciales y lixiviación, este último reflejaba el traspaso de

electrones de los ánodos a cátodos en una piscina de ácido sulfúrico con sulfato férrico (electrolito), al aplicar corriente eléctrica.

Respecto a la variación de los insumos aire comprimido, cinta poliéster y protectores de canto, se explicó debido a que al aumentar la carga de hojas madre, era mayor la producción de láminas iniciales, lo que implicaba que la máquina preparadora de cátodos utilizara más inyección de aire; en cuanto a la cinta y protector de canto se debió a la mayor producción de cátodos iniciales, los cuales debían estar debidamente protegidos para mantener su calidad física mientras se encontraban en productos intermedios a la espera de reingresar a las piscinas.

En lo referido al cambio en el consumo de ácido sulfúrico, éste se debió por la necesidad de una mayor renovación a medida que ingresaran más ánodos hojas madre a refinería.

### **b) Ánodos Corrientes**

Al variar en 1 % el ingreso de Ánodos Corrientes al comienzo del procesamiento, la variación de los Insumos tuvo el comportamiento presentado en la tabla:

Tabla N° 25: Impacto unitario Ánodos Corrientes sobre cantidad Insumos utilizados

<b>Insumo</b>	<b>Cambio %</b>
Aire Comprimido	0,7200%
Cinta Poliester	0,7200%
Protectores de Canto	0,7200%
Ácido Sulfúrico	0,3820%
Eq. Rodante Ventanas	0,1000%
Energía Eléctrica	0,0471%
Vapor	0,0200%
Agua Potable	0,0173%
Soda Cáustica	0,0019%
Ensayes Químicos	0,0017%

Del total de insumos relevantes del macro proceso en análisis, 10 de ellos se vieron afectados frente a la variación experimentada por la variable productiva. En cuanto a la variación del costo total producido por el cambio en el ingreso de ánodos corrientes, éste alcanzó un nivel de 0,043 %. Entre los insumos que presentaron una mayor variación se encontraron el aire comprimido, cinta poliéster, protectores de canto y ácido sulfúrico, patrón similar al observado en el análisis de la variable productiva anterior.

Interpretando los datos observados se determinó que el 77 % de los insumos relacionados con el macro proceso refinería se vio afectado, variando en forma menos que proporcional respecto del cambio porcentual unitario de los

ánodos corrientes, lo que en términos comparativos indicó que los insumos fueron más sensibles que frente a cambios en los ánodos hojas madre.

Los insumos que presentaron un mayor incremento se identificaron principalmente con el proceso obtención de cátodos comerciales. En cuanto a la relación entre la naturaleza del proceso y el propósito de los insumos, se determinó que el protector de canto y cinta poliéster variaban debido a que el aumento de la carga de ánodos corrientes, implicaba una mayor producción de cátodos comerciales y por lo tanto, una mayor utilización de protectores para mantener su calidad física a la espera en productos finales.

El aumento de aire comprimido se explicó por la mayor utilización de éste en la maquinaria para la preparación de electrolito, uso adicional de este insumo al de la máquina preparadora de ánodos.

En cuanto al ácido sulfúrico, manteniendo su comportamiento respecto del proceso anterior se explicó por la necesidad de una mayor renovación de este insumo a medida que ingresaban más ánodos corrientes a las piscinas electrolíticas.

### **c) Barro Anódico Descubrizado**

Al variar en 1 % el ingreso de Barro Anódico Descubrizado al comienzo del procesamiento, la variación de los Insumos tuvo el comportamiento presentado en la tabla:

**Tabla N° 26: Impacto unitario Barro Anódico Descubrizado sobre cantidad**

#### **Insumos utilizados**

<b>Insumo</b>	<b>Cambio %</b>
Acido Nitrico	1%
Agua Tratada	1%
Env Cartón Ag 25 kg	1%
Ensayes Químicos	0,99%
Soda Caustica	0,99%
Agua Potable	0,98%
Vapor	0,96%
Energía Eléctrica	0,93%
Eq. Rodante Ventanas	0,85%
Acido Sulfúrico	0,47%

Del total de insumos relacionados con el macro proceso refinera, 10 de ellos se vieron afectados frente a una variación porcentual unitaria del barro anódico descubrizado. Respecto a la magnitud del cambio del costo total relacionado con los materiales, combustibles y energía, ésta fue de 0,94 %. Entre los mayores cambios se encontraron los que afectaron al ácido nítrico, agua tratada y envases de cartón.

De lo anterior se determinó que el 77 % de los insumos se vio afectado en alguna forma por el cambio experimentado por el barro anódico descubrizado, de los cuales el 23 % presentó una variación proporcional frente a dicho evento. En cuanto al comportamiento de los insumos en general, éstos fueron igual de sensibles que frente a cambios en la carga de ánodos corrientes. Los insumos más afectados se relacionaron con los procesos que conformaban la planta de metales nobles, explicándose por la importancia que tenía el barro anódico descubrizado en dicha unidad, semejante a la relevancia de la Carga Nueva Útil en el macro proceso Fundición.

Respecto a la explicación de las mayores variaciones, el agua tratada variaba proporcionalmente, debido a que se utilizaba para la recuperación de metales a través del lavado en la refinación de plata y oro, por lo tanto existiría mayor cantidad de metales si aumentaba el barro anódico descubrizado. Lo mismo para el agua potable, aunque en menor medida. El agua también se utilizaba, junto a la soda cáustica, para generar calor. De la misma forma, era necesario mayor cantidad de envases ante una mayor producción de plata.

El cambio experimentado por la soda cáustica se explicó por su utilización para generar calor al disolverse en agua, es decir, se usaba como combustible para la extracción electrolítica. Los ensayos químicos también tuvieron una variación alta (en términos relativos) pues constantemente se extraían muestras de barro anódico descubrizado para calcular las leyes de los metales.

La energía eléctrica y el vapor fueron insumos que variaron en forma cercana a proporcional ante el aumento porcentual unitario del barro anódico descubrizado, debido a que a través de los procesos de Plamen eran necesarios para el funcionamiento de los hornos, máquinas y ,en el caso de la electricidad, para la electrólisis.

Por último se observó que respecto del ácido nítrico, parte del electrolito utilizado en Plamen, como lo es el ácido sulfúrico en refinera, presentaba una razón I/P de 35,74 (ver anexo N° 14 ) bastante mayor a la razón de 1,8 del ácido sulfúrico en el proceso de lixiviación, es por esto que su sensibilidad fue mayor comparativamente.

### C.3.2.4 Conclusiones Previas

En el análisis del impacto que tenían las variaciones de las variables críticas del macro proceso de Refinería (Hojas Madre, Ánodos Corrientes y Barro Anódico Descubrizado), se observó que todas ellas afectaron en cierto grado a los costos de los insumos involucrados en sus respectivos procesos. De ellas, la carga de ánodos corrientes y la cantidad de barro anódico descubrizado, afectaron al 77 % de los insumos, superando a la carga de ánodos hojas madre que impacto al 69 % de ellos.

En cuanto al impacto sobre los costos indirectos relevantes totales del macro proceso refinería, el barro anódico descubrizado fue el de mayor importancia con un 0,94 %, seguido por la carga de ánodos corrientes con un 0,043 % y por la carga de ánodos hojas madre con un 0,0035 %, observándose una distancia significativa entre el barro anódico descubrizado y las demás variables.

Respecto a la relación entre procesos productivos e insumos, se determinó que en el proceso de Obtención de Cátodos Iniciales el vapor y equipo rodante Ventanas fueron los costos más importantes, representando un 89,8% del costo indirecto total de este proceso. En Obtención de Cátodos Comerciales la energía eléctrica y los ensayos químicos representaron el 97,1% de los costos de insumos. El mismo porcentaje se atribuyó a energía eléctrica y ácido sulfúrico en el proceso de Lixiviación. Para el proceso de Deselenización nuevamente la energía eléctrica fue uno de los insumos más importante en cuanto a costos, representando el 50% que junto al vapor y soda cáustica conformaban el 87,7% de los costos indirectos. En el proceso Refinación Plata, el consumo de ácido nítrico y energía eléctrica, significó el 87,4 % del costo de materiales, energía y combustibles. En el proceso de Refinación Oro, el consumo de energía eléctrica representó el 70,5 % del costo total por concepto de insumos. Finalmente en Fundición Plamen el insumo envase de cartón representó el 95,3% de los costos indirectos de fabricación relevantes.

# **CAPÍTULO IV**

## **RESULTADOS.**

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### A. RESUMEN

El tema central del estudio consistió en relacionar a las variables productivas presentes en las actividades realizadas en las principales áreas de producción de la División Ventanas, con los costos indirectos de fabricación de los Macro Procesos de Fundición y Refinería. Lo anterior con el propósito de informar a la Dirección sobre la importancia relativa de las distintas variables testeadas y con ello gestionarlas eficaz y eficientemente.

Los objetivos de la investigación se orientaron a dar respuesta sobre el impacto de las diversas variables productivas en los costos de los insumos utilizados, además de permitir visualizar en forma global las interacciones existentes entre los procesos productivos, fue así que se propusieron cuatro (4) objetivos, a saber, Definir la estructura a través de la cual se llevaban a cabo los procesos del área productiva de la división; Cuantificar la relación entre las variables productivas y las salidas físicas de cada proceso; Determinar las variables productivas críticas que explican los resultados productivos de los macro procesos; Determinar el impacto de las variables productivas críticas sobre los costos indirectos de fabricación de los macro procesos.

En el presente estudio se plantearon un conjunto de hipótesis a priori a modo de guías de trabajo, relacionadas con los objetivos mencionados en el párrafo anterior, y fueron: La naturaleza de las relaciones entre procesos productivos está determinada por una secuencia de purificación del insumo primario, concentrado de cobre, hasta la obtención del producto final, cátodo comercial; Las salidas físicas de los procesos dependen, en parte, de las leyes de minerales presentes en la materia prima que reciben; Las variables productivas de mayor impacto sobre los costos indirectos de fabricación, corresponden a las cantidades de materia prima ingresada a los procesos.

Para efectos de llevar a cabo la investigación se utilizó como plan especial del proyecto, un diseño metodológico de tipo descriptivo. El universo considerado correspondió a la División Ventanas de la Empresa estatal Codelco Chile, y específicamente se concentró en los Macro Procesos de Fundición y Refinería de ésta. Se utilizó tanto información primaria como secundaria, la primera a través del método de la entrevista, registrada en planillas para entrevistas, y realizada a expertos del área productiva de la División; en cuanto a la información secundaria,

fue obtenida a través del método de registros de datos oficiales proporcionada por los responsables de los departamentos de Control de Gestión y Contabilidad Metalúrgica. En cuanto al procedimiento utilizado, en el estudio se trabajó principalmente con el método correlacional entre variables productivas y el nivel de producción de los procesos analizados.

Una vez recogidos y procesados los datos, se procedió a ordenar la información elaborada y se presentaron los hallazgos de la investigación en el Capítulo III del modo general que a continuación se indica.

En primer lugar, se caracterizó el objeto investigado en su conjunto como una empresa maquiladora de concentrado de cobre, de propiedad estatal y que a la fecha del estudio se encontraba en medio de un cambio estratégico, ocasionado por su traspaso desde una empresa relacionada con el fomento de la pequeña minería (Enami) hacia una de las empresas cuprífera más grandes del mundo (Codelco). Donde su principal actividad económica –servicios de maquila- se concentraba en dos Macro Procesos, a saber, Macro Proceso de Fundición y Macro Proceso de Refinería, en los cuales ocurría el proceso de transformación en que el insumo (concentrado de cobre) se convertía en un producto terminado (cátodo de cobre comercial).

En segundo lugar, se procedió a presentar los principales hallazgos del proyecto. Ellos, se organizaron en las siguientes categorías relevantes que se estimó eran las más adecuadas para responder a las interrogantes centrales del problema de investigación planteado.

Red de Transformaciones Productivas en los Macro Procesos de Fundición y Refinería, en esta categoría se mostraron las interconexiones existentes entre los procesos identificados como relevantes y cómo dichas vinculaciones definían la red de transformaciones productivas de la División. El propósito fue de contar con una perspectiva global del funcionamiento y dinámica de los Macro Procesos estudiados.

Explicación de las Salidas Físicas, en esta categoría se expusieron las asociaciones de carácter lineal entre las variables productivas y el nivel de producción de los distintos procesos productivos. Utilizando el Modelo de Regresión Lineal (simple y múltiple) se reconocieron un conjunto limitado de variables independientes que explicarían el comportamiento de los resultados tangibles de los procesos analizados.

Impacto de las Salidas Físicas en los Costos Indirectos de Fabricación, en esta tercera y última categoría utilizada se incorporó el aspecto económico del análisis, introduciendo los costos indirectos de fabricación relevantes para el

estudio. Se analizó como los cambios en el comportamiento de las variables productivas impactaban en los costos indirectos involucrados.

Finaliza la investigación con las Conclusiones y Recomendaciones que a continuación se presentan.

## **B. CONCLUSIONES**

En el listado presentado se enumeraron las conclusiones obtenidas de la investigación realizada, considerando como base los objetivos e hipótesis planteados en el comienzo del estudio.

### **B.1 Objetivos del Estudio**

#### **B.1.1 Definir la estructura a través de la cual se llevan a cabo los procesos del área productiva de la división.**

1. La definición de la estructura que soportaba al subsistema primario de producción estuvo configurada por las interconexiones de procesos productivos a través del origen y destino de productos o subproductos mineros.
2. La naturaleza de la transformación principal del área productiva de la división correspondía a una secuencia de purificación del producto minero tratado, cuya principal medida la constituía la ley de cobre presente. La secuencia o cadena completa estaba conformada por la transformación experimentada por el Concentrado de Cobre que en definitiva se convertía en Cátodos de Cobre de Alta Pureza.
3. Las actividades, tanto de transformación productiva como de almacenamiento y distribución, realizadas en el Macro Proceso Fundición fueron asignables a un conjunto limitado de 10 procesos productivos, de los cuales uno (1) de ellos no representaba transformaciones físicas. En cuanto al Macro Proceso Refinería, existían 11 procesos productivos, de los cuales dos (2) de ellos no representaban transformaciones físicas de los subproductos.
4. Las principales salidas físicas, consideradas como aquellas que sí constituían una transformación física, fueron atribuidas a un conjunto aún

más limitado de procesos, a saber, Fusión, Limpieza de Escoria, Conversión, Horno Basculante, Hornos Refino y Producción Ácido, en el macro proceso fundición, y Obtención Cátodos Iniciales, Obtención Cátodos Comerciales, Lixiviación, Deselinización, Refinación Plata, Fundición Oro y Refinación Oro en el macro proceso refinería.

5. Atendiendo lo expuesto en los párrafos anteriores, se consideró el cumplimiento del objetivo planteado al comienzo de la investigación. En términos tangibles la definición de la estructura se plasmó en el modelamiento realizado del módulo productivo del proceso primario de la División Ventanas, y que fue presentado en el Anexo N° 16 del presente estudio.

#### **B.1.2 Cuantificar la relación entre las variables productivas y las salidas físicas de cada proceso.**

1. A cada proceso identificado fueron atribuibles un conjunto de variables productivas responsables o de influencia en los resultados de los mismos, las cuales fueron clasificadas en tres (3) categorías: cantidades de materias primas ingresadas, leyes de minerales y funcionamientos operativos.
2. En cuanto a la expresión numérica de las relaciones planteadas, en el caso del Macro Proceso Fundición se lograron obtener modelos explicativos con sustento estadístico para las 10 salidas físicas consideradas como relevantes. En la totalidad de ellos las relaciones de mayor significancia estuvieron representadas por las salidas físicas y la cantidad de físicos ingresados al proceso en cuestión. En lo referido al Macro Proceso Refinería, no se lograron elaborar modelos con sustento estadístico para la totalidad de las salidas físicas relevantes, obteniéndose cuatro (4) modelos de un total potencial de ocho (8), en términos porcentuales existió un rendimiento del 50 %. Al igual que en el caso de Fundición, las relaciones de mayor significancia estuvieron representadas por variables productivas cuya naturaleza se relacionaba con cantidad de físicos ingresados a los procesos.
3. Si bien fue cierto, en el comienzo de la investigación se plantearon un listado de relaciones entre variables productivas y salidas físicas, al

llevar a cabo el análisis numérico de cada una de ellas, se determinó que en términos productivos, la mayor parte de las variables productivas tenían un papel “importante” en los distintos procesos, no obstante desde el punto de vista estadístico, la mayoría de las mencionadas variables no contaban con la significancia exigida para considerarlas como explicativas.

4. En cuanto al cumplimiento del segundo objetivo propuesto, se estimó que no fue logrado en un 100 %, ya que no se consiguieron elaborar modelos explicativos para la totalidad de salidas físicas consideradas como relevantes, específicamente en el caso de la unidad productiva de planta de metales nobles, donde la incapacidad para dilucidar el comportamiento del barro anódico descubrizado representó la principal problemática.

### **B.1.3 Determinar las variables productivas críticas que explican los resultados productivos de los macro procesos.**

1. Las variables productivas de mayor impacto sobre la producción de físicos, estuvieron representadas por un número limitado de ellas y se relacionaron principalmente con las cargas de físicos o cantidad de materias primas ingresadas a los distintos procesos productivos identificados y con las leyes de minerales presentes en las mismas, resultando la categoría de “funcionamientos operativos” como la de menor importancia relativa. En el macro proceso fundición el nivel de producción dependió básicamente de la CNU ingresada, de las cargas a los Hornos de Refino y de las leyes que tenían los minerales ingresados, en lo relacionado con el macro proceso refinería la producción dependió básicamente de la carga de ánodos, el metal doré y los ánodos de oro, ya que la inclusión de las demás variables productivas identificadas no presentaron la significancia estadística exigida por la metodología establecida. No obstante, productivamente era preciso planificar y controlar la totalidad de variables relacionadas con la producción.
2. En el macro proceso fundición las variables críticas fueron la carga nueva útil (CNU), ley de azufre en CNU, escoria de convertidor teniente (CY), ley de magnetita en la escoria de CT, metal blanco total, carga total y blister neto. En cuanto al macro proceso refinería las variables productivas críticas estuvieron conformadas por ánodos corrientes, ánodos hojas madre, metal doré y ánodos de oro.

3. Con respecto a las propiedades de las variables productivas consideradas como relevantes, que fueron básicamente la cantidad y calidad de las mismas, se determinó que su dependencia estaba explicada por la materia prima recibida por la División Ventanas. Asociado a lo anterior, la oportunidad de la medición de la calidad de los productos de los procesos fue otro elemento categórico.
4. Al integrar los modelos explicativos de los resultados de los distintos procesos analizados fue posible obtener un modelo general tanto para el macro proceso fundición como para el macro proceso refinería, con lo cual se limitó aún más el número de variables explicativas de los resultados en su conjunto.
5. El óptimo funcionamiento de las operaciones productivas de los Macro Procesos Fundición y Refinería descansaba en la funcionalidad de las maquinarias disponibles, así como en la eficacia en la coordinación de las personas que integraban la organización, de lo anterior se concluyó que tanto la mantención de las instalaciones y la gestión del recurso humano resultaban elementos relevantes en los resultados obtenidos, si bien fue cierto que dichos elementos se asumieron como exógenos para el modelo elaborado, su importancia ameritó la mención realizada.
6. Respecto al cumplimiento del presente objetivo, los autores estimaron que se logró el propósito, ya que en base a una metodología elaborada para los fines específicos, debidamente respaldada por elementos productivos y estadísticos, se establecieron un conjunto de variables productivas que explicaban a un conjunto de resultados considerados como relevantes.

#### **B.1.4 Determinar el impacto de las variables productivas críticas sobre los costos indirectos de fabricación de los macro procesos.**

1. En el macro proceso fundición. Al contrastar el efecto en el costo total de los insumos utilizados, al variar en 1 % el valor de cada una de las variables productivas críticas, se determinó que el impacto unitario de la CNU fue el más importante con un 0,89 %, seguida por la Ley de Azufre con un 0,54 % y por la Ley de Magnetita en la Escoria CT y la Carga total a los Hornos de Refino con un 0,07 % y un 0,05 % respectivamente.

En lo referido al macro proceso refinera la variable productiva clave que implicó un mayor impacto sobre los costos en análisis fue el barro anódico descubrizado con un 0,94 %, seguido por la carga de ánodos corrientes y la carga de ánodos hojas madre con un 0,043 % y 0,0035 % respectivamente.

2. Entre los costos de los insumos analizados, los que resultaron de mayor importancia en el macro proceso fundición de acuerdo a su ponderación sobre los totales fueron la energía eléctrica (23,47 %), los fundentes (20,66%), el gas natural (18,90%), el oxígeno (13,95 %) y la soda cáustica (7,23 %).

En el caso del macro proceso refinera fueron los costos de energía eléctrica (33,73%), ácido nítrico (25,9%), envases (10,01%), vapor (9,39%), soda cáustica (7,07%) y acido sulfúrico (6,29%) (p...)

3. En relación al cumplimiento del objetivo, los autores consideraron que se logró lo pretendido. El instrumental utilizado para determinar el impacto en los costos integró los resultados de las fases previas del análisis y consideró las sugerencias de los responsables del área de control de gestión de Ventanas, alcanzándose con ello la visualización de las relaciones entre las variables productivas y los costos de materiales, combustibles y energía utilizados por el área productiva de la nueva División de Codelco.

## **B.2 Hipótesis del estudio**

### **B.2.1 La naturaleza de las relaciones entre procesos productivos está determinada por una secuencia de purificación del insumo primario, concentrado de cobre, hasta la obtención del producto final, cátodo comercial.**

1. Tal como se indicó en la hipótesis planteada al inicio de la investigación, las relaciones entre los procesos productivos o, en términos propios de la metodología utilizada para tales fines, módulos tecnológicos, se representó a través del intercambio de físicos, productos o subproductos, entre ellos. En términos precisos, dicha secuencia comprendía la conexión secuencial entre ocho (8) procesos relevantes, desde la fusión del concentrado de cobre hasta la obtención de los cátodos comerciales.

Si bien fue cierto existían otros procesos relevantes (transformación efectiva), destinados al procesamiento de residuos (planta de ácido y plamen), la secuencia de purificación mencionada era la que determinaba la naturaleza de las relaciones.

### **B.2.2 Las salidas físicas de los procesos dependen, en parte, de las leyes de minerales presentes en la materia prima que reciben.**

1. Solo en tres (3) de catorce modelos elaborados (21%), las leyes de minerales cumplieron con la significancia estadística exigida. Por lo tanto se cumplió “débilmente” la hipótesis planteada. Como antecedente adicional, utilizando los coeficientes beta de las regresiones hechas, incluso en los casos en que existió evidencia estadística suficiente, dichas variables presentaban un impacto menor sobre las salidas físicas en comparación a las demás variables productivas seleccionadas.

### **B.2.3 Las variables productivas de mayor impacto sobre los costos indirectos de fabricación, corresponden a las cantidades de materia prima ingresada a los procesos.**

1. Se confirmó la hipótesis tanto en el caso del macro proceso fundición como en el de refinería. Efectivamente, de acuerdo al análisis realizado, las variables productivas cuya naturaleza se relacionó con cantidad de físicos ingresados a los procesos tuvieron un impacto mayor en los costos de materiales, combustibles y energía. La CNU y la carga a los hornos de refino por el lado de fundición y el barro anódico descubrizado por el de refinería, representaron las variables productivas críticas desde el punto de vista de su impacto en los costos indirectos de fabricación relevantes.

## **C. RECOMENDACIONES**

1. Debido a la visión global de los elementos y relaciones entre ellos que fue lograda a través de la metodología realizada, significando un instrumental de utilidad para el Departamento de Control de Gestión, se recomienda la extrapolación del análisis realizado hacia las demás áreas de la empresa,

Desarrollo Humano y Comercialización por ejemplo, e integración de los resultados en un modelo global.

2. Fue posible apreciar, a través de la determinación del “alineamiento horizontal”, que la perspectiva del cliente interno no era prioritaria entre los encargados de los distintos procesos, lo cual constituye uno de los principales problemas en la implementación de los convenios de desempeño y tableros de gestión, ya que de acuerdo a los análisis realizados se concluyó que las variables esenciales o de control, las que en definitiva servirían de base para evaluar el operar de los responsables de la producción, estaban estrechamente relacionadas con las variables productivas, sobre las cuales influían mayormente otros procesos, es decir no eran totalmente gestionables por el responsable del proceso en cuestión. De ahí la importancia de la comunicación entre responsables de distintas áreas. Por lo tanto, se hace necesario contar con sistemas de información eficientes y oportunos, además de generar la conciencia de lo importante que es la visión del “cliente interno”.
3. Respecto a la temática técnica estadística, en el desarrollo de las asociaciones realizadas entre las variables productivas y las salidas físicas de los procesos se podrían probar otras formas funcionales, distintas a la lineal, que representen más fielmente el comportamiento histórico analizado, sobre todo de las variables no incorporadas en los modelos.
4. En cuanto a la representación de los costos a través de los materiales indirectos y otros costos indirectos, se podrían considerar un número mayor de elementos de costo y hacer más representativo los resultados de los análisis, además de incorporar elementos de estimación de ingresos y de esta forma desarrollar un modelo general que mida la rentabilidad de los distintos macro procesos, desde la perspectiva de Áreas de Negocio.
5. El análisis realizado involucró a los macro procesos de fundición y refinería, y las actividades productivas relacionadas con ellos, no obstante, no se consideró la participación del área de mantención, también perteneciente al área productiva de la división quién tiene un rol significativo en las operaciones ya que es en parte responsable del óptimo funcionamiento de las maquinarias disponibles. Por lo tanto sería provechoso incorporar dicha área en el modelo básico propuesto.

6. Respecto a la matriz utilizada en el área productiva para proyectar el costo de los insumos (matriz I/P), específicamente en lo concerniente a los procesos pertenecientes a la Planta de Metales Nobles, es preciso proyectar el consumo de materiales, combustibles y energía considerando las salidas físicas propias de los mencionados procesos y no solamente utilizar el barro anódico descubrizado como una aproximación general de ellos.

# **BIBLIOGRAFÍA.**

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANDERSON R. E. et. al. **Análisis Multivariante**, Madrid, Prentice Hall Iberia, quinta edición, 1999.
2. CADEMÁRTORI, David y Aquiles Limone Aravena **La Empresa una Red de Transformaciones: Un nuevo enfoque de la Organización**, Santiago de Chile, editorial Jurídica Cono Sur, 1998.
3. FERRARI IBACACHE, Juan “**El Proceso de Investigación Científica**”, Apuntes de Clases, Valparaíso, ICA, no editado, 2000.
4. GUJARATI, Damodar N. **Econometría**, México, Mc Graw Hill, cuarta edición, 2003.
5. HERNANDEZ S. Roberto et. al. **Metodología de la Investigación**, Colombia, Mc Graw Hill, segunda edición, 1998.
6. POLIMENI A. **Contabilidad de Costos: Conceptos y Aplicaciones para Toma de Decisiones Gerenciales**, Mc Graw Hill.
7. Serie de Documentos “**Excelencia Operacional**”, CODELCO-CHILE, 2005.

# **ANEXOS.**

## Anexo N° 1: Variables Productivas

**Tabla N° 27.1: Variables productivas macro proceso fundición.**

<b>Fecha</b>	<b>Tasa Inyección [t/h]</b>	<b>Circulante Total ingresado a CT [t]</b>	<b>Ley Cu Esc Final %</b>	<b>Ley Cu Esc CT %</b>	<b>Ley Cu MBHE %</b>	<b>Escoria Basculante [t]</b>
Ene-03	54,60	2645	0,85	7,31	67,96	725
Feb-03	53,45	804	0,86	8,40	69,13	188
Mar-03	53,93	2623	0,94	7,87	67,55	556
Abr-03	55,06	3095	0,92	8,08	65,59	697
May-03	54,78	3314	0,87	8,18	66,40	406
Jun-03	56,66	1730	0,88	8,21	65,25	994
Jul-03	56,22	1775	0,92	7,82	67,05	534
Ago-03	56,92	2711	0,92	7,75	67,15	481
Sep-03	58,12	1962	0,94	7,24	68,03	456
Oct-03	51,99	1811	0,88	6,95	68,23	456
Nov-03	56,70	2729	0,90	6,67	67,94	475
Dic-03	57,52	1667	0,90	7,55	68,00	456
Ene-04	57,28	1969	0,87	7,14	68,01	456
Feb-04	67,38	341	0,88	7,89	63,79	66
Mar-04	54,89	1857	0,97	7,65	68,36	363
Abr-04	57,69	1238	1,03	8,23	67,68	919
May-04	55,90	1718	0,89	8,20	68,06	416
Jun-04	54,94	3469	0,82	8,62	69,02	531
Jul-04	55,98	4333	0,84	9,02	68,88	547
Ago-04	55,52	4284	0,85	8,04	69,73	509
Sep-04	54,11	3157	0,93	7,45	69,78	269
Oct-04	56,89	4044	0,81	8,38	68,27	613
Nov-04	57,56	3143	0,80	8,92	68,82	447
Dic-04	57,59	3386	0,78	8,31	69,33	528
Ene-05	58,41	1038	0,84	8,00	70,71	453
Feb-05	62,38	485				9
Mar-05	56,99	1477	0,92	7,63	68,81	622
Abr-05	57,08	1308	0,65	7,26	68,45	619
May-05	56,28	739	0,76	7,58	69,19	841
Jun-05	58,81	507	0,86	7,96	70,24	531
Jul-05	58,55	1085	0,81	8,15	70,79	563
Ago-05	55,00	767	0,89	8,10	72,06	444
Sep-05						506

**Tabla N° 27.2: Variables productivas macro proceso refinería.**

<b>Fecha</b>	<b>BAC Kg</b>	<b>Bad Total (int+ext) Kg</b>	<b>Calcina Kg</b>	<b>Barro Electrolítico Kg</b>
Ene-03	48082	85704	47127	382
Feb-03	48181	85834	52577	480
Mar-03	57788	95469	48721	651
Abr-03	54714	92426	51899	552
May-03	75190	112932	55666	562
Jun-03	49275	87048	54832	544
Jul-03	60543	98346	54627	486
Ago-03	59647	97481	50739	600
Sep-03	73207	111072	47086	526
Oct-03	58850	96745	41191	531
Nov-03	50768	88694	55164	604
Dic-03	68548	106504	46350	535
Ene-04	70968	108955	51127	447
Feb-04	40765	78783	46248	406
Mar-04	50912	88959	42968	558
Abr-04	73443	111521	41703	533
May-04	84916	123024	57619	536
Jun-04	36778	74917	55491	565
Jul-04	56939	95108	47531	484
Ago-04	58358	96558	46917	477
Sep-04	60771	99002	47338	479
Oct-04	63317	101578	53178	535
Nov-04	57695	95987	52777	353
Dic-04	53132	91454	51002	445
Ene-05	67904	106257	54313	511
Feb-05	83648	122032	46591	441
Mar-05	56524	94936	57294	609
Abr-05	68034	106477	45830	373
May-05	67450	105923	46781	600
Jun-05	61769	100273	45437	503
Jul-05	45109	83643	44045	507
Ago-05	60870	99435	56582	484
Sep-05	63914	102510	45261	548
Oct-05	63981	102607	52174	479

**Anexo N° 2: Sistema de Gestión Codelco.**

El Sistema de Gestión Codelco (SGC) permite materializar la gestión participativa directa de los trabajadores y cumplir con los dos objetivos que de ella se esperan: aprovechar la experiencia y conocimiento de los trabajadores y permitir su desarrollo personal a través de su involucramiento y motivación con el trabajo.

La estructura del Sistema de Gestión Codelco se construyó integrando tres subsistemas, a saber, Planificación y Alineamiento, Gestión de Procesos y Transferencia de Mejores Prácticas.

## **I. Planificación y Alineamiento.**

Al subsistema de planificación y alineamiento le corresponde traducir y transmitir la visión compartida y los impulsos estratégicos de Codelco hacia toda la organización, como asimismo planear la operativización de las estrategias, de modo tal que cada unidad integrante de la Corporación conozca claramente su tarea, responsabilidad, contribución a la consecución de las metas y el aporte a resultados que de él se esperan.

### **I.1. Objetivos:**

- i. Traducir y transmitir la visión compartida y los impulsos estratégicos.
- ii. Asegurar que cada trabajador, supervisor y directivo reconozca cómo aportar a la meta corporativa.
- iii. Lograr el alineamiento horizontal y vertical de la organización para alcanzar sus metas.

### **I.2. Componentes Fundamentales.**

#### **I.2.1. Jornada de Planificación y Alineamiento.**

La Jornada de Planificación y Alineamiento consta de tres fases:

##### **I.2.1.1. Ejercicio de Planificación.**

##### **I.2.1.2. Validación.**

##### **I.2.1.3. Negociación y Compromiso.**

El ejercicio se realiza en forma de cascada, es decir, con el Convenio de Desempeño emanado de una unidad superior, se realiza el ejercicio de Planificación y Alineamiento de una unidad dependiente. Esto ocurre desde los

niveles corporativos hasta las unidades operativas de cada División. Todo esto dentro de plazos determinados para cada subsistema.

El instrumental de la planificación y alineamiento se ejecuta en cascada desde lo más general y agregado hasta lo específico y propio de cada proceso, en donde el trabajador a cargo de la tarea determinada mantiene tableros de su gestión que complementa y alimenta de información al convenio de desempeño de su supervisor, y así sucesivamente hasta llegar al convenio más macro, que contiene el indicador ROI, en la perspectiva de Gestión de Activos.

En esta instancia se da a conocer los Convenios de Desempeño ya construidos, partiendo por el de la División Ventanas, el del Gerente General, Gerente de Operaciones, y Superintendentes.

#### I.2.1.1. Ejercicio de Planificación.

Consiste en instancias formales y estructuradas de reflexión y análisis, que se realizan en los diferentes niveles de la Corporación una vez al año, con la finalidad de definir y acordar los objetivos, indicadores y metas para el año siguiente, y los compromisos de control y posterior evaluación. La jornada dura entre uno a dos días y participan en ella el encargado o líder de la unidad respectiva y los responsables de las unidades dependientes.

##### *a) Características.*

Iterativo : El ejercicio se realiza cada año.

Formal : Mediante la reunión de los equipos directivos y los integrantes de los diversos procesos.

Estructurado: Tienen formato definido, apunta a la obtención de productos estándares en la organización.

En Cascada: Se recorre desde instancias más altas de la organización hasta los niveles de subprocessos.

##### *b) Productos.*

Convenio de desempeño o tablero propio y lineamientos para las unidades dependientes.

Lineamientos para Unidades clientes y/o proveedoras que dependen de otra unidad organizacional.

Descripción de compromisos para años siguientes.

Planes de acción generales y/o funcionales, con la respectiva asignación de responsabilidades y métricas que soportan los compromisos de convenios y tableros.

Los convenios de desempeño y lineamientos de cada unidad son usados por los autores para determinar los procesos y salidas relevantes en los macro procesos de Fundición y Refinería.

*c) Elementos a considerar.*

Convenio de la unidad superior, expresado en términos de un Convenio de Desempeño o un tablero de Gestión.

Impulsos corporativos y lineamientos estratégicos, planteados por unidad superior, clientes y/o proveedores.

Compromiso y desempeño anterior, con el que se evalúa el grado de realismo y desafío de las metas a ser propuestas, como también los compromisos establecidos en el Plan de Negocios Divisional, expresados como indicadores.

Alineamiento horizontal, para resguardar consistencia.

Palanca crítica de creación de valor, principales iniciativas de impacto estratégico que llevará a cabo cada División para cumplir con sus metas de creación de valor.

*d) Información requerida.*

Antecedentes que agreguen valor a la actividad.

Los materiales a seleccionar dependerán de nivel en el cual se esté haciendo el análisis:

Directivo: Evaluación del convenio de desempeño del período anterior; análisis del cumplimiento del presupuesto y metas de producción; identificación de palancas críticas de creación de valor.

Proceso: Mapa de proceso actualizado; evaluación del tablero de gestión del período anterior; directrices y/o convenio del nivel inmediatamente superior.

Otros: Antecedentes de proyectos de mejoramiento de gestión.

*e) Indicadores.*

Se deben determinar los indicadores específicos a considerar en el nivel correspondiente a partir de los antecedentes preparados.

Revisar la métrica específica, eligiendo la que mejor refleje lo que se espera conocer a partir del indicador.

Establecer metas o patrones de comparación que serán incluidos en convenios y tableros de gestión.

Se debe considerar en la revisión de indicadores y metas los requerimientos o circunstancias contingentes, la evaluación de objetivos, indicadores y metas del período anterior, también deben analizarse los resultados y grado de cumplimiento de compromisos y finalmente la retroalimentación de las unidades internas.

*f) Metodología.*

La P&A se ejecuta a través de toda la estructura organizacional, mediante la ejecución de talleres a realizarse secuencialmente en los diferentes niveles de la división, con la finalidad de definir y acordar los objetivos, indicadores y metas, para el año siguiente, con el objetivo de traducir los compromisos del nivel superior dando origen a los Convenios de Desempeño y Tableros de Gestión.

El proceso de Planificación y Alineamiento es apoyado por los Departamentos de Gestión Operativa y las contrapartes divisionales de los compromisos contraídos por la División con el Centro Corporativo (CD Divisional-Lineamientos estratégicos).

*g) Roles.*

También existen roles durante el proceso.

Líder: Conducir la reunión, compartir lineamientos y compromisos superiores, asegurar la interacción cliente-proveedor (interna y externa) y lograr el producto.

Miembros del Equipo: Participar y ejercer rol cliente-proveedor según les corresponda.

DGO (departamentos de gestión operativa): aportar información, formatos y apoyar proceso de despliegue, liderar la validación centralizada del despliegue.

Contraparte: Apoyar a los DGO en el proceso de despliegue de los temas de Agenda Funcional o Convenios de desempeño de los que son responsables en la división.

*h) Proceso de Despliegue.*

1. EL proceso de despliegue requiere de una revisión y actualización de la estructura organizacional dónde se desarrollará.
2. El proceso de despliegue se lleva de acuerdo al siguiente esquema y se desarrolla en actividades denominadas Talleres. La duración del proceso es variables y puede considerar la ejecución de más de un taller si el equipo lo requiere.

Para las propuestas de convenios de desempeño y tableros de gestión se usan los Árboles de Valor para elaborar relaciones de causalidad y definir lineamientos específicos de los acuerdos Cliente – Proveedor.

*i) Herramientas de Apoyo.*

1. Relaciones de Causalidad.
2. Uso de Árbol de valor.
3. Formalizar Relación Cliente –Proveedor.
4. Aplicar Check List de la Verificación.

Estas herramientas sirvieron como parte del instrumental de apoyo para la construcción del modelo FREDGE.

#### I.2.1.2. Validación

Se debe validar y homologar con una visión global los resultados del ejercicio de P&A de las diferentes unidades de la organización.

Se verifica qué indicadores y metas comprometidas en convenios y tableros de gestión estén alineados, balanceados y concordantes con los objetivos de la unidad superior y de la Corporación y con las metas establecidas en el Plan de Negocios Divisional.

La validación está a cargo de La Dirección de Estrategia y Control de Gestión y Las Unidades de Gestión Operativas y éstos deben preparar el encuentro de Negociación y Compromiso.

Es en este punto donde nace la necesidad de identificar las variables esenciales de los procesos y sus respectivas salidas físicas para vincular éstas con la creación de valor deseada para la División.

A partir de los Convenios de Desempeño propuesto por responsable de unidad dependiente y la justificación, se chequea la idoneidad de los compromisos de la unidad dependiente y la coherencia con los de la unidad superior, también la

coordinación con otros convenios y se revisan otros antecedentes que no se hayan considerado.

#### I.2.1.3 Negociación y Compromiso

Se negocian posibles perfeccionamientos, que se pueden traducir en modificaciones de:

- objetivos
- indicadores
- metas
- ponderaciones

Se formaliza el compromiso establecido en el convenio.

### **II. Gestión de Procesos**

Subsistema que tiene por objeto normalizar en la organización una lógica de gestión basada en la métrica y estructura proporcionadas por el Sistema de Planificación y Alineamiento, que contemple el análisis y evaluación del desempeño (Control de Gestión) y el mejoramiento continuo de los procesos (Gestión del Mejoramiento).

### **III. Transferencia de Mejores Prácticas**

Subsistema que apunta a la búsqueda, detección, transferencia e instalación en procesos similares de las prácticas exitosas de trabajo dentro de la organización, Con este instrumento, los procesos homólogos al interior de la Corporación pueden compartir las experiencias que han reportado resultados destacables. Uno de los componentes más novedosos de este subsistema, lo constituye la construcción de una base de datos con información respecto de mejores prácticas, a la que pueden acudir todos los usuarios de la organización.

## **Anexo N° 3: Convenios de Desempeño y Tableros de Gestión.**

### **1. Convenios de Desempeño.**

Es el instrumento del subsistema de Planificación y Alineamiento, constituyente del Sistema de Gestión Codelco que se utiliza en los niveles de gerencias, superintendencias y unidades, cuyos indicadores se agrupan en tres perspectivas: creación de valor económico, desarrollo humano y alianza estratégica, y sustentabilidad, calificándolas según la relación entre las metas previstas y los resultados esperados.

## 2. Tableros de Gestión.

Es el instrumento del subsistema de Planificación y Alineamiento, constituyente del Sistema de Gestión Codelco que se utiliza a nivel de procesos y actividades, de igual forma que los Convenios de Desempeño, son planillas que recogen medidas o indicadores y estándares o metas seleccionadas para un adecuado monitoreo del desempeño de los equipos de proceso o actividades. En este caso, los indicadores se encuentran agrupados en cuatro perspectivas: Negocio, Seguridad, Calidad de Vida y Ambiente.

En las tablas siguientes se listaron las variables a medir al nivel de actividades y procesos de acuerdo a los encargados de los mismos:

**Tabla N° 28.1: Tableros de Gestión Macro Proceso Fundición**

<b>Proceso Secado</b>
Detención CT falta Concentrado [hrs/mes]
Humedad Concentrado [%]
Uso económico Combustible [Nm3 Gas/ (Nm3 gas + lts petróleo)]
Rechazo de Concentrado [ton rechazada/ton secada]
Cumplimiento Protocolo Mantenición [%]
Detención CT por falla de vasos [hrs/mes]
Detención Ct por falla Compresores [hrs/mes]
Evaluación Planta Secado según pauta

<b>Proceso Fusión</b>
Cumplimiento Rango Ley Metal Blanco (73% - 75%) [%]
Tiempo de Soplado [%]
Cumplimiento Rango T° Pirómetro (1240°-1260°) [%]
Fusión Continua de Circulante [%]
Cumplimiento Rango Calidad de Escoria (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 18%-20%) [%]
Cumplimiento Rango Calidad de Escoria (Cu < 8%) [%]
Cumplimiento Protocolo Manejo de Gases [%]
Duración de Placas de Metal [días/placa]
<b>Proceso Limpieza Escoria</b>
Escoria del CT a pozo [ton/mes]
Ley de Cu Escoria Final [%] Cu
Cumplimiento Rango Ley Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Escoria Final (3-6%) [%]
Incumplimiento Nivel de Metal Blanco (> 600 mm) [N° veces]
Duración Placas de Metal Blanco [días/placa]

Cumplimiento programa fusión circulante [%]
Cumplimiento Rango Temperatura M. Blanco (1160-1190°) [%]
Evaluación Horno Eléctrico según pauta

<b>Proceso Conversión</b>
Porción Tiempo Soplado con flujo > 290 Nm <sup>3</sup> /min [%]
Metal a Piso [ollas/día]
Porción Tiempo Soplado con Oxígeno [%]
Cumplimiento Temperatura del Baño < 1240° [%]
Cumplimiento Azufre en Blister (< 500 ppm) [%]
Cumplimiento Oxígeno en Blister (5000-6000 ppm) [%]
Evaluación CPS según pauta

<b>Proceso Horno Basculante</b>
Cumplimiento Programa de Hornadas [%]
Hornada fuera de estándar (< 175 ton/hornada) [N° Hornadas]
Procesamiento Diario [ollas/día]
Moldeos con T° inicio fuera estándar (1280°-1300°) [N° moldeos]
Moldeos con Afino inicio fuera estándar (insp. Visual) [N° moldeos]
Consumo de combustible Basculante [m <sup>3</sup> gas/hornada]
Moldeo fuera estándar Antimonio (> 500 ppm) [N° hornadas]
Evaluación Horno Basculante según pauta

<b>Proceso Hornos Refino</b>
Cumplimiento Programa de Hornadas [%]
Hornada fuera de estándar (< 300 ton/hornada) [N° Hornadas]
Trasvasije incumpliendo la tabla Antimonio de HB [ollas]
Moldeos con T° inicio fuera estándar (1210°-1220°) [N° moldeos]
Moldeos con Afino inicio fuera estándar (insp. Visual) [N° moldeos]
Consumo de combustible Reverbero [m <sup>3</sup> gas/hornada]
Consumo de troncos [troncos/hornada]
Traspaso de circulante a pedido Fundición [% del pedido]
Generación de Escoria H. Refino [ollas/hornada]
Evaluación Horno Refino según pauta
Evaluación Calderas según pauta
Evaluación Sección según pauta

<b>Proceso Moldeo</b>
Rechazo Físico de H. Refino [%]
Generación de Rebalses [ton/mes]
Consumo de Desmoldante [kgs/ton mold.]
Consumo de Gas Natural [m3/ton mold.]
Vida Util Moldes [ton/molde]
Cumplimiento Protocolo Mantenición
Evaluación Moldeo según pauta
Disponibilidad de Moldes por mes [cantidad]
Recuperación de Desmoldante [tachos/día]

<b>Proceso Limpieza de Gases</b>
Producción Ácido [ton/mes]
Costo Ácido [US\$/ton]
Captación de Azufre cucons [%]
Consumo específico energía eléctrica [kwh/ton]

**Tabla N° 28.2: Tableros de Gestión Macro Proceso Refinería**

<b>Obtención Hojas Madres y Cátodos Iniciales</b>
Producción Hojas Madre [Unid/día]
Rechazo Hojas Madre [%]
Producción Cátodos Iniciales aprobados [Unid/Turno]
Consumo Bordes Plásticos [Unid/Mes]
Proyectos de Mejoramiento (TMP o Mej Proceso) [N°]

<b>Obtención Cátodos Comerciales</b>
Peso por Grupo[Ton]
Tiempo de Renovación [Hrs/Grupo]
Cortocircuitos [Cortes/circuito-día]
Eficiencia Corriente Cátodos Comerciales [%]
Consumo Energía Eléctrica [KWH/Ton Cátodos]
Consumo de Vapor [Ton Vapor/Ton Cátodos]
Cátodos Estándar [Unidades/Grupo]
Proyectos de Mejoramiento (TMP o Mej Proceso) [N°/año]

<b>Planta Tratamiento Electrolito</b>
Reactores día [Unidad]
Producción Sulfato de Cobre[N° sacos/día]
Humedad Sulfato de Cobre [%]
Consumo de Soda [Kg Soda / m3 electr proa]
Consumo de Sulfato Férrico [Kg Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> / m3 electr proa]
Ciclo Electrowinning [h]

<b>Manejo de Ánodos</b>
Ánodos Preparados en MPA [grupos día]
Grupos diarios sin cargar [N°/mes]

Carguíos f/espec. No Autorizados (Sb, Espec. física) [Nº/mes]
---

<b>Manejo de Cátodos</b>
Inventario de Cátodos sin Preparar (Día Lunes) [Ton Cátodos]
Cumplimiento Pedido Preparación Subproductos [%]
Consumo de Zunchos [kg/paquete]
Consumo de sellos [Unidad/paquete]
Reclamos de Clientes [Nº]

<b>Lixiviación Barro Anódico</b>
Consumo Ácido Sulfúrico [Lts H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> / Lix]
Producción Lixiviador [kg BAD / Lix]
Cobre en Barro Anódico Descubrizado[%]
Producción de Sulfato de Cobre [t/mes]
Producción de Teluro [kg/mes]

<b>Planta de Selenio</b>
Consumo de Ácido Sulfúrico [Lts / Hornada]
Consumo de Reactivo de Deselenización [kg Reactivo/Hornada]
Carga BAD por hornada [kg]
Rendimiento de la Planta [Hornadas/día]
Proyectos de Mejoramiento (TMP o Mej Proceso) [Nº]
Existencia de BAD en piso fin de mes [t]
Consumo Energía Eléctrica [KWH/ Hornada]

<b>Horno TROF</b>
Consumo de Gas [Nm <sup>3</sup> / Hornada]
Ley de Teluro en Metal Doré [ppm Te]
Ley de Selenio en Metal Doré [ppm Se]
Ley de Cu en Metal Doré [% Cu]
Ley de Ag en Escoria [kg Ag/Ton Escoria]
Ley de Au en Escoria [kg Au/Ton Escoria]
Existencia de Calcina a final de mes [kg]
Existencia de Metal Doré externo a final de mes [kg]
Proyectos de Mejoramiento (TMP o Mej Proceso) [Nº]

<b>Electrólisis Plata</b>
Consumo de Diafragmas [Unidades/ mes]
Consumo de Ácido Nítrico [Lt HNO <sub>3</sub> / semana]
Consumo Específico de Energía Eléctrica [KWH/ electrólisis]
Restos de Ánodos de Metal Doré [%]
Tiempo de Proceso [Hrs/Proceso]
Granalla de Plata Reprocesada [kg Granalla Ag / mes]

Proyectos de Mejoramiento (TMP o Mej Proceso) [N°]
Existencia Metal Doré Propio final de mes [Unidades]
Existencia Barro Aurífero Crudo final de mes [Kg]
Producción de Platino/Paladio [Kg /Mes]

<b>Electrólisis Oro</b>
Consumo de Ácido Clorhídrico [Lt HCl/ Semana]
Restos de Ánodos de Oro [%]
Barra de Oro Reprocesada [Unidades]
Producción de Platino/Paladio [Kg /Mes]
Proyectos de Mejoramiento (TMP o Mej Proceso) [N°]
Existencia de Ánodos de Oro a fin de mes [Kg]

<b>Fundición de Plamen</b>
Cumplimiento Programa de Embarque Oro y Plata [%]
Cumplimiento Especificaciones Producto Comercial [%]
Consumo Eléctrico [KWH / Kg (Ag+Au)]
Proyectos de Mejoramiento (TMP o Mej Proceso) [N°]
Reclamos de Clientes [N°]

#### **Anexo N° 4: Concepto de Autopoiesis de Maturana.**

En el prólogo de 1995 de *De máquinas y seres vivos*, tanto Maturana como Varela coinciden en que el concepto de autopoiesis fue formulado para sistemas vivos en su expresión mínima, esto es, a nivel molecular<sup>15</sup>. La autopoiesis es una peculiaridad de ciertas máquinas homeostáticas, donde la variable fundamental que mantienen constante es su propia organización. "Una máquina autopoietica es una máquina organizada como un sistema de procesos de producción de componentes concatenados de tal manera que producen componentes que:

- a) Generan los procesos (relaciones) de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones.
- b) Constituyen a la máquina como una unidad en el espacio físico" (op.cit, 69).  
Dicho en breve, autopoiesis es una clase de dinámica de organización o, más exactamente, es una dinámica de autoorganización molecular. No es trivial recordar que, como entidad conceptual, pertenece a la clase de los conceptos biológicos.

La empresa ha sido conceptualizada como una red de procesos de producción de componentes laborales, tecnológicos, económicos, los que en sus interacciones recurrentes vuelven a generar continua y recursivamente esa misma red de procesos que los produjo a ellos (Limone, 1977-78-79).

Limone entiende por actos a las acciones y sus resultados. Al decir acciones, se implica necesariamente, transformaciones, vale decir, cambio, esto es, conversión o paso de una cosa de un estado a otro.

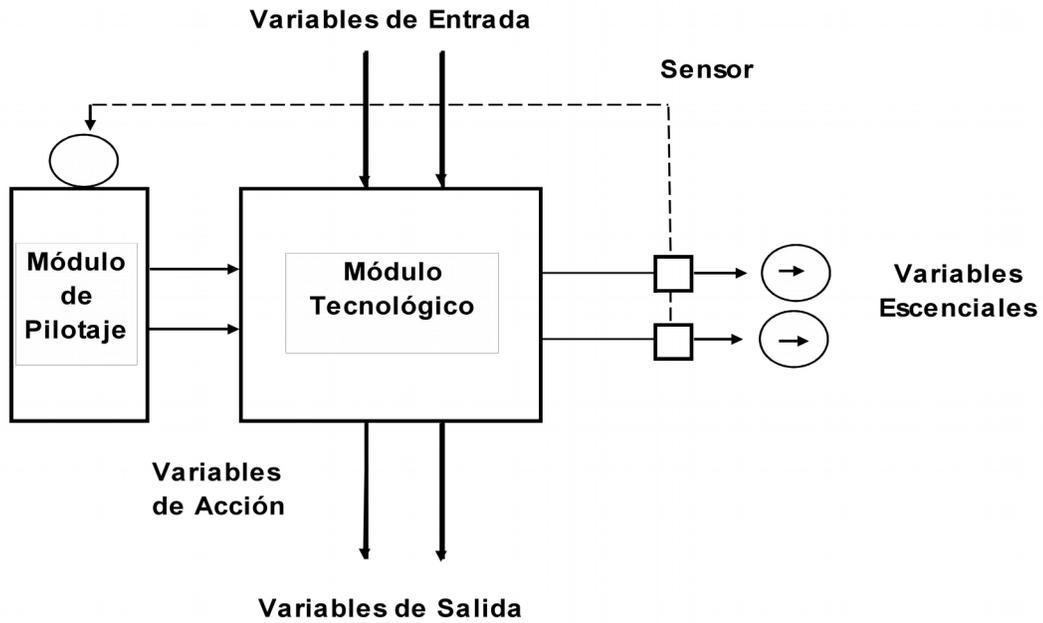
La estructura es la forma como la organización se realiza efectivamente en una unidad concreta, vale decir la Estructura es la tangibilización de la Organización.

---

<sup>15</sup> H. Maturana y F. Varela Op. Cit págs. 18-19 y 51-52.

## Anexo Nº 5: Esquema Básico de Análisis Modular.

Figura Nº 14: Pareja Estructural Básica.



El Análisis Modular de Sistemas es una tecnología de descripción y análisis organizacional creada por Jacques Mèlèse en 1972.

En la figura expuesta se mostraron los elementos del módulo tecnológico y de pilotaje que permiten un entendimiento mayor acerca del instrumento utilizado para determinar la estructura que daba sustento al subsistema productivo de la División Ventanas.

## Anexo N° 6: Precios por Insumos Utilizados.

Tabla N° 29: Precios de Insumos Macro Proceso Fundición.

INSUMO	MEDIDA	PRECIO US\$
Agua Industrial	[m3]	2,137
Aire 90	(nm3)	0,011
Coke (industrial)	[kg]	0,197
Consumo desmoldante	[kg]	0,930
E. Eléctrica	[kwh]	0,090
Fundentes (Sílice)	[kg]	0,250
Gas Natural	[Nm3]	0,160
Mangas	[unidades]	52,000
Oxígeno	[t]	62,289
Pasta Electrónica	[kg]	0,706
Petróleo diesel	[litros]	0,570
Refractarios	[kg]	2,000
Soda Cáustica	[kg]	0,670
Tronco de Eucaliptos	[unidades]	1,170

Tabla N° 30: Precios de Insumos Macro Proceso Refinería.

INSUMO	MEDIDA	PRECIO US\$
Agua Potable	[m3]	0,450
E. Eléctrica	[kwh]	0,09
Vapor	[t]	24,440
Aire Comprimido	[m3]	0,010
Eq. Rodante Ventanas	[hm]	8,080
Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	1,680
Protectores de Canto	[unidad]	1,060
Cinta Poliester	[unidad]	21,900
Acido Sulfúrico	[kg]	29,350
Soda Cáustica	[kg]	0,670
Soda Cáustica	[kg]	0,670
Agua Tratada	[m3]	2,450
Ácido Nítrico	[lt]	8,590
Env Cartón Ag 25 kg	[unidad]	7,870

Vigencia año 2005

## Anexo N° 7: Vinculación Variables Productivas con Costos de Insumos

### Figura N° 15: Macro Proceso Fundición

#### ESQUEMA MODELO APLICADO A FUNDICIÓN

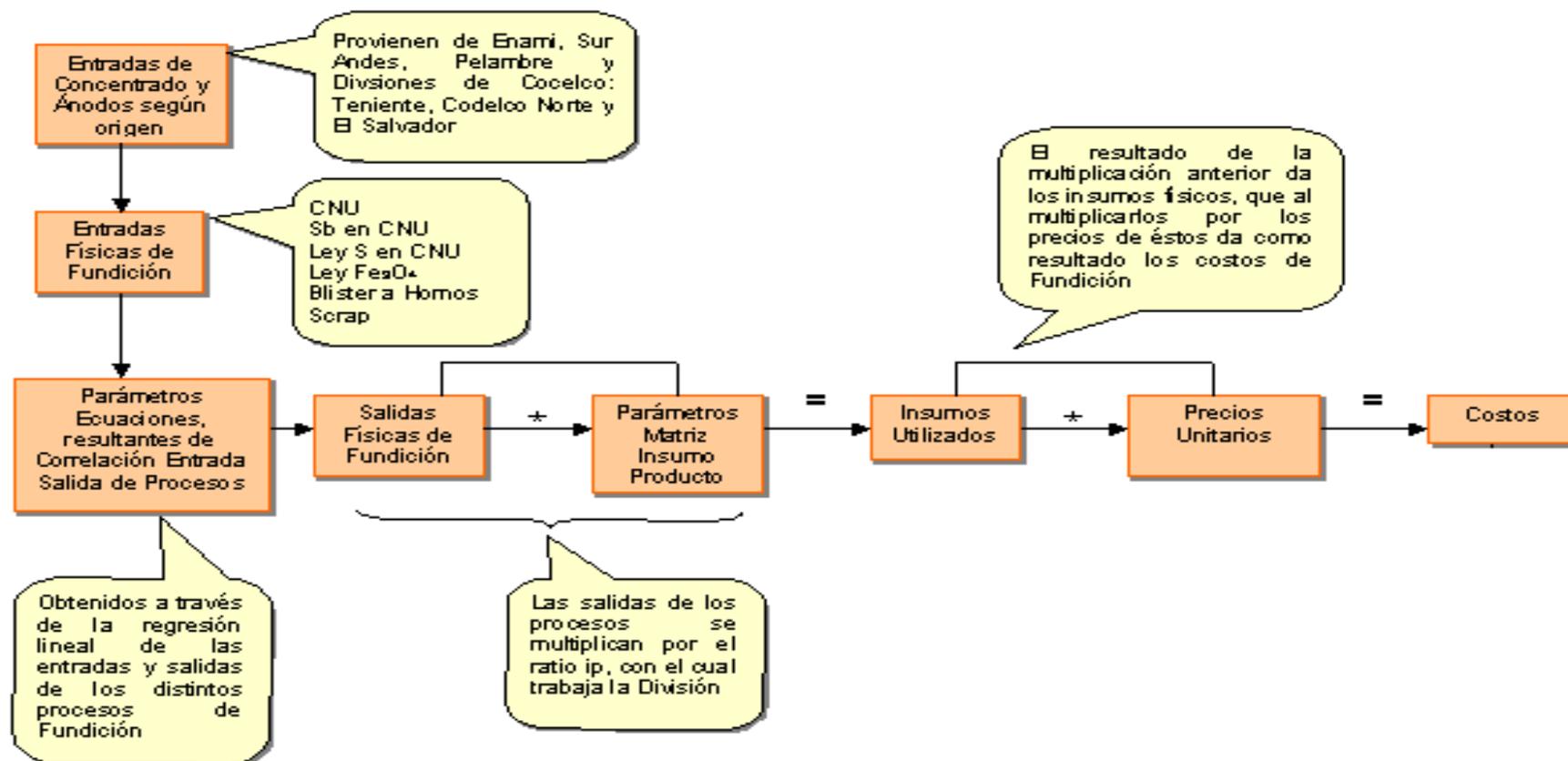
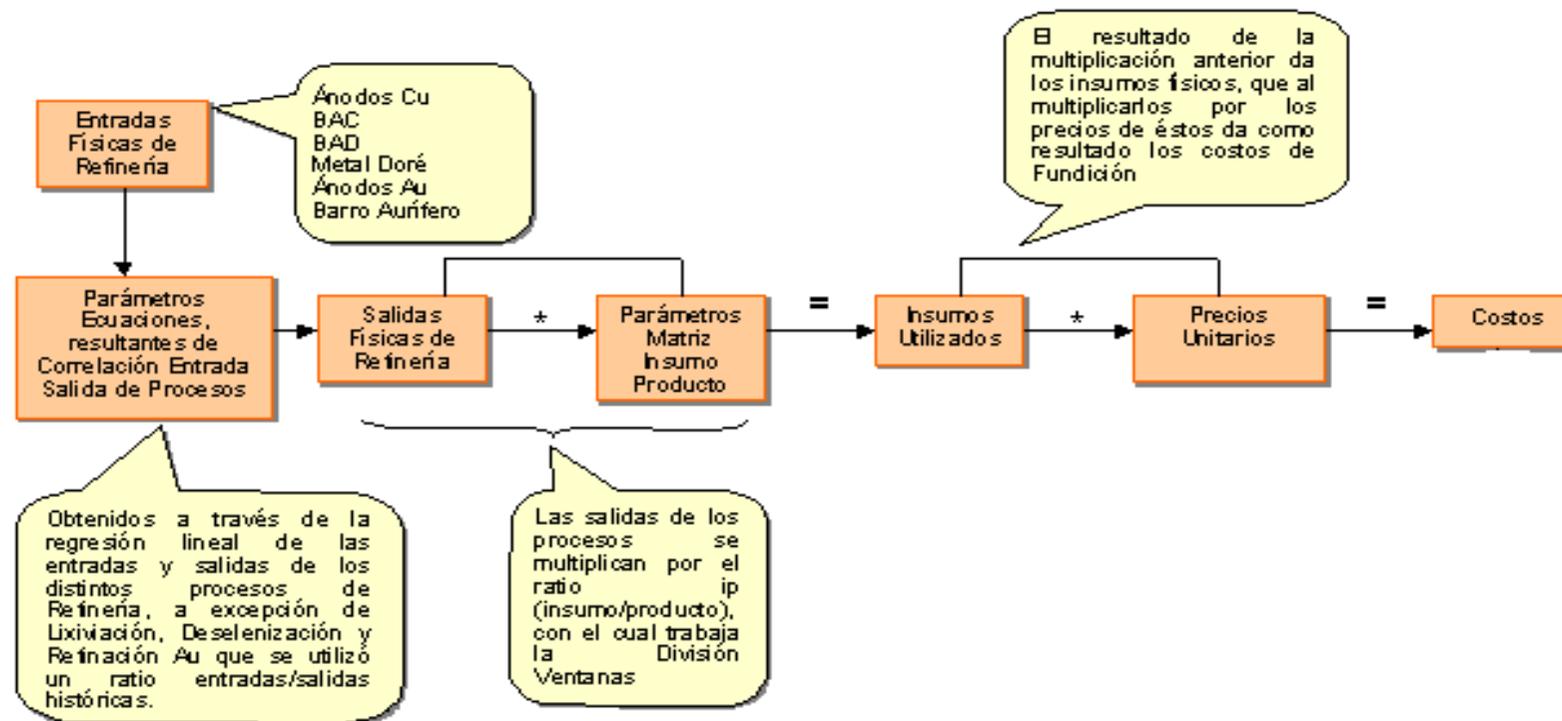


Figura N° 16: Macro Proceso Refinería

ESQUEMA MODELO APLICADO A REFINERÍA.



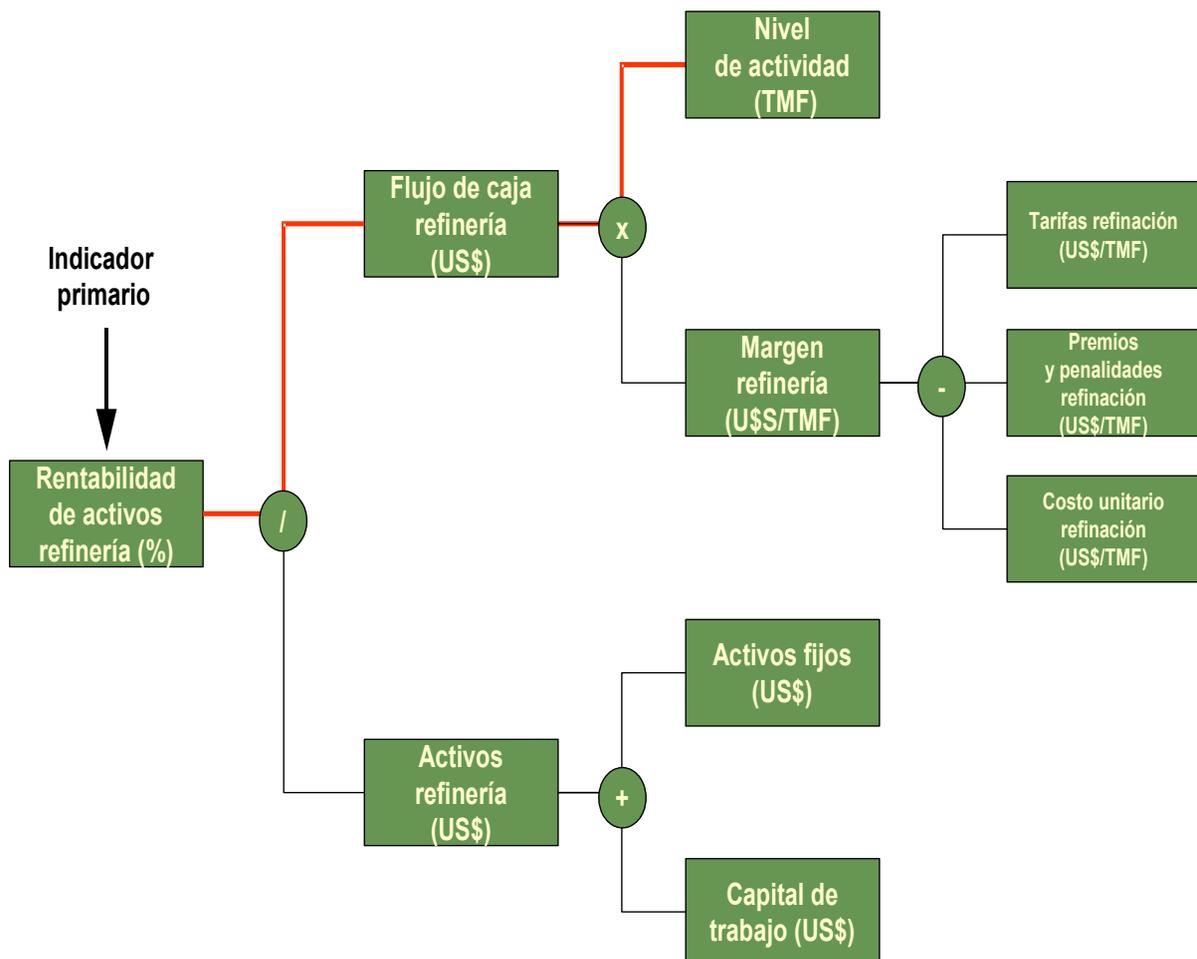
## Anexo N° 8: Árboles de Valor.

### Árboles de Valor.

Metodología basada en el sistema de análisis financiero Du Pont que permite la definición de las principales variables vinculadas con la rentabilidad, a través de una cadena de “causas – efectos” a partir del indicador primario “Retorno Sobre Activos”. Por medio de esta metodología, se identifican las variables relevantes involucradas en el proceso.

Los árboles de valor facilitan la comprensión del proceso general del cobre y subproductos a través de todas sus ramas, desagregándose cada vez más. El punto de partida del árbol es el retorno de las inversiones (R.O.I.), que surge como producto de un margen unitario multiplicado por el nivel de actividad.

Figura N° 17: Árbol de Valor



## Anexo N° 9: Organigramas

Figura N° 18: Organigrama Macro Proceso Fundición

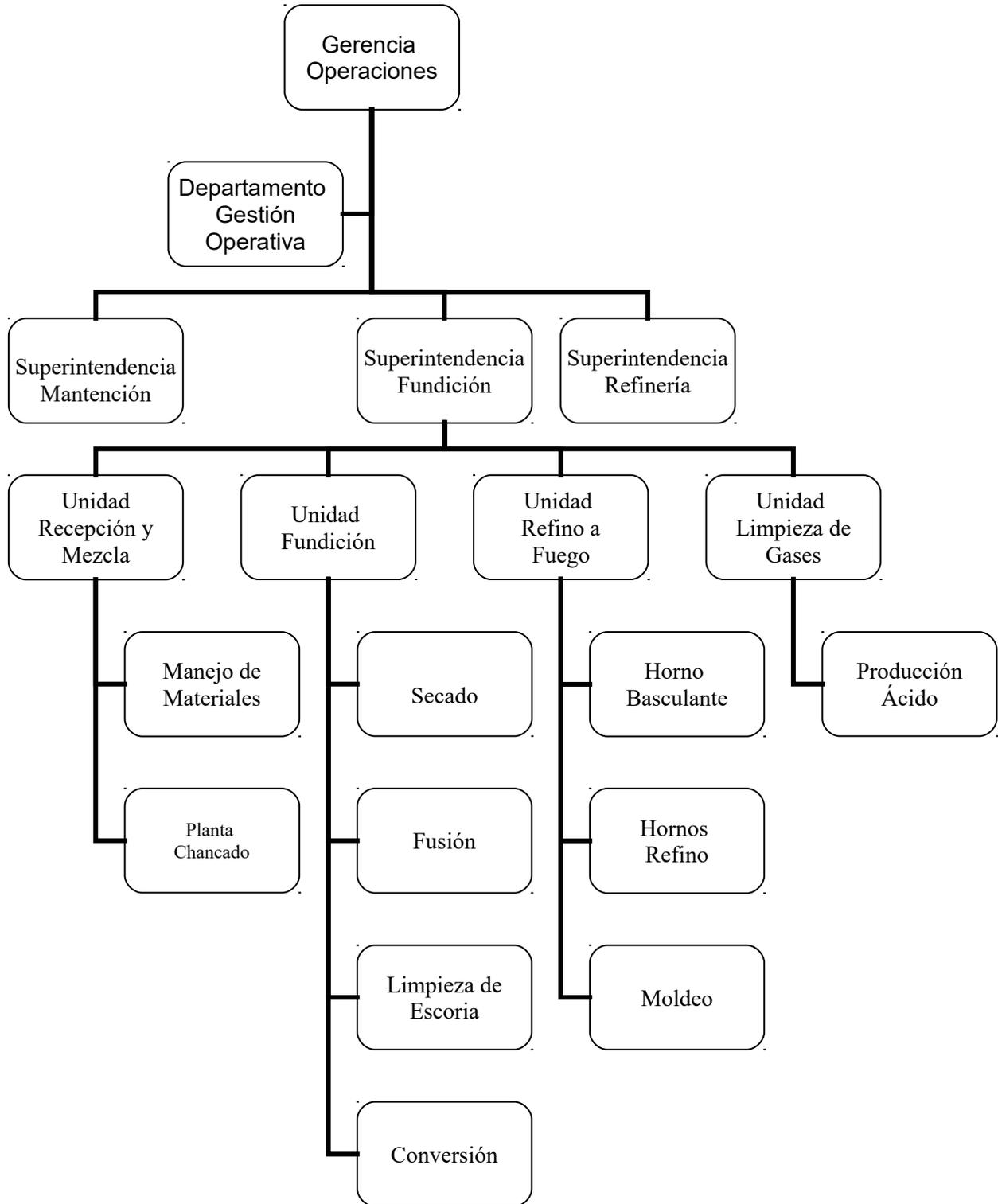
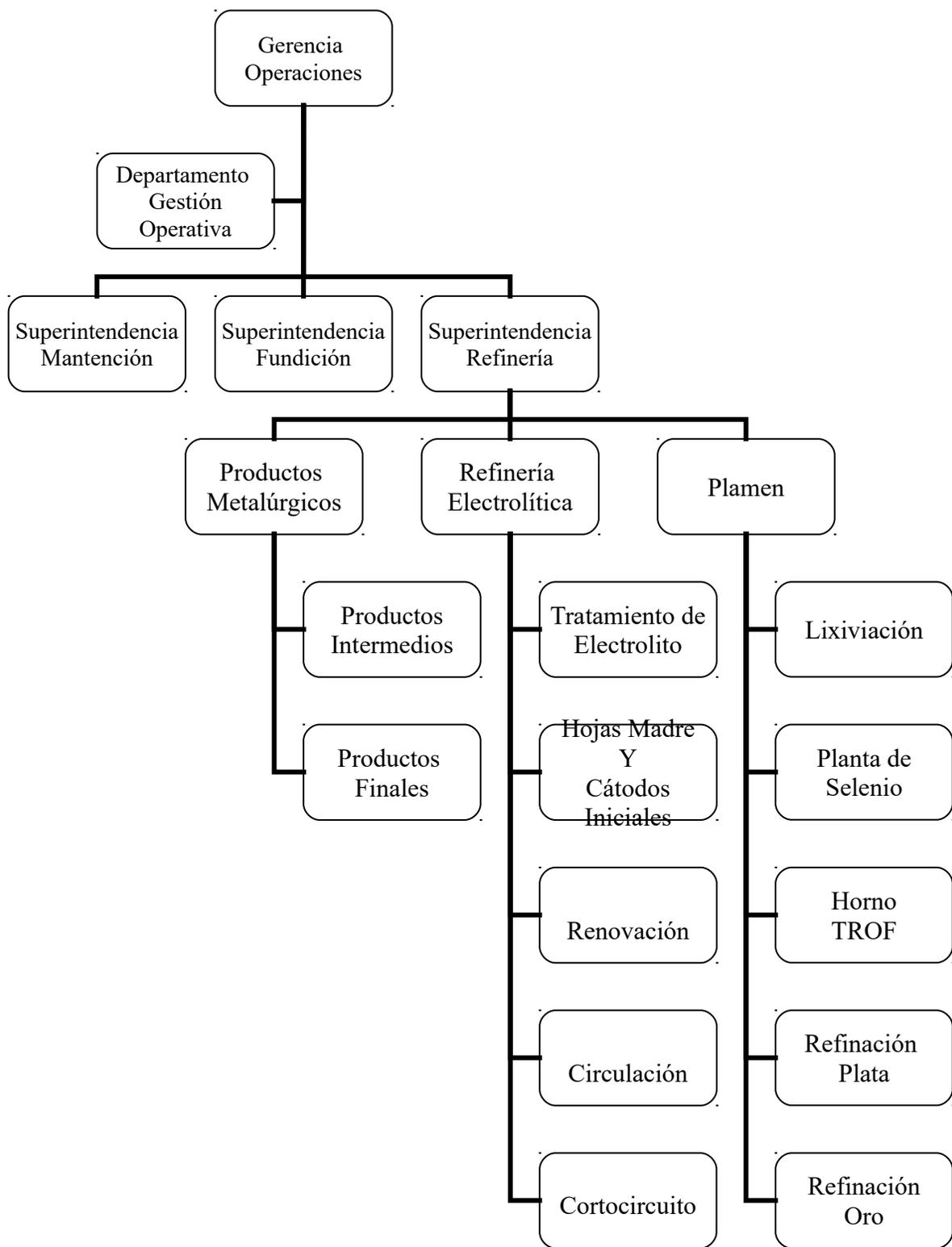


Figura N° 19: Organigrama Macro Proceso Refinería



**Anexo N° 10: Funciones de los Procesos Identificados**

## **MACRO PROCESO FUNDICIÓN:**

### 1. Unidad Recepción y Mezcla.

#### 1.1. Proceso Manejo de Materiales

Consiste en recepcionar y almacenar los flujos físicos provenientes de proveedores externos, principalmente el concentrado de cobre de las demás Divisiones de CODELCO y otros productos mineros. Además debe distribuir materiales a los distintos procesos de Fundición y manejar los residuos físicos generados por estos.

#### 1.2. Proceso Chancado y Selección.

Consiste en reducir los residuos físicos que aún son ricos en cobre, denominados Circulante, y enviados a Manejo de Materiales desde otros procesos internos, así como las rocas en bruto proveídas por pequeños mineros, denominadas Gangas, a un tamaño milimétrico.

### 2. Unidad Fundición.

#### 2.1. Proceso Secado.

Procesa la Mezcla de concentrado que viene húmeda, alrededor de un 8%, secándola obteniendo una Mezcla Seca que bordea un 0,2% de agua y una ley de cobre de 30%.

#### 2.2. Proceso Fusión (Convertidor Teniente).

Consiste en procesar la Mezcla Seca proveniente de Secado. A través de procedimientos térmicos se obtiene un material denominado Metal Blanco, cuya ley de cobre oscila en 75%, también se obtiene un material denominado Escoria, cuya ley de cobre oscila en 8%, además como consecuencia de este tratamiento se generan Gases que son necesario tratar.

#### 2.3. Proceso Limpieza de Escoria (Horno Eléctrico).

Consiste en la recuperación de la mayor cantidad de cobre existente en la Escoria generada en el proceso de Fusión, ésta contiene aproximadamente una ley de cobre de 8%, de la cual se logra rescatar un 7,2%. Las salidas de este proceso son dos, Metal Blanco y Escoria de Descarte, esta última es un desecho que se almacena en el Escorial.

#### 2.4. Proceso de Conversión (Convertidor Peirce Smith).

En esta etapa se continúa aumentando la pureza de los físicos. Se procesa el Metal Blanco proveniente desde Conversión y Limpieza de Escoria, obteniéndose el cobre Blister, cuya ley de cobre bordea entre 98-99%.

### 3. Unidad Refinación a Fuego.

#### 3.1. Proceso Refinación.

En esta etapa se procesan tanto el Cobre Blister, como otros sólidos generados en los demás procesos. Para lo anterior se cuenta con dos tipos de Hornos: Hornos de Refino y Horno Basculantes. Lo que se realiza es aumentar el grado de pureza del Cobre Blister, obteniéndose un Cobre Anódico listo para ser moldeado.

#### 3.2. Proceso Moldeo.

Consiste en dar forma a los Ánodos de Cobre. Consta de Ruedas de Moldeo que reciben el Cobre Anódico proveniente desde Refino a Fuego, se generan dos tipos de productos: Ánodos Corrientes y Ánodos Hojas Madre, los cuales son trasladados al Macro Proceso de Refinación.

### 4. Unidad Planta de Gases.

#### 4.1. Proceso Limpieza de Gases (Planta de Ácido).

En esta etapa se tratan los gases emitidos por los procesos de Fusión y Conversión. De este procesamiento se obtiene Ácido Sulfúrico, que se provee al Macro Proceso de Refinación.

## 1. Unidad Refinería Electrolítica.

### 1.1. Proceso Obtención Láminas Iniciales.

Las Hojas Madres -con un peso de 282 kgs. y un 99% de pureza- provienen de Fundición, específicamente de Refino a Fuego. Estas hojas madres se mantienen en patio de Productos Intermedios antes de ingresar a las piscinas electrolíticas. En estas piscinas se colocan entre dos Hojas Madres una placa de Titanio, que a través de la electrorefinación, sobre sus dos caras se forma una capa de cobre, las cuales se extraen y prensan en una planta para obtener así las Láminas Iniciales.

### 1.2. Proceso Obtención Cátodos Iniciales.

Las láminas iniciales se prensan en la Máquina Preparadora de Cátodos formándose así los Cátodos Iniciales que se depositan en las piscinas electrolíticas entre dos Ánodos Corrientes.

### 1.3. Proceso Obtención de Cátodos Comerciales.

Los Cátodos Comerciales se obtienen por la electrorefinación de los cátodos iniciales entre dos Ánodos Corrientes. Estos tipos de Ánodos -con un peso de 278 kgs y 99% de pureza- provienen de Refino a Fuego y posteriormente pasan a la Máquina Preparadora de Ánodos (MPA). Después de este proceso, las Láminas Iniciales se convierten en Cátodos Comerciales con un peso de 120 kgs y un 99,99% de pureza.

### 1.4. Proceso Planta Electrolito.

El electrolito es una sustancia que disocia iones cuando se funde o disuelve, para producir un medio que conduce electricidad. La solución consiste en Ácido Sulfúrico y Sulfato de Cobre principalmente que se prepara en la Planta de Preparación de Electrolito.

## 2. Unidad Productos Metalúrgicos.

### 2.1. Productos Intermedios.

En esta sección se encuentra la Máquina Preparadora de Ánodos, la cual al corregir defectos de las planchas mejora la calidad física de éstos. También se

almacenan y organizan los distintos insumos que son necesarios para los procesos de Refinería y Metales Nobles.

## 2.2. Productos Finales.

Es el patio de productos finales. Se organizan los pedidos para el embarque o transporte terrestre para la entrega a los clientes.

## 3. Unidad Planta de Metales Nobles.

### 3.1. Proceso de Lixiviación Barro Anódico.

Al lixiviar el barro anódico se extrae el cobre que viene entre esta mezcla. La idea es sacar el máximo de cobre para aumentar la pureza del barro , que pasa a ser descubrizado.

### 3.2. Proceso de Deselenización

Al someter al calor el barro anódico descubrizado (BAD) en unos hornos especiales, se extrae el Selenio.

### 3.3. Proceso Obtención de Metal Doré

El Metal Doré se extrae de los moldes provenientes de la planta de selenio. De este producto se extrae la Plata, el Paladio y Platino.

### 3.4. Refinería Plata

En este proceso se obtienen las Granallas de Plata, Paladio y Platino, quedando como subproducto el Barro Aurífero.

### 3.5. Refinería Oro

Del Barro Aurífero se obtiene los Ánodos de Oro que se refinan y se obtienen las Barras de Oro y adicionalmente más Paladio y Platino.

**Anexo N° 11: Identificación Variables Productivas asociadas a los Procesos**

**MACRO PROCESO FUNDICIÓN:**

**Tabla N° 31: Variables Productivas Macro Proceso Fundición**

<b>PROCESO</b>	<b>SALIDAS</b>	<b>VARIABLES</b>
MANEJO DE MATERIALES	Mezcla Húmeda Circulante Chancado Fundentes Ventas Externas	Relación Azufre-Cobre. Ley Fierro.  Ley Arsénico. Ley Antimonio Cantidad de circulante de granulometría baja. Humedad del concentrado.
SECADO	Mezcla Seca Agua	Concentrado ingresado RAM. Humedad concentrado. Concentrado reingresado (rechazo).
FUSIÓN (CONVERTIDOR TENIENTE)	Metal Blanco Escoria a HE Gases	CNU Ingresada Ley cobre. Ley azufre. Ley de fierro. Ley de Arsénico. Ley de Antimonio en CNU. Cantidad de circulante. Fusión continua de circulante. Temperatura pirómetro. Flujo de Aire. Duración placas de metal.
LIMPIEZA DE ESCORIA (HORNO ELÉCTRICO)	Metal Blanco Escoria Final	Escoria de Convertidor ingresada. Ley de Cobre en Escoria CT. Ley de Magnetita en Escoria CT. Nivel de Metal Blanco. Duración Placas de Metal Blanco. Potencia Eléctrica. Temperatura de Escoria ingresada. Calidad de Secundarios.
CONVERSIÓN (CONVERTIDOR PEIRCE SMITH)	Cobre Blister Gases Escoria CPS	Metal Blanco ingresado. Metal a piso. Tiempo soplado con oxígeno. Temperatura del baño. Cantidad de Circulante. Calidad del Circulante. Enriquecimiento de Aire. Flujo de Aire.

HORNO BASCULANTE	Cobre Anódico Ánodos Hojas Madre Escoria Basculante	Blister traspasado Calidad del Cobre Blister. Oxígeno en Blister. Azufre en Blister. Ley de Antimonio Blister. Flujo de gas.
HORNOS REFINO	Cobre Anódico Ánodos Corrientes Ánodos Hojas Madre Escoria Anódica	Ingreso Circulante. Ingreso Scrap. Ingreso Blister sólido. % Mes Ambos Hornos en Funcionamiento. Flujo de gas.
MOLDEO	Ánodos Corrientes Ánodos Hojas Madre	Rechazo físico de Horno Reverbero. Rechazo físico de Horno Basculante. Vida útil Moldes.
PRODUCCIÓN ÁCIDO	Ácido Sulfúrico	Características de los Gases. Control Temperatura de Gases. Carga de polvos en precipitado electroestático. Tasa de captura de Azufre.

## MACRO PROCESO REFINERÍA

Tabla N° 32: Variables Productivas Macro Proceso Refinería.

PROCESO	SALIDAS	VARIABLES
HOJAS MADRES Y CATODOS INICIALES	Cátodos Iniciales	Eficiencia del circuito de Hojas Madre Densidad de Corriente Amperaje Área Catódica Fugas energía eléctrica
ELECTROREFINACIÓN	Cátodos Comerciales	Rendimiento Máquina preparadora de cátodos. Nivel de Descarte Calidad Química Ánodo Calidad Física Ánodo Calidad Física Cátodo Inicial
TRATAMIENTO DE ELECTROLITO	Sulfato de Cobre	Descarte Operacional Calidad Electrolito Concentración de cobre Concentración de ácido Concentración de impurezas
PLAMEN	Oro Plata Selenio Teluro Concentrado Paladio Platino	Eficiencia proceso tostación Calidad de Clacina % Se extraído Ley de Ag Peso de ánodo Ley de Au Peso de ánodo







**Anexo N° 14: Insumos utilizados por las Salidas Físicas**

**Tabla N° 35: Matriz I/P Fundición**

<b>Salidas Físicas</b>	<b>Insumos</b>	<b>Medida</b>	<b>Consumo/t</b>
MBCT y Esc CT	Energía Eléctrica	kwh	6,8538
	Gas Natural	Nm3	10,4575
	Mangas	unidades	0,0036
	Fundentes	Kg	77,2264
	Aire 90	knm3	16,3750
	Oxígeno	T	0,2093
	Agua Industrial	m3	0,0299
	Petroleo diesel	litros	3,5377
	Refractarios	Kg	0,4410
MBHE y Esc Final	Coke	Kg	20,1433
	Pasta Electrónica	Kg	0,8795
	Energía Eléctrica	kwh	184,8436
	Agua Industrial	m3	0,1205
	Aire 90	knm3	35,3355
Cu Blister CPS	Consumo Fundentes	t	0,0000
	Aire 90	knm3	32,9268
	Oxígeno	t	0,0000
	Agua Industrial	m3	0,2661
	Gas Natural	nm3	16,6423
	Refractarios	kg	2,7967
Ánodos Corrientes y Hojas Madre	Carbón Vegetal	kg	
	Aire 90 moldeo	nm3	90,5442
	Consumo desmoldante	kg	0,9903
	Gas Natural	m3	135,2651
	Tronco de Eucaliptus	unid	0,0161
	Agua Industrial	m3	0,1866
	Energía Eléctrica	kwh	2,5628
	Energía Eléctrica	kwh	6,3953
Ácido	Agua Industrial	m3	1,6874
	Energía Eléctrica	kwh	94,2319
	Soda Cáustica	kg	12,0255

**Tabla N° 36: Matriz I/P Refinería**

Salidas Físicas	Insumos	Medida	Consumo/t o Kg
Láminas Iniciales	E Electrica	[kwh]	1,5456
	Agua Potable	[m3]	0,0254
	Vapor	[t]	0,1146
	Aire Comprimido	[m3]	6,9037
	Eq. Rodante Ventanas	[hm]	0,0776
	Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	0,0037
	Protectores de Canto	[unidad]	0,0060
	Cinta Poliester	[unidad]	0,0072
Cátodos Comerciales	E Electrica	[kwh]	3,4291
	Agua Potable	[m3]	0,0278
	Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	0,0722
Teluro y Sulf de Cu	E Electrica	[kwh]	1,9872
	Agua Potable	[m3]	0,0022
	Vapor	[t]	0,0903
	Aire Comprimido	[m3]	2,7055
	Acido Sulfúrico	[kg]	1,8084
	Eq. Rodante Ventanas	[hm]	0,0006
	Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	0,0071
	Soda Cáustica	[kg]	0,4358
Selenio	E Electrica	[kwh]	2654,4942
	Agua Potable	[m3]	1,6772
	Vapor	[t]	4,3993
	Acido Sulfúrico	[kg]	0,9619
	Eq. Rodante Ventanas	[hm]	0,3453
	Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	15,8774
	Soda Cáustica	[kg]	106,8835
Granalla Ag	E Electrica	[kwh]	497,7185
	Agua Tratada	[m3]	13,0162
	Acido Sulfúrico	[kg]	0,2220
	Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	0,2265
	Soda Cáustica	[kg]	17,8259
	Acido Nitrico	[lt]	35,7414
Barras Au	E Electrica	[kwh]	497,7185
	Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	3,7333
	Env Cartón Ag 25 kg	[unidad]	5,6774
Conc. Pd-Pt	E Electrica	[kwh]	497,7185
	Agua Tratada	[m3]	4,8141
	Ensayes Químicos (90501)	[ensayes]	15,0679

### Anexo N° 15: Instrumental Estadístico utilizado.

#### 1. Descripción Modelo de Análisis de Regresión.

## 1.1 Supuestos detrás del Método de Mínimos Cuadrados.

Para realizar algún tipo de inferencia estadística sobre las variables dependientes y los beta (estimadores), es necesario especificar la forma como se obtienen o generan las variables explicativas y los errores. Para ello, el modelo de Gauss o modelo clásico de regresión lineal (MCRL) plantea 10 supuestos que se describen a continuación. A estos 10 supuestos de MCRL, se adiciona el de los errores que se distribuyen en forma normal.

Los autores consideraron estos supuestos para la elaboración de los modelos de regresión de los macro procesos de Fundición y Refinería.

**Supuesto 1 : Modelo de Regresión Lineal.** El modelo de regresión es lineal en los parámetros.

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + \mu_i$$

**Supuesto 2 : Los valores de X son fijos en muestreo repetido.** Los valores que toma la variable explicativa son considerados como no estocásticos, es decir, determinísticos.

**Supuesto 3 : El valor medio de la perturbación  $\mu_i$  es igual a cero.** Dado el valor de X , el valor esperado del término aleatorio de perturbación es cero.

$$E(\mu_i | X_i) = 0$$

**Supuesto 4: Homoscedasticidad o igual varianza de  $\mu_i$ .** Dado el valor de X, la varianza de los errores es la misma para todas las observaciones.

$$\begin{aligned} \text{var}(\mu_i | X_i) &= E(\mu_i - E(\mu_i | X_i))^2 \\ &= E(\mu_i^2 | X_i) \text{ por supuesto 3} \\ &= \sigma^2 \end{aligned}$$

**Supuesto 5 : No existe autocorrelación entre las perturbaciones.** Dados dos valores cualquiera de  $X$ , la correlación entre los errores correspondientes a esas  $X$ , es cero.

$$\begin{aligned} cov(\mu_i, \mu_j | X_i, X_j) &= E \left\{ [(\mu_i - E(\mu_i)) | X_i] \cdot [(\mu_j - E(\mu_j)) | X_j] \right\} \\ &= E(\mu_i | X_i) (\mu_j | X_j) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Donde  $i$  y  $j$  son dos observaciones diferentes.

**Supuesto 6 : La covarianza entre los errores y las variables explicativas es cero.**

$$\begin{aligned} cov(\mu_i, X_i) &= E [(\mu_i - E(\mu_i)) (X_i - E(X_i))] \\ &= E[(\mu_i (X_i - E(X_i)))], \quad \text{puesto que } E(\mu_i) = 0 \\ &= E(\mu_i, X_i) - E(X_i) E(\mu_i) \\ &= E(\mu_i, X_i), \quad \text{puesto que } E(\mu_i) = 0 \\ &= 0, \quad \text{por suposición.} \end{aligned}$$

**Supuesto 7: El número de observaciones  $n$  debe ser mayor que el número de parámetros por estimar.** Alternativamente, el número de observaciones debe ser mayor que el número de variables explicativas.

**Supuesto 8 : Variabilidad en los valores  $X$ .** No todos los valores de la variables explicativa en una muestra dada deben ser iguales. Técnicamente,  $var(X)$  debe ser un número positivo finito.

**Supuesto 9: El modelo de regresión está correctamente especificado.** Alternativamente, no hay un sesgo de especificación o error en el modelo utilizado en el análisis empírico.

**Supuesto 10 : No hay multicolinealidad perfecta.** Es decir, no hay relaciones perfectamente lineales entre las variables explicativas.

**Supuesto 11: Los errores del modelo de regresión tienen una Distribución Normal.**

## **2. Test Estadísticos**

### **2.1 Test de parámetros individuales**

Esta prueba se utiliza para determinar la relación lineal entre la variable dependiente y cada una de las variables explicativas. Se testea la hipótesis nula de que el valor del parámetro es cero (0), versus la hipótesis alternativa que el valor es distinto de cero (0). Se rechazará la hipótesis nula cuando el valor de t observado sea mayor que el valor de t crítico.

En las pruebas realizadas se trabajó con el test de una cola, considerando la lógica productiva que respaldaba las relaciones entre variables propuestas. En la determinación del valor t observado se tuvo que:

$t = \frac{\text{Valor del parámetro estimado} - \text{Valor real del parámetro}}{\text{Desviación estándar del parámetro estimado}}$

Desviación estándar del parámetro estimado

Distribuyéndose t con (N – K – 1) grados de libertad, donde:

N: Número de observaciones

K: Número de variables explicativas

El nivel de significancia determinado para la validación de los test correspondió a un 5 %.

### **2.2 Test de significancia conjunta**

Esta prueba de significancia testea si la variable dependiente (Y) está relacionada o no linealmente con las variables independientes ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) a la vez. Se prueba la hipótesis nula que todos los coeficientes de pendiente son simultáneamente cero a la vez versus la hipótesis alternativa que no todos los coeficientes de pendiente son simultáneamente cero.

El valor del F observado se obtiene de:

$$F = (SCR / K) / (SCE / [N-K-1])$$

En la que:

SCR: Suma al cuadrado de los errores de regresión

SCE: Suma al cuadrado de los errores de la estimación

K : Número de variables explicativas

N : Número de observaciones

Se rechazará la hipótesis nula cuando el valor de F observado sea mayor que el valor de F crítico.

En las pruebas realizadas se determinó un valor para alfa de 5%.

### 2.3 Test de normalidad

El test utilizado para verificar el supuesto de normalidad en la distribución de los residuos fue el propuesto por Bera-Jarque. El mencionado instrumento incorpora el coeficiente de asimetría y el de curtosis, el valor del estadístico es cero para una distribución normal y se distribuye chi-cuadrado con dos (2) grados de libertad.

$$BJ = N * [\text{coef. Asimetría}^2/6 + (\text{coef. Curtosis} - 3)^2/24]$$

Donde N es el número de observaciones.

### 3.3 Coeficiente Beta

Los coeficientes beta o coeficientes de regresión estandarizados se utilizan para determinar cuál de las variables explicativas incorporada en una regresión tiene un mayor impacto sobre la variable dependiente, en el caso que exista más de una variable explicativa. Lo anterior se practica debido a que los coeficientes de regresión no estandarizados son sensibles a las unidades de medida. En cuanto a la interpretación de los resultados, aquella variable asociada al mayor coeficiente beta será la que mayor impacto tenga sobre la variable explicada.

$$\text{Coeficiente beta} = \beta_k * \sigma_y / \sqrt{\text{Cov}(X_k, Y)}$$

Donde:

$\beta_k$  : Parámetro estimado para la k-ésima variable explicativa

$\sigma_y$  : Desviación estándar de la variable dependiente

$X_k$  : Valores de la k-ésima variable explicativa

$Y$  : Valores de la variable dependiente

### 3.4 Coeficiente de Determinación

El coeficiente de determinación es un estadístico utilizado para medir la bondad del ajuste de los modelos elaborados, es decir, que tan preciso fue el ajuste de la línea de regresión sobre la nube de puntos. Indica la cantidad de varianza de la variable dependiente que es explicada por la o las variables independientes. En el caso que exista más de una variable explicativa, se utiliza el coeficiente de determinación ajustado que incorpora el efecto de mayor complejidad al trabajar con un mayor número de variables explicativas.

Coeficiente de determinación:

$R^2 = SCR / SCT$  , en que:

SCR: Suma al cuadrado de los errores de regresión

SCT: Suma al cuadrado de los errores totales

Coeficiente de determinación ajustado:

$$R^2_{aj} = 1 - (1 - R^2) * \frac{N - 1}{N - K - 1}$$

Donde:

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

N: Número de observaciones

K: Número de variables explicativas

### Prueba de Goldfeld- Quandt.

Este método se utilizó para detectar la heteroscedasticidad en los modelos de regresión presentes en esta investigación. Se parte con el supuesto que la varianza está relacionada positivamente con la variable explicativa.

$$\sigma_i^2 = \sigma^2 X_i^2$$

Este supuesto postula que  $\sigma_i^2$  es proporcional al cuadrado de la variable X. Si ésta es la relación apropiada, significa que  $\sigma_i^2$  sería mayor mientras aumentan los valores de la variables explicativa, por lo tanto sería muy probable que haya heteroscedasticidad en el modelo. Para probarlo, Goldfeld Y Quandt sugieren los siguientes pasos:

1. Ordenar las observaciones de acuerdo con los valores de X en forma ascendente.
2. Omitir las  $c$  observaciones centrales, donde  $c$  se especifica a priori y se divide las observaciones restantes  $(n - c)$  en dos grupos, cada uno con  $(n - c)/2$  observaciones.
3. Ajustar regresiones con el método de los mínimos cuadrados ordinarios a los dos grupos de observaciones por separado. Luego, obtener las respectivas sumas de errores al cuadrado  $SRC_1$  y  $SRC_2$  donde la primera representa a las observaciones con menor valor (grupo de varianza pequeña) , y la segunda a las observaciones de mayor valor (grupo de varianza mayor). Cada una de las SRC tiene

$$\frac{(n - c) - k}{2} \text{ grados de libertad.}$$

donde  $k$  es el número de parámetros que deben estimarse, incluyendo la intersección.

4. Calcular la razón

$$\lambda = \frac{SRC_2/g \text{ de l}}{SRC_1/g \text{ de l}}$$

Se supone que los errores están normalmente distribuidos y que el supuesto de homoscedasticidad es válido. Por lo tanto  $\lambda$  sigue la distribución F

con un número de  $g$  de  $l$  en el numerador y en el denominador iguales a  $[(n - c) - k]/2$ .

Si en una aplicación  $\lambda$  observado es superior al  $F$  crítico al nivel de significancia seleccionado, se puede rechazar la hipótesis de homoscedasticidad, es decir, se puede afirmar que la presencia de heteroscedasticidad es muy probable.

Adicional al criterio de lógica productiva, ante problemas frente a este supuesto, la mantención de los modelos anteriormente señalados se basó en las afirmaciones de N. Gregory Mankiw y John Fox. El primero postula que “la heteroscedasticidad jamás ha sido una razón para desechar un modelo, que de otra forma sería adecuado”<sup>16</sup>. Fox, por su parte, advierte:

“...una varianza de error desigual vale la pena corregirla sólo cuando el problema resulta severo.

El impacto de una varianza de error no constante sobre la eficiencia de un estimador de mínimos cuadrados ordinarios y sobre la validez de la inferencia de mínimos cuadrados depende de diversos factores, incluyendo el tamaño de la muestra, el grado de variación en  $\sigma_i^2$ , la configuración de los valores  $X$  (es decir, la regresora) y de la relación entre la varianza de error y las  $X$ . Por consiguiente, no es posible desarrollar conclusiones generales respecto al daño producido por la heteroscedasticidad”.<sup>17</sup>

### **Prueba $d$ de Durbin Watson.**

---

<sup>16</sup> N. Gregory Mankiw, **A Quick Refresher Course un Macroeconomics, Journal of Economic Literature**, vol. XXVIII, diciembre de 1990, p. 1648.-

<sup>17</sup> J Fox, **Applied Regresión Analysis, Linear Models, and Related Methods**, Sage Ps, California, 1998, p. 306.-

Para detectar correlación serial de los errores presentes en los modelos de regresión del presente estudio, se utilizó esta prueba desarrollada por los estadísticos Durbin y Watson. El estadístico  $d$  se define como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{\mu}_t - \hat{\mu}_{t-1})^2}{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{\mu}_t^2)}$$

que es la razón de la suma de las diferencias al cuadrado de residuos sucesivos sobre la SRC. En el numerador del estadístico  $d$  el número de observaciones es  $n-1$  porque se pierde una observación al obtener las diferencias consecutivas.

Una de las ventajas de  $d$  es que está basado en los residuos estimados, que se calculan de manera rutinaria en los análisis de regresión. Debido a esta ventaja, es frecuente incluir el estadístico  $d$  de Durbin-Watson en los informes de análisis de regresión, junto con otros estadísticos resumen tales como  $R^2$ ,  $R^2$  ajustada,  $t$  y  $F$ . El estadístico  $d$  se basa en los siguientes supuestos:

1. El modelo de regresión incluye el término intersección.
2. Las variables explicativas son no estocásticas.
3. Las perturbaciones se generan mediante el esquema autorregresivo de

primer orden:  $\mu_t = \rho \mu_{t-1} + \varepsilon_t$ . Por tanto, no se pueden utilizar para detectar esquemas autorregresivos de orden superior.

4. Se supone que el término de error, está normalmente distribuido.
5. El modelo de regresión no incluye valor(es) rezagado(s) de la variable dependiente como una de las variables explicativas.
6. No hay observaciones faltantes entre los datos.

El procedimiento de prueba puede explicarse mejor observando la **tabla del estadístico  $d$  de Durbin-Watson** .Esta figura muestra los límites de  $d$  que son 0 y 4. Estos pueden obtenerse expandiendo la ecuación del estadístico  $d$  , para obtener:

$$d = \frac{\sum \hat{\mu}_t^2 + \sum \hat{\mu}_{t-1}^2 - 2\sum \hat{\mu}_t \hat{\mu}_{t-1}}{\sum \hat{\mu}_t^2}$$

Puesto que  $\sum \hat{\mu}_t^2$  y  $\sum \hat{\mu}_{t-1}^2$  , difieren en sólo una observación, éstos son aproximadamente iguales. Por consiguiente, se obtiene:

$$d = 2 \left( \frac{1 - \frac{\sum \hat{\mu}_t \hat{\mu}_{t-1}}{\sum \hat{\mu}_t^2}}{1} \right)$$

Se define ahora

$$\hat{\rho} = \frac{\sum \hat{\mu}_t \hat{\mu}_{t-1}}{\sum \hat{\mu}_t^2}$$

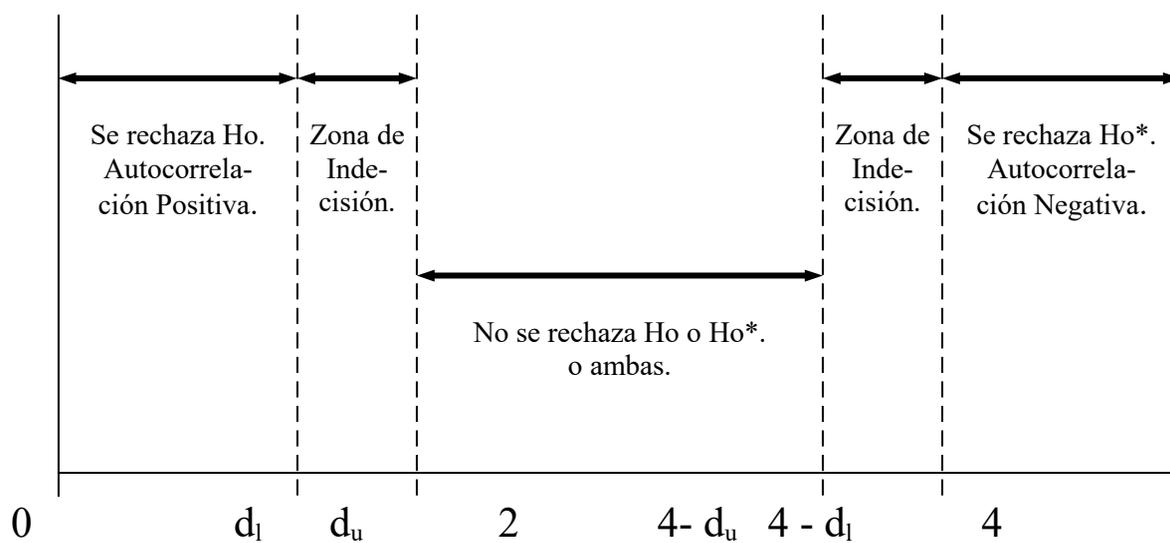
como el coeficiente de autocorrelación muestral de primer orden , un estimador de

$\rho$ . Es posible expresar entonces:

$$d = 2(1 - \hat{\rho})$$

Pero puesto que el valor del coeficiente de correlación estimado se encuentra entre  $-1$  y  $1$ , implica que el estadístico  $d$  se encuentra entre 0 y 4.

Tabla : estadístico  $d$  de Durbin-Watson.



$H_0$  : No hay autocorrelación positiva.

$H_0^*$  : No hay autocorrelación negativa.

**ANEXO N° 16: Valores de los test estadísticos aplicados.**

**Tabla N° 37: Valores coeficientes de regresión estandarizados para modelo multivariados de Fundición**

<b>Modelo</b>	<b>Variabes Productivas</b>	<b>Coef. Beta</b>
Metal Blanco CT	CNU	0,89
	Ley Azufre	0,26
Metal Blanco HE	CNU	0,93
	Ley Magnetita	0,19
Ácido Sulfúrico	CNU	0,97
	Ley Azufre	0,23

**Tabla N 38: Valores del estadístico Bera –Jarque, prueba de normalidad en la distribución de los residuos**

<b>Modelo</b>	<b>Bera-Jarque</b>	<b>Chi-cuadrado 2 GI</b>	
		<b>a = 5 %</b>	<b>a = 2,5 %</b>
Metal Blanco CT	4,29	5,991	7,738
Escoria CT	15,96		
Metal Blanco HE	11,11		
Escoria HE	16,09		
Cobre Blister	9,6		
Ánodos Corrientes Horno Basculante	7,18		
Ánodos Hojas Madre Horno Basculante	15,05		
Ánodos Corrientes Hornos Refino	17,64		
Ánodos Hojas Madre Hornos Refino	12,87		
Ácido Sulfúrico	8,4		
Láminas Iniciales	5,43		
Cobre Comercial	19,2		
Plata	16,82		
Oro	4,72		

**Tabla N° 39: Valores estadístico t, prueba de parámetros individuales.**

<b>Modelo</b>	<b>Variable Productiva</b>	<b>t observado</b>	<b>t crítico (5%)</b>
Metal Blanco CT	CNU	11,634	1,701
	Ley Azufre	3,486	1,701
Escoria CT	CNU	30,634	1,697
Metal Blanco HE	Escoria CT	12,294	1,701
	Ley Magnetita	2,498	1,701
Escoria HE	Escoria CT	22,461	1,699
Cobre Blister	Metal Blanco Total	34,594	1,701
Ánodos Corrientes Horno Basculante	Blister "neto"	19,733	1,699
Ánodos Hojas Madre Horno Basculante	Blister "neto"	11,059	1,699
Ánodos Corrientes Hornos Refino	Carga Total	8,788	1,694
Ánodos Hojas Madre Hornos Refino	Carga Total	5,567	1,694
Ácido Sulfúrico	CNU	32,219	1,699
	Ley Azufre	7,723	1,699
Láminas Iniciales	Hojas Madre	14,095	1,694
Cobre Comercial	Ánodos Corrientes	8,687	1,694
Plata	Metal Doré	9,726	1,696
Oro	Ánodos Oro	13,925	1,694

**Tabla N° 40: Valores para el estadístico F, prueba de significancia conjunta.**

<b>Modelo</b>	<b>F observado</b>	<b>F crítico <math>\alpha = 5\%</math></b>
Metal Blanco CT	71,002	3,34
Metal Blanco HE	75,618	3,34
Ácido Sulfúrico	531,919	3,33

**Tabla N° 41: Valores para el  $R^2$  y  $R^2$  ajustado (\*)**

<b>Modelo</b>	<b>Coef. Determinación</b>
Metal Blanco CT (*)	0,82
Escoria CT	0,96
Metal Blanco HE (*)	0,83
Escoria HE	0,94
Cobre Blister	0,97
Ánodos Corrientes Horno Basculante	0,93
Ánodos Hojas Madre Horno Basculante	0,80
Ánodos Corrientes Hornos Refino	0,70
Ánodos Hojas Madre Hornos Refino	0,49
Ácido Sulfúrico (*)	0,97
Láminas Iniciales	0,86
Cobre Comercial	0,70
Plata	0,75
Oro	0,86

**Tabla N° 42: Valores para el estadístico d, y valores para  $d_u$  y  $4-d_u$  a un nivel del cinco por ciento de significancia, prueba detección autocorrelación entre residuos.**

<b>Modelo</b>	<b>d observado</b>	<b><math>d_u</math></b>	<b><math>4-d_u</math></b>
Metal Blanco CT	1,56	1,34	2,65
Escoria CT	1,649	1,57	2,42
Metal Blanco HE	2,257	1,57	2,43
Escoria HE	0,447	1,496	2,504
Cobre Blister	0,879	1,489	2,511
Ánodos Corrientes Horno Basculante	1,85	1,496	2,504
Ánodos Hojas Madre Horno Basculante	2,343	1,496	2,504
Ánodos Corrientes Hornos Refino	1,368	1,514	2,486
Ánodos Hojas Madre Hornos Refino	1,573	1,514	2,486
Ácido Sulfúrico	2,308	1,574	2,426
Láminas Iniciales	1,802	1,514	2,486
Cobre Comercial	1,125	1,514	2,486
Plata	1,732	1,514	2,486
Oro	2,809	1,514	2,486

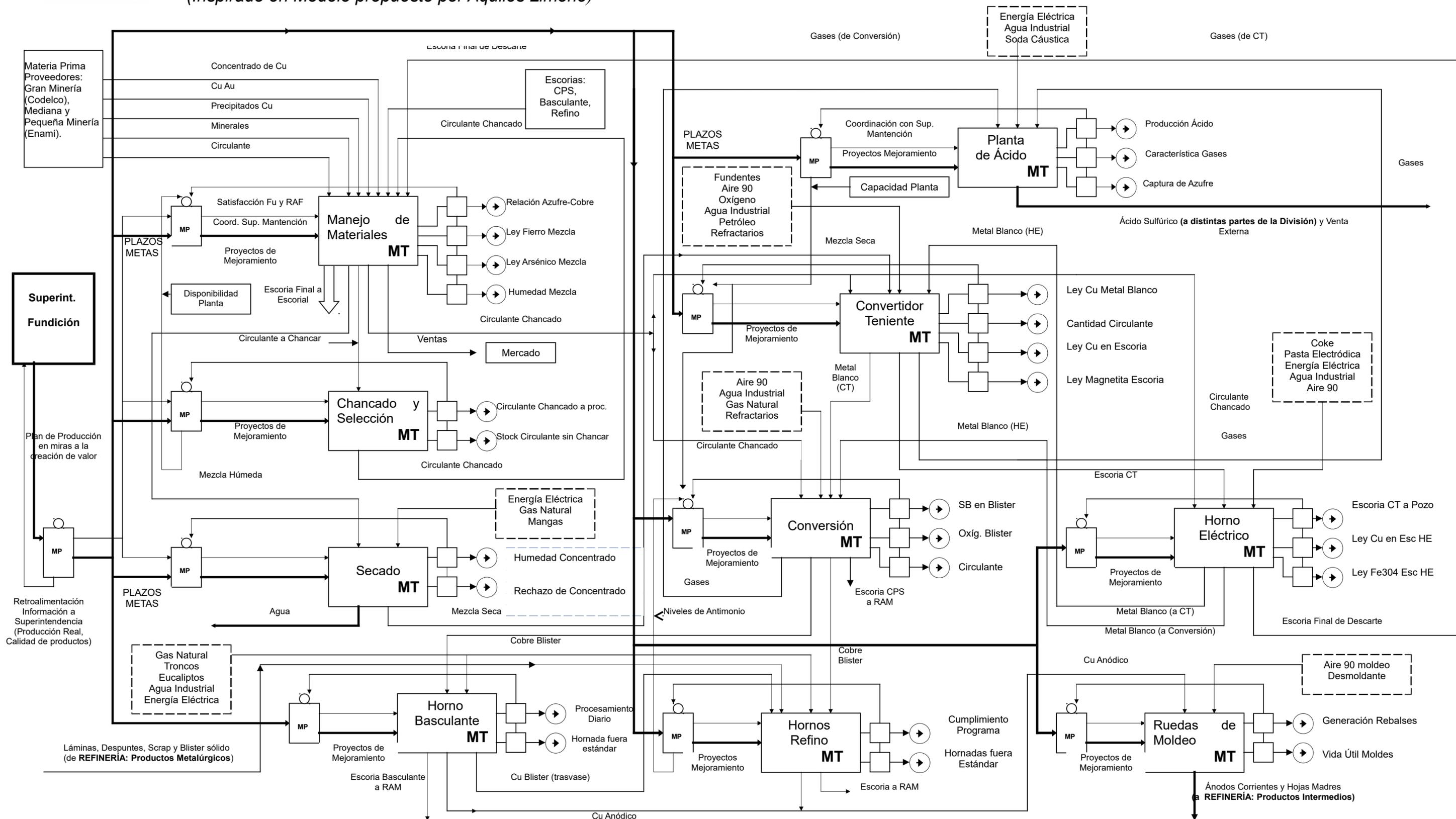
**Tabla N° 43: Valores observado para el estadístico F, prueba detección heteroscedasticidad**

<b>Modelo</b>	<b>Variable Productiva</b>	<b>F observado</b>	<b>F crítico</b>
Metal Blanco CT	CNU	0,01	4,22
	Ley Azufre	?	4,22
Escoria CT	CNU	0,01	4,16
Metal Blanco HE	Escoria CT	0,0008	4,22
	Ley Magnetita	12,85	4,22
Escoria HE	Escoria CT	0,005	4,22
Cobre Blister	Metal Blanco Total	3,22	4,22
Ánodos Corrientes Horno Basculante	Blister "neto"	1,02	4,22
Ánodos Hojas Madre Horno Basculante	Blister "neto"	3,22	4,22
Ánodos Corrientes Hornos Refino	Carga Total	223,53	3,89
Ánodos Hojas Madre Hornos Refino	Carga Total	0,067	3,89
Ácido Sulfúrico	CNU	0,0000058	4,16
	Ley Azufre	2,21	4,16
Láminas Iniciales	Hojas Madre	10,03	3,89
Cobre Comercial	Ánodos Corrientes	1,288	3,89
Plata	Metal Doré	0,06	3,89
Oro	Ánodos Oro	2,02	3,89

**Tabla N° 44: Valores para el coeficiente de correlación, prueba detección multicolinealidad**

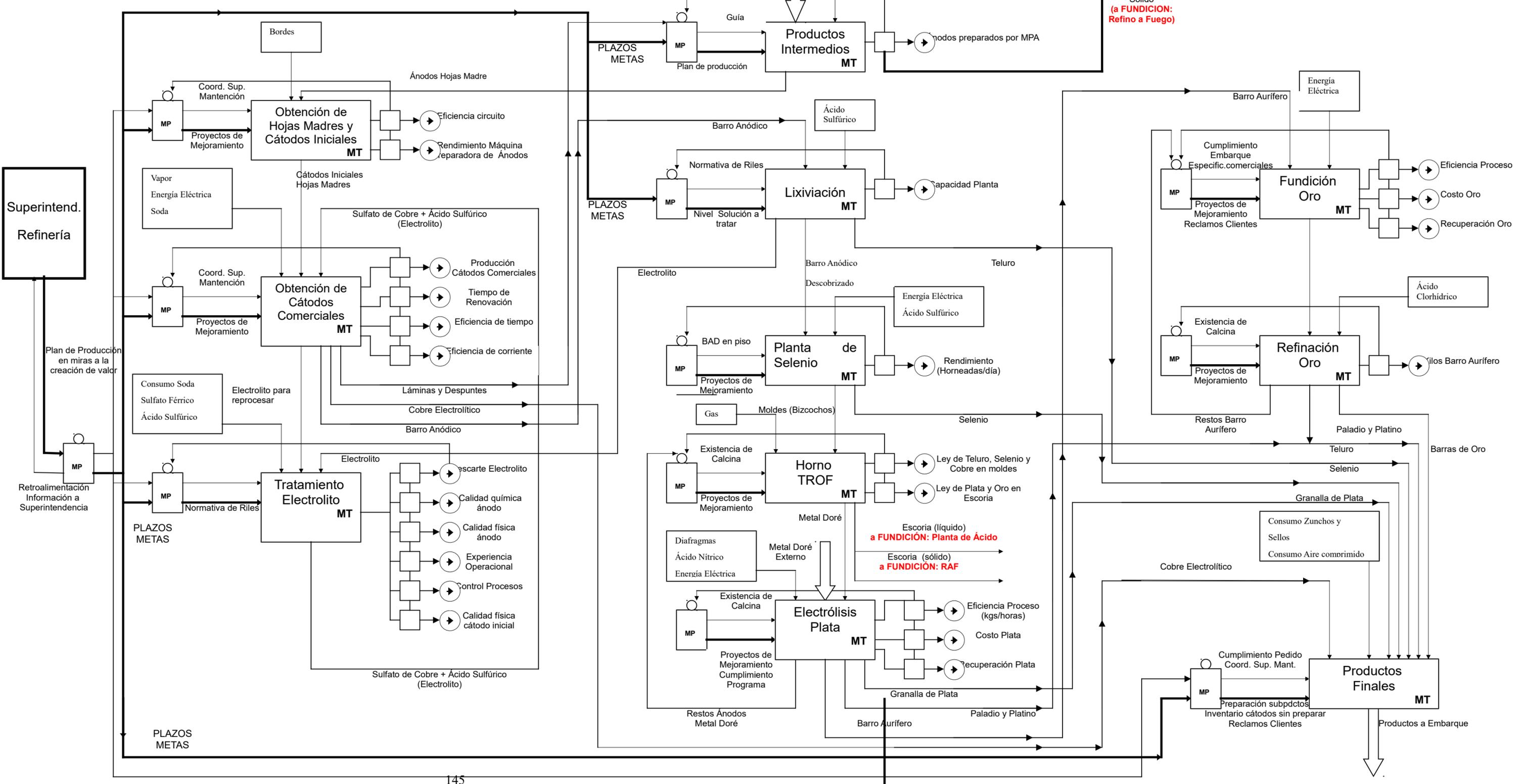
<b>Modelo</b>	<b>Coef. Correlación</b>
Metal Blanco CT	-0,07
Metal Blanco HE	0,17
Ácido Sulfúrico	-0,08

ESQUEMA PROCESOS FUNDICIÓN  
(Inspirado en Modelo propuesto por Aquiles Limone)



# ESQUEMA PROCESOS REFINERÍA

(Inspirado en Modelo propuesto por Aquiles Limone)



Superintend.  
Refinería

Retroalimentación  
Información a  
Superintendencia

PLAZOS  
METAS

PLAZOS  
METAS

PLAZOS  
METAS

Escoria Basculante  
a RAM

Cu Cu Blister (trasvase)

MP

Proyectos de  
Mejoramiento

Ánodos Corrientes y Hojas  
Madres  
de FUNDICIÓN: Ruedas  
de Moldeo

Escoria Basculante  
a RAM

MP

Proyectos de  
Mejoramiento

Cu Anódico

Escoria Basculante  
a RAM

