



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE ÁNODOS DE PLOMO EN CHILE:  
EL CASO DE INPPAMET LIMITADA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**ANTONIO CARLOS CARRACEDO ROSENDE**

PROFESOR GUÍA:  
LEONEL NÚÑEZ LAZO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ROBERTO ROMÁN LATORRE  
RODRIGO PALMA HILLERNS

SANTIAGO DE CHILE  
MAYO DE 2012

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO  
POR: ANTONIO CARRACEDO ROSENDE  
FECHA: MAYO DE 2012  
PROF. GUÍA: LEONEL NÚÑEZ LAZO

## RESUMEN EJECUTIVO

Se aborda el desarrollo de la Industria de Ánodos de Plomo en Chile, desde la perspectiva de un emprendedor involucrado en el negocio desde su génesis hasta la fecha. Durante el periodo el suscrito, junto a otros emprendedores, ha contribuido a desarrollar la industria en Chile y en la región a través de múltiples actividades de Ingeniería.

Inppamet Ltda. nace en 1987 a raíz de un proyecto donde la división Chuquicamata de CODELCO le adjudica un contrato para la provisión de 28.000 ánodos de Pb-Ca-Sn laminados, siendo el suscrito el líder del proyecto. A partir del año 1989 CODELCO Chuquicamata comenzó a mostrar una tendencia creciente hacia los ánodos laminados. Inppamet Ltda., reconoció en ello un negocio de gran potencial considerando las perspectivas cada vez más realistas de futuros proyectos que utilizarían el proceso SX-EW. En 1994 Inppamet Ltda. logra un acuerdo de asistencia técnica con RSR Corp. lo cual junto al constante desarrollo interno le ha permitido acceder a una alta participación del mercado mundial de ánodos de Pb-Ca-Sn.

El modelo de negocios de la compañía ha evolucionado con las condiciones de mercado para adaptarse a los cambios de estrategias de los consumidores y a las condiciones de entorno. No obstante ello, las componentes básicas del modelo incluyen los siguientes productos y servicios:

- Ánodos nuevos para proyectos iniciales y para reposición de inventarios.
- Provisión de fungibles y componentes para mantenimiento de ánodos en operación.
- Servicios para instalación y mantenimiento de ánodos en faenas productivas.

Los principales aspectos del proceso productivo de ánodos laminados de Pb son: i. Fundición de aleación para la plancha de plomo, ii. Laminación de planchas, iii. Preparación de barras de Cu, iv. Dimensionado de planchas de Pb, v. Armado de ánodos, vi. Electro deposición de plomo (en unión barra cobre - plancha plomo) y vii. Verticalizado y embalaje. Consecuentemente, la planta productiva incluye las siguientes principales células de manufactura: i. Fundición de aleación, ii. Laminación, iii. Preparación de barras, iv. Dimensionado de planchas, v. Armado de ánodos, vi. Electrodeposición, vii. Verticalizado y embalaje y viii. Reciclado de materias primas.

En un análisis crítico, a gran escala, del proceso y de las operaciones técnicas de la compañía, este trabajo aborda el desarrollo de las bases de un manual de operaciones y de calidad; a la luz de la experiencia acumulada en estos casi 30 años de operaciones, considerando las regulaciones vigentes que aplican a esta industria. A la fecha de emisión de este documento, el manual referido ha sido desarrollado internamente en la compañía y difundido ampliamente.

# Índice de Contenidos

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo General	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
<b>2</b>	<b>Antecedentes e Historia de Inppamet Ltda.</b>	<b>1</b>
2.1	Génesis del proyecto: Búsqueda de Mercado, Definición del Producto y del Proceso	1
2.2	Formación de Inppamet Ltda.	2
2.3	Consolidación de Inppamet Ltda.	3
2.4	Estado Actual de Inppamet Ltda.	4
2.5	Visión de Futuro a Largo Plazo (año 2000 en adelante)	6
<b>3</b>	<b>El diseño del Negocio</b>	<b>8</b>
3.1	Los Clientes	9
3.1.1	Tamaño de los Clientes	9
3.1.2	Distribución Geográfica de los Clientes	10
3.1.3	Características Internas Relevantes de los Clientes	12
3.1.4	Tipo de Relación Comercial	13
3.2	Los Proveedores en la Industria Minera	13
3.3	Los Productos y Servicios de Inppamet Ltda.	14
3.3.1	Venta de Ánodos	14
3.3.2	Venta de Servicios	15
3.3.3	Descripción Técnica de Ánodos	15
<b>4</b>	<b>El Proceso de Manufactura de Ánodos Laminados de Inppamet Ltda.</b>	<b>24</b>
4.1	El Proceso de Manufactura	24
4.1.1	Descripción General	24
4.1.2	Capacidad del Proceso	25
4.1.3	Diagrama de Flujo del Proceso	26
4.2	Etapas del Proceso Productivo	27
4.2.1	Fundición de Plomo	27

4.2.2	Laminación de Planchas .....	29
4.2.3	Conformado de las Planchas.....	33
4.2.4	Preparación de las barras de Cu .....	34
4.2.5	Armado de los Ánodos .....	39
4.2.6	Recubrimiento Electrofítico de las Barras de Cobre .....	42
4.2.7	Verticalizado, Embalaje y Transporte .....	44
4.2.8	Control de Calidad .....	47
4.2.9	Servicio Post-Venta.....	54
4.2.10	La Prevención de Riesgos y Medio Ambiente.....	57
<b>5</b>	<b>La Planta de Productiva .....</b>	<b>63</b>
5.1	Distribución de la Planta.....	63
5.2	Maquinaria .....	65
5.2.1	Olla para la Fundición de la Aleación.....	65
5.2.2	Laminadores .....	68
5.2.3	Guillotina para el Corte de las Planchas .....	70
5.2.4	Fresadora .....	74
5.2.5	Roleadora .....	75
5.2.6	Mesas de Armado de Ánodos .....	77
5.2.7	Electrodeposición de Plomo .....	79
5.2.8	Rack para Verticalizado y Embalaje .....	81
<b>6</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>84</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>.....</b>	<b>88</b>
1.1	Política de Calidad de Inppamet Ltda. ....	88
1.2	Procedimientos de Control de Procesos y Ventas.....	88
1.2.1	Controles Químicos.....	88
1.2.2	Controles Físicos .....	90
1.2.3	Control de Calidad .....	90

# 1 Introducción

Este trabajo aborda un tema de negocios e ingeniería de gran impacto en Chile, el desarrollo de la Industria de Ánodos de Plomo en la nación, desde la perspectiva de un emprendedor directamente involucrado en el negocio desde su génesis, en 1982, hasta la fecha; en que la industria y el negocio se han consolidado. Durante este periodo el suscrito, junto a otros profesionales y empresarios, ha contribuido a desarrollar la industria en Chile y en la región desempeñándose como Socio y Gerente General de Inppamet Ltda. En este cargo, durante casi 30 años de actividad, se han desarrollado múltiples actividades asociadas directamente a la práctica de la Ingeniería en general y de la ingeniería Mecánica en particular.

Inppamet Ltda. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de ánodos destinados a los procesos de Electro-Obtención (EW por sus siglas en inglés) en la industria minera del cobre. Su principal mercado es el de la industria minera chilena, sin embargo con el correr de los años ha realizado exportaciones a diversos países como Perú, Brasil y otros.

En esta memoria se describen las diferentes etapas de la evolución de Inppamet Ltda., destacando en cada una de ellas los principales hechos que fueron condicionando el estado actual de la empresa. También se incluye una breve descripción de la visión de futuro del negocio y de la forma en que se busca enfrentar las nuevas condicionantes de mercado y del modelo de negocios.

El trabajo de título además se ocupa de describir los principales componentes del negocio, tales como: el modelo de negocios, los clientes, los proveedores, el producto y el proceso de manufactura. En esta descripción se busca dar una visión general respecto de cada componente del negocio en términos de su importancia relativa, estado de desarrollo, evolución y tendencias. Siendo éste un proyecto de Ingeniería Mecánica, se ha puesto especial atención en la descripción de dos de los componentes del negocio, estos son: el producto y el proceso de manufactura.

Con relación al producto se realiza una descripción técnica detallada de las principales ventajas y desventajas de los ánodos fabricados por Inppamet Ltda., las principales

variables que influyen en su diseño, la evolución del producto en el tiempo, los principales productos alternativos, etc.

Respecto del proceso de manufactura, la memoria describe exhaustivamente las etapas que lo componen, los principales factores técnicos involucrados, los niveles de producción y productividad alcanzados, las maquinarias necesarias, la distribución de la planta y su diagrama de flujo general.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

Compilar el desarrollo de la industria de Ánodos de Plomo en Chile, desde la perspectiva de Inppamet Ltda., sus orígenes, modelo de negocios y tecnologías; para generar las bases de un manual de operaciones (procesos y calidad) de la compañía.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- i. Revisar los acontecimientos técnico-comerciales que brindan la oportunidad de desarrollar la industria en Chile,
- ii. Revisar y redefinir el modelo de negocios de la compañía y visualizar su futuro, haciendo hincapié en La metodología para alcanzar el desarrollo de la industria, y
- iii. Desarrollar una contribución para establecer el manual de procesos y calidad de la compañía.

## **2 Antecedentes e Historia de Inppamet Ltda.**

### **2.1 Génesis del proyecto: Búsqueda de Mercado, Definición del Producto y del Proceso**

La historia de Inppamet Ltda. se inicia dentro de un proyecto de negocios de la empresa INPPA Ltda. (Actualmente Inppa S.A.), compañía en la cual el suscrito participaba como socio. En la década de los 80, el rubro principal de negocios de INPPA estaba asociado a la provisión de radiadores para la industria automotriz chilena.

La crisis económica que afectó al país en el año 1982, debido al cambio del estatuto automotriz que regulaba la integración nacional en la armadura de vehículos, provocó una considerable disminución en la demanda. Esto generó una crisis en la industria automotriz nacional, que ocasionó el cierre de la gran mayoría de las empresas que se dedicaban a integrar la armadura de vehículos. Esta crisis motivó a INPPA a iniciar un proceso de búsqueda de nuevos mercados para los productos que fabricaba y comercializaba hasta ese momento. Así, se estableció como objetivo la identificación de nuevos nichos de negocios y la identificación de nuevos productos a comercializar. Como resultado de esta campaña comercial, la empresa estrechó sus lazos con la industria minera, especialmente con la división Chuquicamata de CODELCO Chile.

Hasta el año 1982, la división Chuquicamata fabricaba sus propios ánodos de plomo, realizando la fundición de ellos sobre barras de cobre compradas a proveedores nacionales. Estos ánodos fundidos (híper eutécticos) tenían la siguiente composición: Plomo (Pb) 85,3%, Antimonio (Sb) 14,0% y Plata (Ag) 0,7%.

La primera relación comercial ligada al desarrollo de ánodos de Pb que logra establecer INPPA con división Chuquicamata, corresponde a un contrato por provisión de barras de cobre para ánodos de Pb-Sb. El perfil de cobre trefilado era comprado a un proveedor nacional y luego procesado (mecanizado y conformado) por INPPA, con el fin de lograr la geometría final exigida por el diseño del producto.

En el año 1983, CODELCO-Chuquicamata comienza una política de externalización de algunas funciones, entre ellas la fabricación de ánodos de Pb. Para avanzar en este camino, la división Chuquicamata ofreció y adjudicó a INPPA la venta de las maquinarias necesarias para la fabricación de los ánodos fundidos y un contrato por el

servicio de recuperación de ánodos hiper-eutécticos, que ya se encontraban en un avanzado estado de deterioro por corrosión. La recuperación se realizó mediante la fundición de los ánodos dañados (recuperación del material) y posterior moldeo sobre las barras de cobre provistas por INPPA.

El contrato de recuperación de ánodos entre INPPA y división Chuquicamata se mantuvo operativo hasta el año 1987 y estuvo siempre orientado al reemplazo de los ánodos que iban siendo dados de baja de la operación, por lo tanto las producciones nunca fueron altas (aproximadamente 4.000 ánodos/año).

## **2.2 Formación de Inppamet Ltda.**

La experiencia de Inppamet Ltda. en la fabricación de ánodos para electro obtención de cobre (Cu), se remonta al año 1987<sup>1</sup> en el que división Chuquicamata decide iniciar la construcción del proyecto RIPIOS. Este proyecto fue uno de los primeros en Chile en el cual se aplicaba el proceso de producción de cobre por lixiviación de botaderos de rípios más un proceso de extracción por solventes – electro-obtención (SX-EW). El principal objetivo de este proyecto era el obtener el cobre que aún permanecía alojado en los botaderos de material, que hasta ese momento habían sido considerados como agotados o de tratamiento no rentable.

El proyecto RIPIOS consideró la construcción de una planta de SX-EW, en la cual se instalaron 28.000 ánodos sobre los cuales se estableció una fuerte diferencia de opiniones en cuanto a la tecnología con la cual debían ser fabricados. Básicamente se consideraban 2 alternativas: ánodos fundidos (hipo-eutécticos globulizados, Pb-Sb-Ag) y ánodos laminados (Pb-Ca-Sn). Con el fin de tomar una decisión respecto al tipo de ánodos a incluir en el proyecto, Chuquicamata contrató la asesoría de una prestigiosa universidad nacional, que en su informe final recomendó el uso de ánodos fundidos con algunas modificaciones respecto de las versiones anteriores (reducción del contenido de Sb a 7% y aplicación de un proceso térmico de globulización).

El contrato por la fabricación de los 28.000 ánodos del proyecto RIPIOS de División Chuquicamata fue adjudicado a la empresa Inppamet Ltda. en el año 1987, la cual se formó con los aportes de INPPA (50%) y TEHMCO (50%). Ambas empresas habían mantenido hasta la fecha estrechas relaciones comerciales con la empresa minera y en particular TEHMCO, que meses antes había comprado la fundición Knight Foundry con base en Tucson, Arizona, la cual tenía una amplia experiencia en la fabricación de

---

<sup>1</sup> H. Danus V, Crónicas Mineras de medio siglo 150-2000, 2007, Ril Editores, Santiago.



ánodos fundidos de Plomo (Pb) – Estroncio (Sr) y además poseía una patente asociada a este tipo de ánodos.

### **2.3 Consolidación de Inppamet Ltda.**

A partir del año 1989 CODELCO Chuquicamata comenzó a mostrar una tendencia creciente hacia los ánodos laminados con el fin de buscar una alternativa de solución ante los continuos problemas de operación que presentaban los ánodos fundidos en todas sus configuraciones. Ante esta situación, Inppamet Ltda., reconoció un negocio de gran potencial considerando las perspectivas cada vez más realistas de futuros proyectos que utilizarían el proceso de lixiviación – extracción por solventes – electro-obtención. Este tipo de proceso, para la obtención de cobre, cuenta con ventajas asociadas principalmente a una reducción de costos operacionales y un nivel mínimo de contaminación al medio ambiente, ambos objetivos principales dentro del quehacer minero de las empresas de nuestro país.

En el año 1990, CODELCO Chuquicamata decide el recambio de 28.000 ánodos fundidos por ánodos laminados (Pb-Ca-Sn). Esta compra la realiza dividida en partes iguales a dos proveedores internacionales. La primera mitad se compró a la empresa RSR, con planta productiva en EE.UU. y la otra mitad se compró a la empresa Royston, con planta productiva en el Reino Unido.

En el año 1991 Inppamet participó en forma independiente, sin acuerdo con ninguna empresa extranjera, en licitaciones asociadas a la compra de ánodos para los proyectos Escondida-Coloso (17.000 ánodos) y Zaldívar (22.000 ánodos). En ambos casos la empresa Royston fue la favorecida con los contratos. Estos fueron los primeros grandes proyectos privados en que se aplicó el proceso de SX-EW. Unos pocos meses antes la empresa norteamericana RSR había vendido al proyecto Quebrada Blanca la cantidad de 17.000 ánodos.

Entre los años 1991- 1993 Inppamet Ltda. logró concretar la venta de 600 ánodos laminados para el proyecto LINCE de la empresa minera Carolina de Michilla, venta que correspondió al 10% del total de ánodos del proyecto, siendo el resto de los ánodos comprados a Royston.

En el año 1993 Inppamet Ltda. logró un acuerdo para producir con asistencia técnica de RSR Corp. en su planta de Calama, lo cual favoreció a ambas empresas. Inppamet Ltda. aportó sus instalaciones y el conocimiento del mercado local y RSR Corp. aportó la marca y la asistencia técnica.

## **2.4 Estado Actual de Inppamet Ltda.**

La compañía ha logrado un constante crecimiento de la demanda de sus productos y el mejoramiento continuo de su capacidad productiva, lo cual puede apreciarse en la Tabla 2.2. Esta evolución de la demanda está altamente determinada por los proyectos mineros en sus etapas de construcción y puesta en marcha, dado que los grandes volúmenes de demanda se producen en esas etapas; siendo las demandas relacionadas a la reposición de ánodos por mantenimiento o vida útil, de menor envergadura en términos absolutos, en esta etapa de la evolución del negocio.

**Tabla 2.1:** Comercialización de Ánodos Inppamet Ltda. Según Proyectos Mineros.

<b>Proyecto Minero</b>	<b>Ubicación Geográfica</b>	<b>Cantidad Ánodos [unidades]</b>
El Abra	Chile, II Región	62.039
Radomiro Tomic	Chile, II Región	75.418
Cerro Colorado	Chile, II Región	31.610
Escondida	Chile, II Región	30.014
Chuquicamata, Óxidos	Chile, II Región	17.531
Toquepala	Perú	15.774
Mantoverde	Chile, III Región	14.940
Cerro Verde	Perú	14.698
Santa Bárbara	Chile, II Región	13.712
Collahuasi	Chile, I Región	13.146
Chuquicamata, Circuito E	Chile, II Región	11.959
Carolina de Michilla	Chile, II Región	7.726
Chuquicamata, Circuito F	Chile, II Región	6.663
Quebrada Blanca	Chile, I Región	5.184
El Tesoro	Chile, II Región	17.324
Andacollo	Chile, IV Región	3.716
Dos Amigos	Chile, III Región	2.206
Los Bronces	Chile, V Región	2.075
Chuquicamata, sulfuros de baja ley	Chile, II Región	2.069
Cerro Dominador	Chile, II Región	1.251
Caraibas	Brasil	765
El Soldado	Chile, IV Región	620
El Teniente	Chile, VI Región	258
Zaldívar	Chile, II Región	248
Compañía Minera Pudahuel	Chile, Metropolitana	244
Emin	Chile, II Región	229
Ray Rock		197
Escondida Coloso	Chile, II Región	190
Lomas Bayas	Chile, II Región	95
El Salvador	Chile, II Región	46
	<b>TOTAL</b>	<b>351.947</b>

**Tabla 2.2:** Evolución en el Tiempo de la Producción y Comercialización de Ánodos de Inppamet Ltda. (Periodo 1994-2000).

<b>Año</b>	<b>Cantidad Ánodos [unidades]</b>	<b>Tipo Dato</b>
1994	4.841	Real
1995	59.159	Real
1996	58.348	Real
1997	82.760	Real
1998	52.412	Real
1999	24.427	Real
2000	70.000	Proyección
<b>TOTAL</b>	<b>351.947</b>	

Cabe destacar que entre los años 1994 al 2011, la compañía ha logrado producir unos 989.000 ánodos de Pb-Ca-Sn. La producción del año 2000 alcanzó la cifra de 67.170 unidades y el año record de producción fue el 2007 con unas 86.000 unidades.

## **2.5 Visión de Futuro a Largo Plazo (año 2000 en adelante)**

Inppamet Ltda. ha logrado desarrollarse dentro del difícil mercado minero nacional desde 1982 a la fecha, sin embargo la dirección de la empresa ve en el futuro grandes desafíos y oportunidades a enfrentar; de cuyo resultado dependerá la permanencia en el largo plazo y el nivel de éxito comercial de este proyecto.

En el mercado de los ánodos se espera para los próximos 3 años que solamente se de inicio a la construcción de un número limitado de proyectos, en particular los proyectos Gaby y Spence, lo cual aumentaría el inventario de ánodos en la región en aproximadamente unas 60.000 unidades. Después de estos proyectos no se vislumbran en los próximos 5 años nuevas oportunidades de este tipo de negocios.

Ante este escenario, Inppamet, ha decidido centrar su interés en desarrollar principalmente el negocio de la reposición de ánodos que van cumpliendo su vida útil o que es necesario que sean reemplazados debido a deterioros mecánicos sufridos durante la operación. Este negocio, que hasta la fecha ha sido de considerable menor magnitud que la fabricación de ánodos para nuevos proyectos, se espera que viva una fuerte revitalización en los próximos años dado que muchos de los proyectos están ya alcanzando los 5 años de operación (El Abra, Radomiro Tomic, Santa Bárbara, Cerro Verde, Ripios de Chuquicamata, etc.), periodo que se asocia a la vida útil de un ánodo en condiciones de operación normales. Por lo tanto, se espera que la demanda de

ánodos para reposición aumente en forma significativa, reemplazando una parte importante de la demanda por ánodos para proyectos nuevos enfrentada hasta la fecha.

Este cambio del modelo de negocios para la empresa, también promueve el suministro de servicios relacionados con el manejo y gestión de inventarios de ánodos para asegurar nuevas formas de ingresos. Además, los servicios tienen una importancia estratégica en el sentido de permitir que cada vez se entregue un servicio más integral a los clientes, lo cual está en línea con los planes estratégicos de operaciones de muchas de las grandes mineras que son clientes de Inppamet Ltda.

Con respecto al negocio de los ánodos, se vislumbra una tendencia futura al aumento en cuanto a las exigencias operacionales en calidad, medio ambiente y prevención de riesgos de los clientes. Esta situación ha generado que la empresa deba tomar conciencia de la importancia creciente de estos factores productivos y tenga dentro de sus prioridades el elevar sus estándares de producción. El desarrollo de estos factores productivos se ve reflejado en el objetivo de lograr concretar proyectos que actualmente están en desarrollo, tales como: certificación de calidad ISO 9000, múltiples mejoras para el control de la influencia de la empresa en los principales factores medioambientales, así como también la adaptación constante a los nuevos estándares exigidos por las autoridades y los clientes en cuanto a medio ambiente y prevención de riesgos.

Otro negocio que la empresa tiene interés de seguir desarrollando (ya lleva 3 años en el desarrollo del mercado para este nuevo producto) es el de la fabricación y reposición de los cátodos utilizados también dentro del proceso de electro-obtención. En este mercado, Inppamet Ltda. enfrenta una competencia de un mayor número de empresas que en el caso de los ánodos. Sin embargo, las ventajas competitivas de Inppamet Ltda. en cuanto a cercanía geográfica, calidad de sus productos, constante innovación tecnológica y otras hacen que el negocio de los cátodos se encuentre en constante desarrollo y se espera que en el futuro tome una importancia relativa cada vez mayor dentro de los productos que comercializa la empresa.

En el ámbito de nuevas tecnologías, la compañía aprecia que la minería y muy especialmente la minería del cobre, está empeñada desde hace años en masificar la electro obtención de cobre, tratando de lixiviar tanto los minerales oxidados como los sulfurados. Hoy en día los minerales sulfurados se procesan por la vía piro metalúrgica, siendo este proceso caro y contaminante en comparación con la lixiviación. Por ello el desafío científico de hoy es perfeccionar la lixiviación de minerales sulfurados para implementarla a nivel industrial. Conjuntamente con este desarrollo, que permitiría por lo menos cuadruplicar el inventario de ánodos a nivel mundial, se están desarrollando nuevas tecnologías para la fabricación de ánodos insolubles como alternativa a los de Pb masivamente usados hoy en día.

Esta nueva generación de ánodos, que básicamente son fabricados mediante una rejilla de Titanio revestida en Iridio-Tantalio, presenta enormes ventajas sobre los tradicionales de plomo, tienen un consumo energético del orden de un 15% inferior y no producen contaminación por plomo. Actualmente la compañía está incursionando en el desarrollo y comercialización de estos ánodos.

Al respecto cabe destacar que en 1972 Beer obtuvo la patente de los llamados ánodos MMO (Mixed Metal Oxide Anodes ) o dimensionalmente estables (DSA por sus siglas en inglés), inicialmente dedicados a la industria del cloro, los que representan unos de los desarrollos más notables de la electroquímica moderna pues poseen una larga vida útil y no reducen sus dimensiones con el paso del tiempo. Básicamente estos ánodos se configuran con un soporte o estructura de Titanio y un recubrimiento de óxidos metálicos de gran resistencia a la corrosión.

De esta forma, Inppamet Ltda. tiene gran confianza en sus capacidades para seguir manteniendo y desarrollando, en el largo plazo, los negocios en que hasta la fecha ha participado. Además del desarrollo de una serie de nuevos negocios relacionados que se identifican con potencial y atractivo para la empresa.

### **3 El diseño del Negocio**

En esta sección se revisa la aproximación metodológica empleada para desarrollar el negocio sobre la base de las siguientes componentes estratégicas: Los clientes, los proveedores de la industria y el mix de productos & servicios componentes de la oferta de Inppamet Ltda.

Como se mostró previamente la oportunidad de negocio aparece por un cambio tecnológico para la producción de cobre refinado en Chile, propiciado por la cuprífera estatal Codelco Chile. Las alternativas tecnológicas del inicio eran muy estrechas ya que en la década del 80 los ánodos para todas las operaciones electroquímicas se desarrollaban a partir de Pb y aleaciones como: Pb-Sb, Pb-Sr-Sn y Pb-Ca-Sn. La selección final de la aleación estuvo determinada por el compromiso entre la contaminación residual del cobre con Pb, la resistencia a la corrosión del ánodo, que determina la vida del producto, y las propiedades mecánico- estructurales del producto,

necesarias para una adecuada manipulación. Las aleaciones de Pb que desarrollan mejor este compromiso son las de Pb-C-Sn.

### **3.1 Los Clientes**

El mercado objetivo de Inppamet Ltda. comprende la industria minera latinoamericana, principalmente a los países de Chile, Perú y Argentina. En menor proporción se considera el mercado brasileño como una alternativa latente de negocios futuros. En este mercado los principales clientes corresponden a las grandes empresas mineras de Chile y Perú. En forma creciente algunas empresas mineras medianas han ido instalando procesos de electro-obtención en sus faenas, transformándose de esta forma en clientes de Inppamet Ltda.

El mercado objetivo de Inppamet Ltda. presenta una serie de particularidades, las cuales determinan el tipo de relación comercial que la empresa debe establecer con sus clientes. Estas particularidades se discuten a continuación.

#### **3.1.1 Tamaño de los Clientes**

Los clientes de Inppamet están divididos por tamaño en dos segmentos principales: las grandes mineras y las mineras medianas.

- i. El mercado de las grandes mineras (principalmente de Chile y Perú) representa el 70% de las ventas de Inppamet Ltda., demostrando de esta forma su gran importancia relativa en términos comerciales de este segmento para la empresa. Este mercado está compuesto por diferentes empresas mineras (faenas), cada una de las cuales corresponden a unidades de negocios específicas de grandes corporaciones internacionales, tales como: Codelco, Phelps Dodge, BHP, Outokumpu, Anaconda, etc. Dependiendo de las políticas internas de cada corporación, los negocios deben ser tratados en forma centralizada o descentralizada, siendo más habitual que cada unidad de negocios (faena minera) realice sus propios negocios. Sin embargo, entre las faenas es común un alto intercambio de información en cuanto a precio, calidad y cumplimiento de plazos de entrega. Por lo tanto, la mantención en el tiempo de precios competitivos y un alto prestigio en la industria pasan a ser factores determinantes en el éxito comercial de la empresa.
- ii. El mercado de las mineras medianas ha ido tomando cada vez mayor relevancia para Inppamet Ltda. Esto principalmente debido a que en la medida que la tecnología de electro-obtención se ha ido difundiendo y perfeccionando en la industria, las empresas mineras medianas han ido accediendo a este tipo de

procesos. Los requerimientos que tienen estas empresas son considerablemente menores en volumen a los presentados por las grandes empresas mineras, sin embargo, presentan un importante atractivo estratégico y comercial debido a la capacidad que tienen de participar en desarrollos tecnológicos. Esto le da al mercado una señal de que Inppamet Ltda. se encuentra presente en faenas con un amplio rango de capacidades productivas. Este segmento de mercado también ha aportado un volumen relevante de transacciones comerciales para la empresa, en los periodos en los cuales las grandes mineras no han tenido proyectos en construcción.

### **3.1.2 Distribución Geográfica de los Clientes**

Los clientes actuales presentan una amplia distribución geográfica, la cual se extiende desde la Séptima Región en Chile hasta la región sur de Perú. Sin embargo, el mercado potencial debe extenderse también a la región central de Perú, la región Andina Norte de Argentina y parte de Brasil. Este mercado potencial varía constantemente dependiendo de la dinámica de descubrimiento de nuevos yacimientos de cobre que sean rentables en su operación.

A pesar de la amplia distribución geográfica de los clientes, es importante destacar que la mayor concentración de proyectos mineros en los cuales se aplica el proceso de SX-EW a nivel mundial, está situada en la Segunda Región y la parte sur de la Primera Región de Chile, ver figuras 3.1 y 3.2. Esta situación ha pasado a constituir para Inppamet Ltda. una importante ventaja competitiva, dado que tiene instalada su planta productiva en el centro geográfico aproximado de los clientes, el cual corresponde a la ciudad de Calama, Segunda Región de Chile.



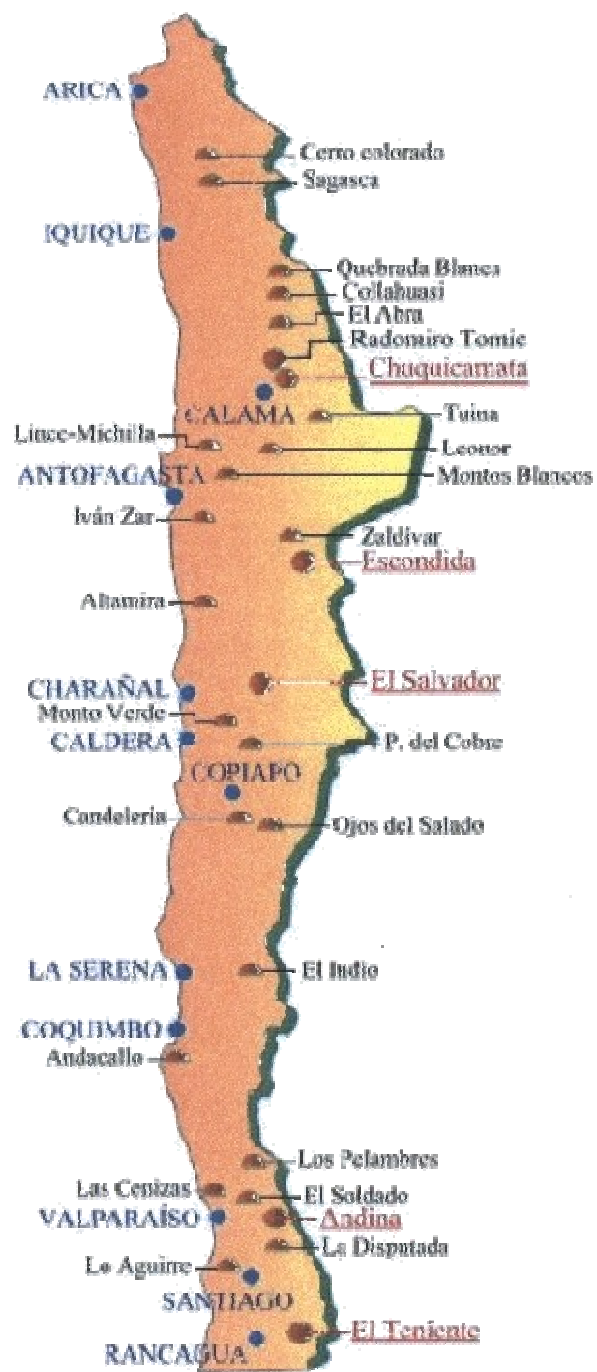


Figura 3.1: Principales proyectos mineros en Chile.

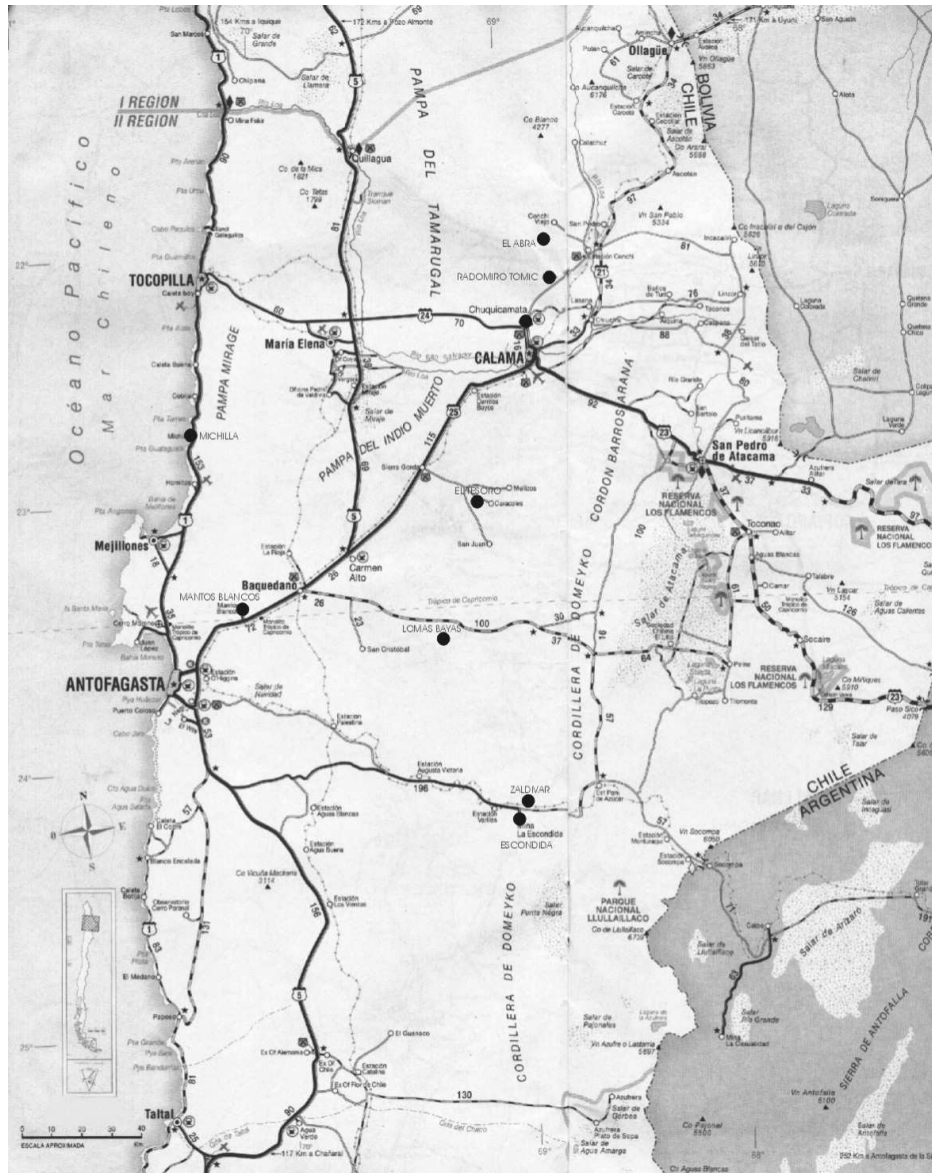


Figura 3.2: Principales proyectos mineros en la II Región de Chile.

### 3.1.3 Características Internas Relevantes de los Clientes

Dentro de su estructura organizacional interna las empresas mineras tienen dos áreas funcionales que son relevantes para el proceso de negocios de Inppamet Ltda., éstas corresponden al área de operaciones de la planta de electro-obtención y al área de abastecimientos:

- i. El área de operaciones de la planta de electro-obtención es la responsable técnica del proceso de electro-obtención, por lo tanto, esta área es la generadora

de las necesidades asociadas a los volúmenes de consumo de ánodos para proyectos y para reposición de ánodos que son dados de baja, como también el consumo de servicios relacionados a los ánodos que el cliente tenga interés de subcontratar. Dado que esta área es la que opera los ánodos, en ella se realizan los análisis técnicos del rendimiento que obtienen los ánodos durante la operación. Las mineras, constantemente están realizando optimizaciones a su proceso productivo, que en muchas ocasiones llevan asociadas modificaciones a los ánodos.

- ii. El área de abastecimientos es, en general, la encargada de establecer la relación en términos comerciales con el proveedor (en este caso Inppamet Ltda.), debiendo llevar a cabo las licitaciones, establecer los contratos de compra de ánodos y/o servicio relacionados a estos productos, coordinar y autorizar los pagos, etc.

Dadas las funciones antes relatadas, es necesario que Inppamet Ltda. mantenga un estrecho contacto con ambas áreas funcionales en paralelo para cada cliente.

### **3.1.4 Tipo de Relación Comercial**

La relación comercial parte con la participación en una licitación o negociación directa por la compra de los ánodos y/o servicios. En las licitaciones, el cliente entrega a los participantes unas bases de licitación (bases comerciales, técnicas y administrativas), las cuales definen los productos y las condiciones comerciales bajo las cuales el cliente quiere realizar la compra. Posteriormente los potenciales proveedores presentan sus ofertas, las cuales son evaluadas en términos técnicos y comerciales, siendo adjudica la licitación al proveedor que presente la mejor evaluación general. El proveedor adjudicado debe establecer un contrato comercial con el cliente y posteriormente se establece una relación de administración del contrato en la cual se tratan aspectos tales como: cumplimiento de los plazos y especificaciones técnicas de los productos, el pago al proveedor por los ánodos y/o servicios suministrados, etc. Un aspecto relevante en esta relación comercial es la existencia de muy pocos representantes de los clientes en cada empresa, lo cual sumado a que los clientes son pocos genera un mercado, que aunque es de gran magnitud en términos de facturación, es muy pequeño en términos de participantes.

## **3.2 Los Proveedores en la Industria Minera**

Existe una gran batería de proveedores de la industria minera, sin embargo para lograr una visión general del mercado, es necesario realizar una segmentación según su tamaño, tipo de servicios y productos que proveen.

En el caso de los productos existen grandes proveedores de equipos mineros, que en general son parte de corporaciones internacionales, los cuales en algunos casos llegan a ser comparables en tamaño a las empresas mineras que son sus clientes. También existen una serie de proveedores de menor tamaño que las empresas mineras, los cuales se encargan de suministros generalmente asociados a consumibles en el proceso productivo.

En el caso de servicios, que en la gran mayoría de los casos son intensivos en mano de obra, los proveedores son pequeños en comparación a las empresas mineras. Esto se debe principalmente a la necesidad de tener una cercanía geográfica con los clientes para abastecer de servicios, lo que genera el desarrollo de proveedores locales en cada región. Existen algunas excepciones, dado que algunos proveedores de servicios con mayor estandarización son de tamaño grande en términos relativos a las empresas mineras.

Inppamet Ltda. puede incluirse en el segmento de los proveedores de productos de tamaño medio y de servicios de tamaño pequeño. Esta posición en el mercado minero chileno determina en forma significativa las estrategias a seguir, siendo las principales: orientación a la innovación tecnológica conjunta con sus clientes, alta flexibilidad en cuanto a capacidades productivas para absorber las variaciones de demanda en el mercado (principalmente por la dependencia de los proyectos), continuo mejoramiento de la calidad del producto, focalizarse en aprovechar la cercanía geográfica con los clientes como una ventaja comparativa, definición de precios basada en la evaluación del costo de los recursos involucrados en el proceso de negocios, intensivo trabajo de post-venta con el fin de hacer sentir a los clientes la cercanía de la empresa, etc.

### **3.3 Los Productos y Servicios de Inppamet Ltda.**

#### **3.3.1 Venta de Ánodos**

La venta de ánodos para un proyecto en construcción representa el mayor volumen de negocio para Inppamet Ltda. y su demanda está determinada por la decisión de iniciar la explotación de los yacimientos de cobre que cada empresa posee. Esta decisión es altamente compleja, siendo algunos de los factores que intervienen: las estimaciones respecto del precio del cobre para la vida útil del yacimiento, la inversión inicial necesaria, los costos de explotación esperados, las leyes y volúmenes de mineral esperados, aspectos legales y políticos contingentes, etc.

La venta de ánodos para la reposición durante la operación representa un volumen menor de negocios para Inppamet Ltda. y su demanda está determinada por el volumen de ánodos que van siendo dados de baja en el proceso productivo. Los ánodos pueden ser dados de baja por múltiples motivos, siendo los principales: daños mecánicos por

errores de manipulación, desgaste de ciertos sectores de los ánodos por corrosión, deterioro de la unión soldada entre plancha y barra, pérdida de las propiedades mecánicas de las barras de cobre por excesos de corriente eléctrica, etc.

### **3.3.2 Venta de Servicios**

En paralelo a los casos anteriores se realiza la venta de servicios relacionados a los ánodos, los cuales representan una proporción muy baja dentro de la facturación de Inppamet Ltda., sin embargo son necesarios en términos estratégicos para proporcionar al cliente un servicio integral considerando el ciclo de adquisición y explotación de los ánodos.

Los principales servicios comercializados por Inppamet Ltda. son los siguientes:

- Verticalización de ánodos (verificación y corrección de planitud de la plancha de Pb-Ca-Sn).
- Rigidizado de ánodos (estampado que mejora la resistencia mecánica del ánodo a través de un nervio longitudinal).
- Asesoría técnica.
- Revisión de las condiciones de operación de los ánodos en las plantas de electro-obtención.
- Instalación de ánodos en celdas.
- Reciclaje de materiales componentes de los ánodos.
- Mantenimiento de cátodos en cuanto a verticalizado, pulido y reparación de soldaduras.

### **3.3.3 Descripción Técnica de Ánodos**

#### **3.3.3.a Aspectos Generales**

Los primeros ánodos utilizados para la obtención de cobre, fueron fundidos con aleaciones de Pb-Sb. Sin embargo, estos ánodos fueron siendo descartados por la alta tasa de corrosión que presentaban, fenómeno que encontraba sus causas principales en el proceso de colada mismo. En efecto, durante la solidificación se genera una gran cantidad de poros internos localizados, los cuales al ser alcanzados por la solución

utilizada en las tinajas de Electro-obtención de cobre, se corroen con una velocidad mayor que el resto del ánodo. Este grave problema fue corregido con los ánodos laminados, ya que la plancha se obtiene de un bloque sólido y sin poros.

En efecto, los ánodos tienen un espesor variable que va entre 6 y 9 mm, siendo su cara principal un cuadrado de 1.000 mm de arista. Fabricar un ánodo fundido de estas dimensiones es una operación altamente compleja, considerando las dificultades que se tienen durante el vaciado al molde, el rápido enfriamiento del ánodo y los defectos de fundición, como macro y micro poros. La rápida solidificación en el molde produce diferencias en el tamaño de los granos entre los que solidifican en contacto con el molde y los que solidifican en el centro del ánodo. Se producen granos de tamaño generalmente grande, lo que trae como consecuencia tasas de corrosión mayores que en estructuras con granos más finos. Por otro lado, la producción de ánodos laminados considera comenzar con un ánodo fundido de largo y ancho similar al ánodo descrito, pero con un espesor mayor (250 mm), logrando con ello un tiempo de enfriamiento lo suficientemente grande para que solidifique sin atrapar gases, evitando la formación de macro y micro poros. Posteriormente con la laminación se produce la reducción del tamaño de grano y su orientación en el sentido de la laminación, reduciendo con esto considerablemente la tasa de corrosión.

Para lograr la producción de ánodos laminados, se inició el desarrollo tecnológico del proceso productivo en el cual se debieron resolver dos problemas: la tecnología de laminación de una aleación de plomo y el método de unión de la plancha a la barra conductora (barra de Cu).

Los ánodos laminados tienen en general un buen comportamiento en los procesos de SX-EW cuando sus condiciones de trabajo son normales, dando lugar a contenidos de plomo en los cátodos de no más de 5 ppm, lo cual es aceptado como un buen estándar dentro la industria. En las figuras 3.3 y 3.4 muestran respectivamente el diseño general de un ánodo de Pb laminado y el aspecto típico de un ánodo producido por Innpamet Ltda.

En relación a la tecnología SX EW, donde están inmersos los ánodos de Pb, se destacan los siguientes aspectos:

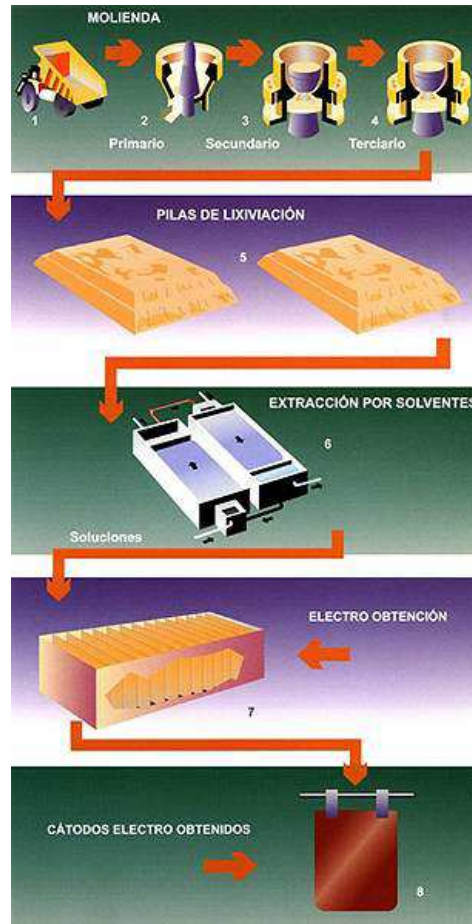
#### **3.3.3.a.1 Tecnología SX-EW**

La electro obtención (EW) de cobre es un proceso electro químico utilizado para recuperar cobre en forma sólida a partir de una solución rica en iones de cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) que genera como producto cátodos de cobre de alrededor de 99,99% de pureza. Una de sus principales características es que, comparada con la fundición de concentrados, es un proceso mucho menos contaminante.

El mineral proveniente de la mina es chancado para obtener una granulometría de ½” como tamaño máximo. Este permite exponer los minerales oxidados al ataque de la solución ácida. El material chancado es transportado y apilado en un sector amplio y plano, donde se forma un terraplén de entre 6 y 8 m de altura llamado pila de lixiviación sobre una carpeta impermeable que dispone de un sistema de tuberías que permite canalizar y acopiar las soluciones. En el trayecto hacia la pila el material es sometido a una primera irrigación con solución de agua y ácido sulfúrico, conocida como proceso de curado, de manera de iniciar ya en el camino el proceso de lixiviación, ver (Figura 3.3).

Mediante un sistema de riego por goteo y aspersores se vierte una solución de agua y ácido sulfúrico en la superficie de la pila. Esta solución se infiltra hasta la base de la pila, disolviendo el cobre que se encuentra en los minerales oxidados y formando una solución de sulfato de cobre llamada pregnant leaching solution (PLS). El riego de las pilas se mantiene por un período variable, de entre 45 a 100 días, dependiendo del tiempo requerido para agotar el cobre lixiviable casi de manera total. El material restante o ripio es transportado a botaderos, donde existe la posibilidad de iniciar un segundo proceso de lixiviación para recuperar más cobre soluble.

La PLS pasa posteriormente al proceso denominado extracción por solventes (SX). El objetivo de esta etapa es liberar de impurezas la PLS mediante una extracción iónica, con lo que la concentración de cobre aumenta. Ésta consiste en mezclar la PLS con una solución de parafina y resina orgánica, generalmente llamada orgánico. La resina de esta solución captura los iones de cobre  $\text{Cu}^{2+}$  en forma selectiva, generándose por un lado un complejo resina-cobre y por otro una solución empobrecida en cobre que se denomina refino, que puede ser reutilizada en el proceso de lixiviación.

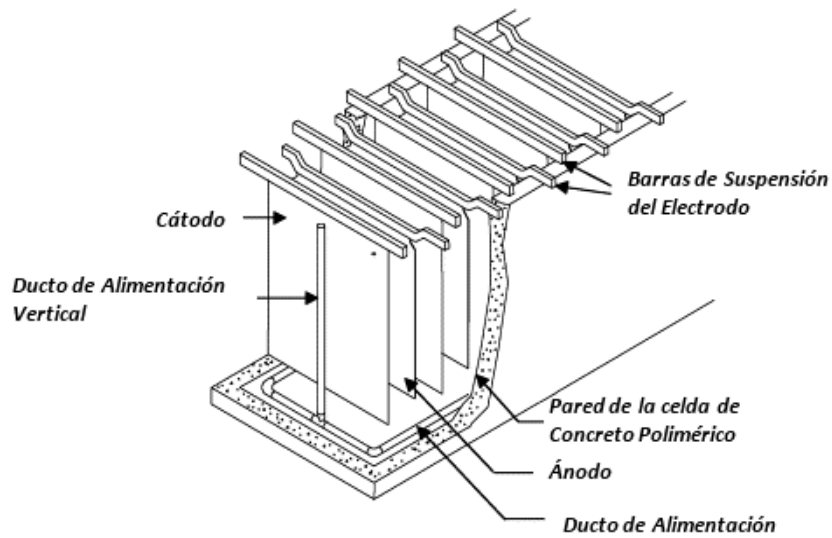


**Figura 3.3:** Proceso de Lixiviación (LX), extracción por solventes (SX) y electro obtención (EW) de cobre.

El compuesto de resina-cobre es tratado en forma independiente con una solución electrolítica rica en ácido, que provoca la descarga del cobre desde la resina hacia el electrolito, elevando la concentración del cobre en esta solución hasta llegar a valores cercanos a 45 g/l. Esta solución puede pasar por diversas etapas de lavado y filtrado, de modo que llega a la etapa de electro obtención con la menor cantidad posible de impurezas (arrastre de orgánico, polvo, etc.).

El proceso de EW consiste en disminuir la concentración de cobre en el electrolito y se lleva a cabo en estanques rectangulares de concreto polimérico llamados celdas, en cuyo interior se disponen placas metálicas sumergidas en una solución ácida (Figura 3.4). Estas placas corresponden, alternadamente, a cátodo y ánodo de aproximadamente 1 m<sup>2</sup> de superficie por lado. La distancia entre ánodo y cátodo, que normalmente fluctúa alrededor de 45 mm, se define de tal modo de disminuir al máximo la caída de tensión que se produce por la resistencia del electrolito, pero manteniendo una distancia suficiente para evitar cortocircuitos (Figura 3.5).





**Figura 3.4:** Vista interior de una celda de electro obtención.

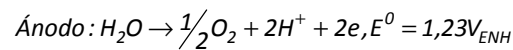
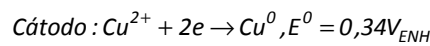


**Figura 3.5:** Celdas de electro-obtención. izq: celda vacía donde se observa el ducto de alimentación; der: celda cargada con cátodos y ánodos para la electro obtención de cobre.

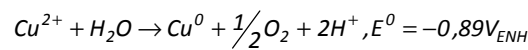
En la electro obtención convencional de cobre una corriente continua de muy baja intensidad circula entre ánodo y cátodo a través de la solución ácida de sulfato de cobre proveniente comúnmente del procesamiento de minerales oxidados de cobre. En el circuito formado los ánodos hacen las veces de polo positivo, mientras que los cátodos actúan como polos negativos. El cobre en solución (catión  $\text{Cu}^{+2}$ ) es atraído por el polo negativo (cátodos), migra hacia éstos y se deposita partícula por partícula en la

superficie del cátodo en forma metálica como  $\text{Cu}^0$ . El agua de la solución se descompone sobre el ánodo dando lugar a desprendimiento de oxígeno, ver Figura 3.6.

Las reacciones fundamentales que ocurren en un proceso de electro obtención son:



Siendo el cambio global:



Donde:  $E^0$ : Potencial Estándar.

$V_{\text{ENH}}$ : Tensión media con respecto a Electrodo Normal Hidrógeno (ENH).

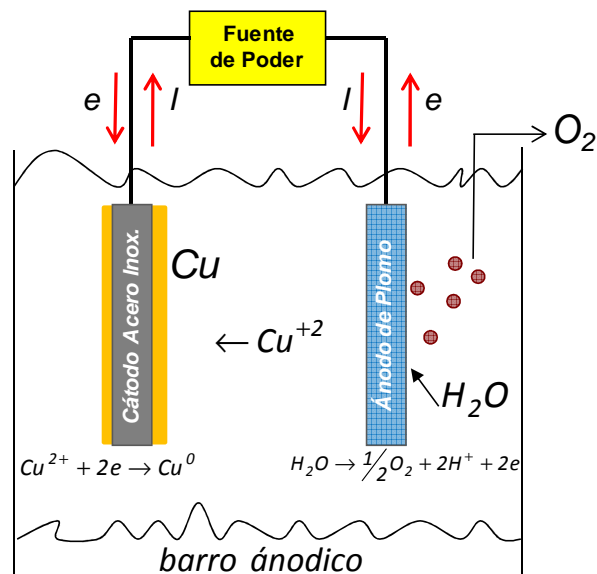


Figura 3.6: Celda de Electrólisis.

Este proceso dura de 6 a 7 días, plazo en el que se ha depositado cobre de alta pureza en ambas caras del cátodo con un espesor de 3 a 4 cm, lo que proporciona un peso total de 40 kg por cátodo. Se retiran y son lavados con agua caliente para remover

posibles impurezas de su superficie (Figura 3.7), para luego ser llevados a la máquina despegadora, donde en forma automática se separan las hojas de depósito de ambas caras (Figura 3.8). Con esto, el cátodo está listo para ser utilizado en un nuevo ciclo de depósito de cobre.



**Figura 3.7:** Lavado de los cátodos al ser sacados de las celdas de electro obtención.



**Figura 3.8:** Desplegado de los cátodos de cobre.

Además de reducir la velocidad de corrosión, el estaño tiene varias otras propiedades beneficiosas para los ánodos laminados de Pb-Ca-Sn. Durante la solidificación del billet antes del laminado del ánodo, el estaño segrega dentro del material. Esta segregación de estaño se mantiene durante la laminación, creando capas de material rico en estaño paralelas a la superficie del ánodo. Estas capas ricas en estaño aportan importantes beneficios, como mantener una estructura de grano fino paralela a la superficie que evita que la corrosión penetre en el ánodo.

En la actualidad, la gran mayoría de las operaciones utiliza cátodos permanentes de acero inoxidable, en detrimento de las láminas iniciales de cobre usadas hasta hace

unos años. Por otra parte, los ánodos están compuestos de una aleación de plomo, calcio y estaño. Cuando el ánodo es solamente de plomo, se produce la corrosión directa de éste debido a la emisión del oxígeno desde el ánodo, mediante la formación de  $PbO$ ,  $PbSO_4$ , sulfatos complejos,  $\beta PbO_2$ , y  $\alpha PbO_2$  en su superficie. Por esta razón se utiliza para el ánodo una aleación de plomo, calcio y estaño, obteniendo propiedades únicas en esta aleación: el calcio proporciona resistencia mecánica al ánodo para prevenir la deformación mientras que el estaño aporta a la resistencia mecánica, reduce la velocidad de corrosión, impide la formación de capas no conductoras sobre la superficie del ánodo y mejora drásticamente la conductividad del ánodo. El estaño es también fundamental en el desarrollo de la estructura única de laminado del ánodo que conduce a reducir las tasas de corrosión, aumento de la vida útil del ánodo y mejora la evolución del oxígeno durante la electro obtención.

La presencia del ánodo y del cátodo permiten la ocurrencia de dos reacciones: una catódica y otra anódica; La reacción catódica produce deposición del cobre en la lámina de acero inoxidable, mientras que la reacción anódica produce electrólisis del agua, con la consiguiente generación de protones y oxígeno gaseoso.

La EW tiene como meta producir cátodos de cobre no sólo de una alta pureza, sino que también interesa su aspecto físico. Uno de los aspectos que influye en la calidad química del cátodo es el arrastre de orgánico desde la SX, teniendo la contaminación de éstos por Pb proveniente de los ánodos una importancia trascendental. La liberación de Pb desde el ánodo hacia el electrólito se produce cuando el ánodo comienza a perder la capa de óxidos de Pb ( $PbO_2$ , principalmente) que lo protege, y éste fenómeno sucede cuando acontecen cortes de energía eléctrica en la planta de EW, así como también cuando la concentración de  $MnO_2$  es la suficiente para desplazar al  $PbO_2$  de la superficie del ánodo.

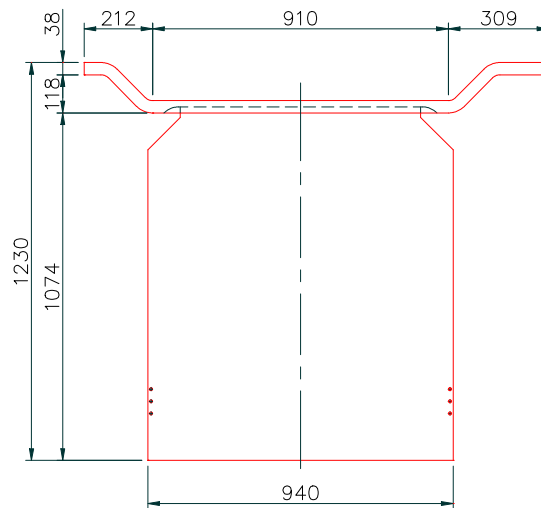
### **3.3.3.b Configuración general de los ánodos de Pb-Ca-Sn y desempeño del producto**

La Figura 3.9 y la Figura 3.10 muestran la configuración general y el aspecto de los ánodos Pb-Ca-Sn que produce Inppamet Ltda. En algunos ánodos laminados todavía se mantiene la posibilidad de que presenten deformaciones mecánicas durante el uso, especialmente los de reducidos espesores (inferior a 8 mm). Este fenómeno se debe a que el ánodo presenta tensiones mecánicas internas (introducidas en el material durante la laminación) antes de ser colocado en las celdas, lo que junto a la relativamente elevada temperatura en las celdas genera que las tensiones tiendan a liberarse causando la deformación del ánodo.

Los ánodos laminados también pueden presentar problemas de corrosión debido a condiciones de operación. Dado que los contactos eléctricos entre la barra triangular y el ánodo no son iguales, las corrientes anódicas en las caras opuestas de un mismo

ánodo tampoco lo son y, por lo tanto, la corrosión es distinta. Puesto que la corrosión del ánodo produce el compuesto  $PbO_2$  (óxido de plomo), que tiene una menor densidad que el plomo, existe un aumento de volumen asociado a la superficie de una de las caras. Si este aumento de volumen es diferente en ellas, se genera una tensión que tiende a flectar el ánodo. Este fenómeno se ve agravado si por un efecto de pasivación, se produce sulfato de plomo en lugar de óxido de plomo.

Ambos efectos se evitan generalmente si los ánodos son manejados adecuadamente y se mantienen suficientemente limpios los contactos. Otro factor que ayuda a mantener una corrosión homogénea, es mantener un nivel controlado de elementos indeseables y añadir entre 50 y 100 ppm de cobalto al electrolito.



**Figura 3.9:** Plano de un ánodo típico. Las dimensiones varían según el proyecto minero.



**Figura 3.10:** Ánodo terminado, esperando ser entregado al cliente.

## **4 El Proceso de Manufactura de Ánodos Laminados de Inppamet Ltda.**

### **4.1 El Proceso de Manufactura**

#### **4.1.1 Descripción General**

Un ánodo básicamente está constituido por una barra de cobre unida a una placa de plomo insoluble. El proceso de manufactura de ánodos de plomo insoluble comprende de las siguientes etapas principales:

- Fundición de aleación para la plancha de plomo.
- Laminación de planchas.
- Preparación de barras de Cu.

- Dimensionado de planchas.
- Armado de ánodos.
- Electro deposición de plomo (en unión barra cobre - plancha de Pb-Ca-Sn).
- Verticalizado y embalaje.

El proceso de manufactura de ánodos insolubles de aleación Pb-Ca-Sn, comienza con la carga en la olla de estos productos, en las proporciones adecuadas. Una vez verificado que se han alcanzado los valores requeridos para la aleación, se cuela el molde que permite obtener el tocho para laminación.

La laminación se realiza en dos etapas, en una primera el tocho se lamina en caliente; hasta llegar a un espesor de entre 18 a 24 mm, en esta etapa el tocho ha adquirido un largo aproximado de 6 a 8 m. La segunda etapa corresponde a laminación en frío a una temperatura no superior a 60 °C, reduciéndose el espesor de la plancha en forma consecutiva hasta alcanzar el espesor final según los requerimientos del cliente.

Una vez alcanzado el espesor, se procede a cortar el material laminado con una sobre medida. De esta forma el material queda en stock apto para cualquier proyecto que lo requiera y que corresponda al espesor final obtenido.

Una vez definido el proyecto en el cual se utilizarán las planchas laminadas, éstas son dimensionadas según el requerimiento del ánodo a armar, quedando en condiciones de ser unida a la barra de cobre, la cual fue previamente ranurada y curvada, si corresponde.

Una vez que estos dos elementos son unidos, el ánodo armado pasa a la etapa de recubrimiento electrolítico, luego de lo cual se encuentra finalizado restando las etapas de verticalizado, embalaje y finalmente despacho.

#### **4.1.2 Capacidad del Proceso**

Fundición: para la fundición y preparación de la aleación, se disponen de dos ollas con una capacidad de 52 toneladas cada una.

La preparación de la aleación en las ollas se produce en forma alternada, de forma que siempre se encuentre una olla en preparación de la aleación, mientras la otra está alimentando el proceso de laminación.

Cada olla puede alimentar al proceso de laminación por un período de 14 a 16 horas, lo que equivale a más de un turno de trabajo.

Por otra parte la preparación de la otra olla comienza inmediatamente entregada la olla anterior al proceso productivo, iniciándose con el carguío de ésta y la adición de los otros componentes, este proceso dura de 12 a 14 horas, este ritmo permite mantener una alimentación continua al proceso de laminación, con la aleación adecuada.

Para la laminación, se cuenta con dos laminadores, uno para la laminación de los tochos en caliente y el segundo para la laminación en frío. Esto permite una producción de 500 a 600 planchas laminadas por olla, dependiendo del espesor de la plancha requerida para el proyecto.

Para el proceso de ranurado de barras de cobre, se cuenta con dos fresadoras, con una capacidad de 200 a 250 barras ranuradas por turno, esto permite disponer de suficiente cantidad de estas barras para abastecer al proceso de armado de ánodos.

En el armado de ánodos, se cuenta con cuatro mesas de trabajo, esto otorga a la planta una capacidad adecuada de ánodos armados listos para ser enviados a recubrimiento electrolítico. Para esta actividad se ha realizado una ampliación en la capacidad de tinas de electrodeposición, contando en estos momentos con una capacidad de 360 por cosecha las que tardan un período de 16 horas. Este valor varía dependiendo de los requerimientos especificados en cada proyecto. Es así como a mayor espesor, mayor es el tiempo de permanencia del ánodo en recubrimiento.

#### **4.1.3 Diagrama de Flujo del Proceso**

La Figura 4.1 muestra el diagrama de flujo de las operaciones productivas en Inppamet Ltda.



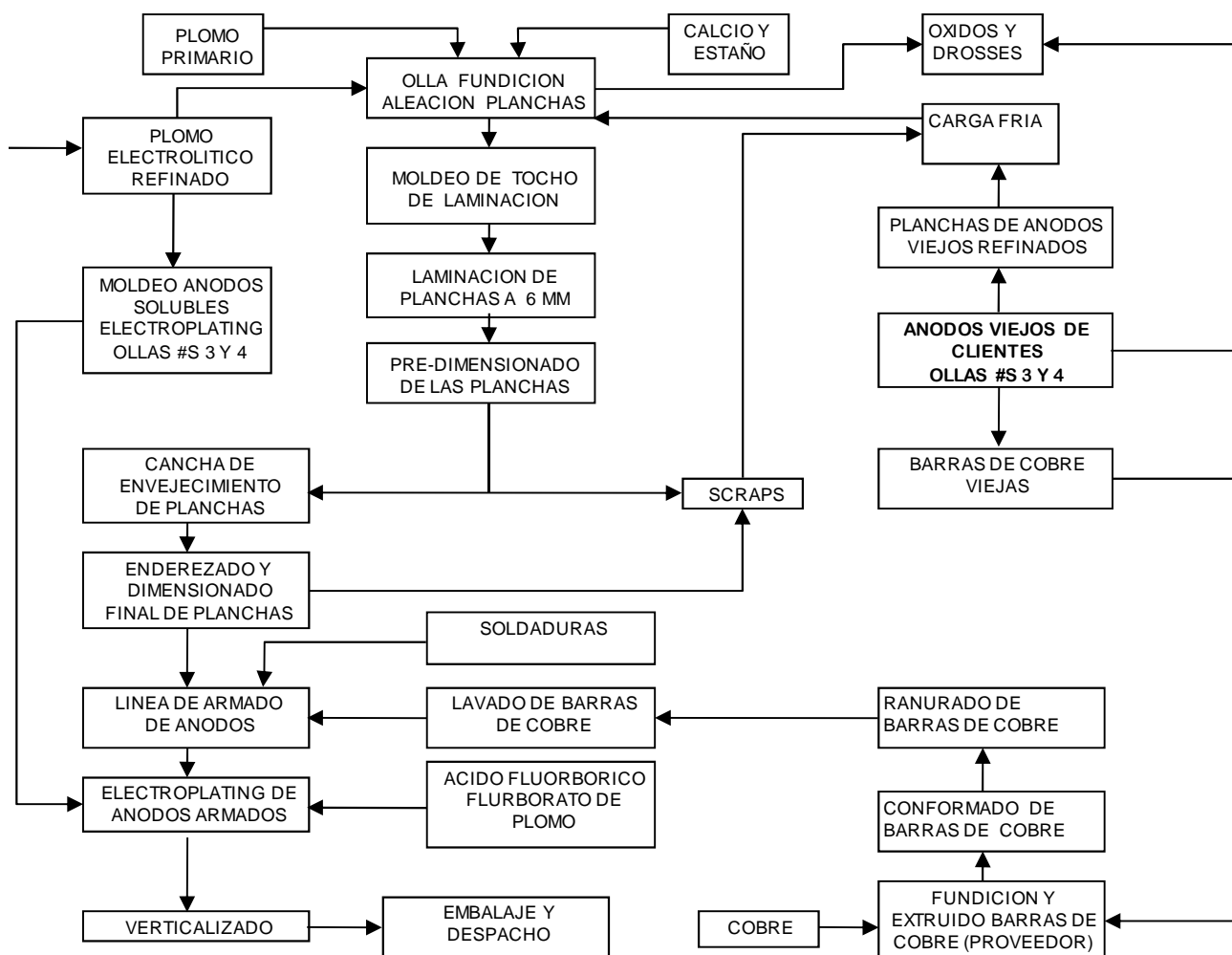


Figura 4.1: Diagrama de de flujo de producción de ánodos de Pb-Ca-Sn laminados.

## 4.2 Etapas del Proceso Productivo

A continuación se describen someramente los distintos procesos involucrados en la fabricación de ánodos insolubles de Pb-Ca-Sn (laminados).

### 4.2.1 Fundición de Plomo

Como materias primas para alimentar a la olla de fundición, se disponen de tres fuentes:

- Plomo nuevo de importación de un 99,9% de pureza, el cual es traído en su mayoría de Perú.
- Plomo obtenido de los recortes del proceso de dimensionado y de los ánodos rechazados que no se pueden reprocesar.
- Plomo obtenido del tratamiento de ánodos en desuso, los que son fundidos para la eliminación de los agentes contaminantes.

En la fabricación de los ánodos de plomo sobre la base de Pb-Ca-Sn se requiere que estos se encuentren en las siguientes proporciones: Ca 0,070%, Sn 1,5% y Pb balance. En todas las cargas de las ollas se registra la procedencia del plomo utilizado. Esto permite tener una idea de la cantidad necesaria de los otros elementos requeridos (Ca y Sn), para cumplir con la composición química.

Una vez cargada la olla con plomo y otros elementos, se eleva la temperatura hasta 570 °C. Con esto se busca principalmente la difusión del calcio en el caldo, manteniéndose esta temperatura por alrededor de 40 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se agita el caldo aproximadamente entre 30 a 40 minutos, con el objetivo de homogeneizar toda la mezcla.

Transcurridas estas dos operaciones se procede a tomar una muestra para verificar que el caldo fundido se encuentra dentro de los parámetros requeridos. Esta muestra es analizada por el Departamento de Control de Calidad de Inppamet Ltda. Al mismo tiempo, se comienza a descender la temperatura para mantenerla en el rango de 400-450 °C. Una vez recibida la confirmación por parte de Control de Calidad que la muestra posee la composición correcta, se autoriza su empleo en el proceso de laminación.

La figuras 4.2 y 4.3 muestran las ollas de fundición de aleación Pb-Ca-Sn descritas previamente.



**Figura 4.2:** Celda de fundición de aleación Pb-Ca-Sn para planchas.



**Figura 4.3:** Detalle interior olla de fundición de aleación para planchas.

#### **4.2.2 Laminación de Planchas**

La aleación o caldo fundido, una vez aprobada su composición, es vaciada a un molde, el cual tiene una capacidad que permite obtener alrededor de 8 a 10 planchas aproximadamente por cada tocho.

La aleación fundida debe ser vaciada en forma lenta sobre el molde para evitar que ésta salte y que se forme espuma, ya que ello podría ocasionar que queden burbujas de aire atrapadas al interior del tocho, generándose poros en la superficie. Las pocas burbujas que se forman son extraídas de la superficie aún líquida apenas se termina el llenado del tocho. Además, se retira el material adherido a los bordes del molde producto de un eventual sobre llenado.

Todo el proceso de llenado es controlado por una válvula, la cual es operada mediante un cilindro oleohidráulico.

El molde es refrigerado en su parte inferior para permitir una solidificación rápida. Una vez que la superficie del tocho se ha solidificado, se acelera el proceso de enfriamiento mediante la aplicación de una corriente de aire sobre la superficie sólida. Cuando la temperatura alcanza los 300 °C aproximadamente, se aplica una combinación de aire con agua a la superficie del tocho de plomo. Alcanzada una temperatura entre 270-280 °C, el tocho de plomo es retirado del molde y colocado sobre la mesa de laminación.

La laminación del tocho se lleva a cabo en dos etapas, primero una laminación en caliente y posteriormente una laminación en frío, las cuales se detallan a continuación.

#### **4.2.2.a Laminación en Caliente**

Una vez que el tocho es desmoldado este tiene un espesor de unos 120 mm, en esta etapa se vuelve a verificar la temperatura, esto es importante ya que si en la superficie la temperatura es muy alta, sobre 300 °C, puede ocurrir que en el interior aún no esté completamente solidificado. Lo anterior podría traer como consecuencia accidentes al momento de laminar el tocho o que éste presente defectos al disminuir su espesor.

Una vez verificado que la temperatura en diversos puntos de la superficie, tanto en su parte superior como inferior, se encuentra bajo 270 °C; se procede a su laminación. Para ello, a ambos lados de los rodillos laminadores se encuentran mesas con rodillos motorizados que permiten una alimentación en ambas direcciones de laminación, ver figuras 4.4 y 4.5.

Cada vez que el tocho pasa por los rodillos en forma completa hacia un lado, se reduce la distancia de los rodillos lo que produce una disminución del espesor de la plancha. Esta operación se repite hasta alcanzar unos 30 mm de espesor. Una vez alcanzado este valor, se revisa la superficie en busca de porosidades o deformaciones profundas. De no presentar defectos, la plancha se corta y queda en espera a ser laminada en frío.

#### **4.2.2.b Laminación en Frío**

Las planchas que terminaron su laminación en caliente y que se encuentran con un espesor de 30 mm aproximadamente, son trasladadas al laminador en frío, ver figura 4.6. En este punto la plancha debe tener una temperatura no superior a 60 °C durante todo el proceso. Esto permite una buena distribución de los granos, lo cual le confiere las características de dureza, a la plancha, que minimiza la flexión del ánodo en servicio.

La laminación en frío se lleva a cabo de igual forma que la laminación en caliente, es decir, los rodillos de laminación disponen de mesas motorizadas a ambos lados lo cual hace posible la alimentación de los rodillos en ambas direcciones.

Para controlar el espesor de la plancha de laminación, el rodillo superior se encuentra equipado con una regleta electrónica que indica, a través de un visor digital, la distancia desplazada por el rodillo.

Una vez que se ha alcanzado un valor próximo al requerido, cada pasada de la plancha por el laminador es controlada con un micrómetro hasta alcanzar el espesor final. Una vez finalizada la laminación, se verifica la superficie de la plancha en busca de deformaciones, ralladuras, poros o zonas con decoloración.

Los espesores típicos utilizados en la fabricación de ánodos corresponden a 6 y 9 mm.

Las planchas, de tamaño estándar, son almacenadas por un período de, a lo menos, 15 días. Este almacenaje corresponde al período de envejecimiento que deben tener las planchas para alcanzar la dureza especificada.

Las planchas de tamaño estándar son identificadas mediante la marcación del número de carga de la olla y el billet al cual corresponde dentro de la carga, con el fin de permitir la trazabilidad de las planchas producidas.

De cada carga de la olla se saca una muestra de plancha laminada, la cual es sometida a ensayos mecánicos de tracción, dureza y metalografía; junto con el análisis químico final.



**Figura 4.4:** Laminador en caliente.



**Figura 4.5:** Laminación en caliente.



**Figura 4.6:** Laminación en frío.

### **4.2.3 Conformado de las Planchas**

Una vez transcurridos los 15 días de envejecimiento y con los resultados aprobados de los distintos ensayos, la plancha de tamaño estándar es llevada a una prensa conformadora que está equipada con la matriz correspondiente al proyecto específico (ver figura 4.7).

La plancha es tomada mediante ventosas desde los racks de envejecimiento y es colocada sobre la matriz. Una vez realizado el corte, la plancha dimensionada es pasada por una roleadora (enderezador a rodillos), lo que permite enderezar la plancha devolviéndole la planitud que pueda haber perdido durante el proceso de dimensionado. Luego de ser enderezada, se eliminan los bordes agudos del lado de armado y cualquier rebaba que pueda haber quedado del corte.

Estas planchas dimensionadas son almacenadas en forma vertical, quedando en condiciones de ser llevadas a la zona de armado.

Los recortes de las planchas dimensionadas alimentan nuevamente la olla de fundición, permitiendo reciclar el 100% de este material.





**Figura 4.7:** Conformado de las planchas de Pb-Ca-Sn para un proyecto específico.

#### **4.2.4 Preparación de las barras de Cu**

Las barras de cobre tienen por finalidad ser un buen conductor de corriente, al momento que el ánodo se encuentre en operación en la nave EW. Por tal motivo, la barra de cobre debe cumplir los requerimientos establecidos en la norma ASTM B187-97<sup>2</sup>.

Las dimensiones de las barras varían de un proyecto a otro, pero mayoritariamente estas tienen las siguientes medidas:

19 x 40 x 1545 mm

Dentro de las características mecánicas y eléctricas que debe cumplir las barras, están las siguientes:

- Tipo de material: Cobre UNS 11000.

---

<sup>2</sup> ASTM B187 / B187M - 11 Standard Specification for Copper, Bus Bar, Rod, and Shapes and General Purpose Rod, Bar, and Shapes



- Resistencia mecánica (ksi 33 mínimo - 35 máximo).
- Elongación                            15% para una relación 4 a 1 largo/ diámetro.
- Test de doblado                    a 120 °C.
- Dureza                                    65 Rc F mínimo con bola de 1/16" – 60 kg.
- Resistividad eléctrica            0,15577  $\Omega/m^2$  máximo.

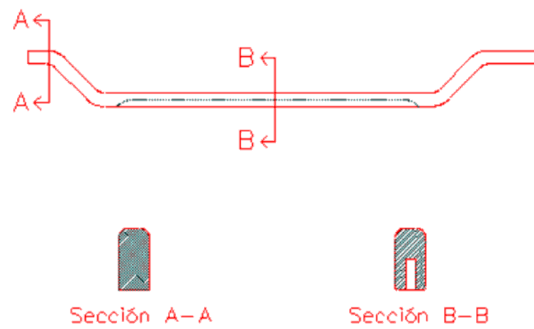
La información referente al método para realizar la medición de las características eléctricas de las barras de Cu se encuentra en la norma ASTM B193-02(2008)<sup>3</sup>.

Las barras de Cu son compradas a un proveedor nacional, el cual las produce mediante un proceso de extrusión y trefilación. La barra, ver figuras 4.8 y 4.9, una vez recepcionada conforme, por el Departamento de Control de Calidad, pasa a los siguientes procesos, ver figuras 4.10-4.12:

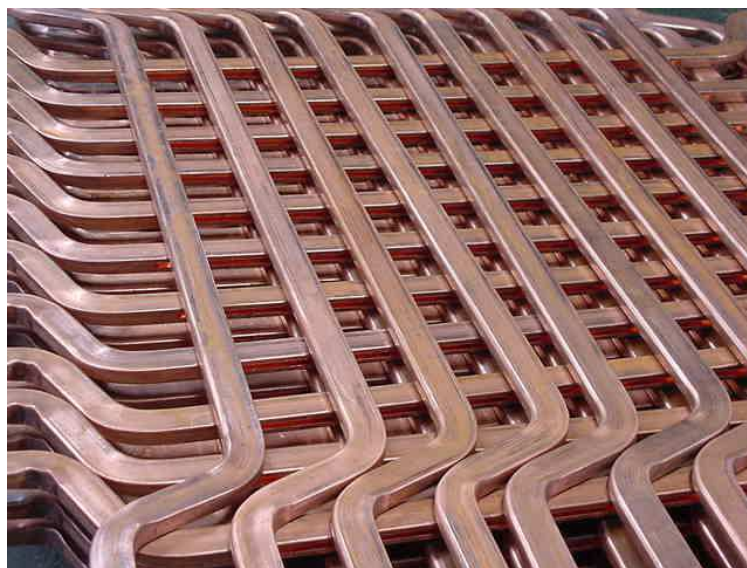
- Doblado.
- Ranurado.
- Lavado.

---

<sup>3</sup> ASTM B193 - 02(2008) Standard Test Method for Resistivity of Electrical Conductor Materials



**Figura 4.8:** Sección típica de una barra de Cu en ánodos laminados.



**Figura 4.9:** Barras de Cu dobladas.

#### 4.2.4.a Doblado

Las barras, dependiendo del proyecto, requieren ser dobladas de acuerdo con el diseño de cada cliente; esto permite un adecuado funcionamiento del ánodo dentro de las tinas de electro-obtención.

Dependiendo del ángulo requerido en la barra y su espesor, se desarrollan los distintos radios para el doblado de éstas. Para ello las sufrideras son confeccionadas según los requerimientos y recomendaciones que se encuentran indicadas en la norma ASTM B 193-02(2008) para los radios mínimos. Una vez instalada la sufridera en la mesa, ésta debe ser ajustada. Para ello se coloca una barra y se dobla en sus dos extremos, siguiendo las cotas indicadas por los planos. Posteriormente se verifica que cumpla con los largos solicitados y la altura total indicada.

Esta operación se realiza en una mesa equipada con un pistón oleohidráulico y los distintos elementos son ajustables, tal como se muestra en la figura 4.11; de tal forma de poder adaptarla a los distintos requerimientos de producción. Las barras dobladas pasan posteriormente a la etapa de ranurado.

#### **4.2.4.b Ranurado de barras**

El proceso de ranurado de las barras se ejecuta montando éstas en una fresadora (ver figura 4.12). La fresadora está equipada con cuatro herramientas de corte, lo que permite procesar cuatro barras simultáneamente. Una vez ranurada la barra, se debe verificar que ésta quede con la ranura centrada y que el largo, profundidad y ancho de ella sea el adecuado para introducir completamente la plancha de plomo en la barra.

#### **4.2.4.c Lavado de barras**

Las barras, una vez que se les han realizado todos los trabajos requeridos por proyecto, son lavadas. Para ello son introducidas en una tina con desengrasante y agua caliente a 40 °C. Es importante eliminar todo resto de aceite, grasa o suciedad, ver figura 4.13.

Una vez terminado el lavado, la barra pasa al proceso de enjuague en donde se elimina todo resto de detergente. Las barras limpias son depositadas sobre pallets y enviadas a bodega o entregadas al proceso de armado.

#### **4.2.4.d Soldadura de orejas**

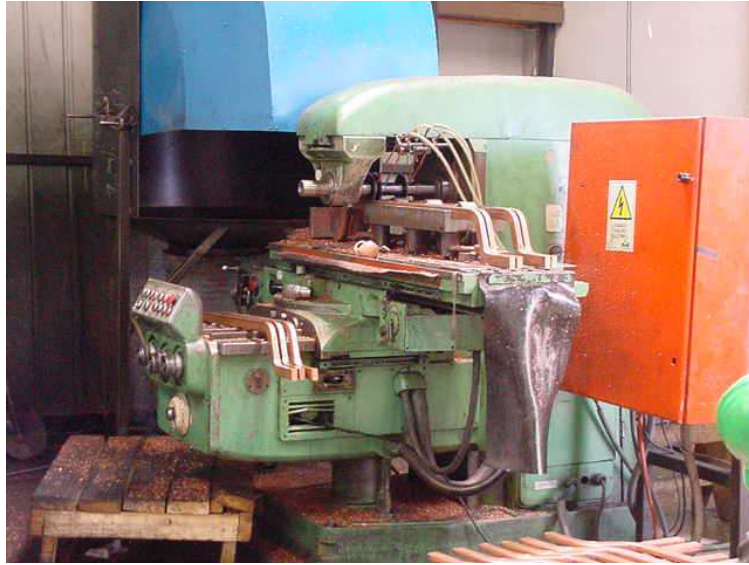
Cuando las especificaciones o los planos lo indican, los ánodos llevan orejas soldadas a la barra de cobre. Estas orejas están fabricadas en acero inoxidable y son soldadas mediante soldadura TIG con aporte de cobre.



**Figura 4.10:** Celda de manufactura preparación barras de Cu.



**Figura 4.11:** Doblado de la barra de Cu.



**Figura 4.12:** Ranurado de las barras de Cu mediante una fresadora.



**Figura 4.13:** Lavado de las Barras de Cu.

#### **4.2.5 Armado de los Ánodos**

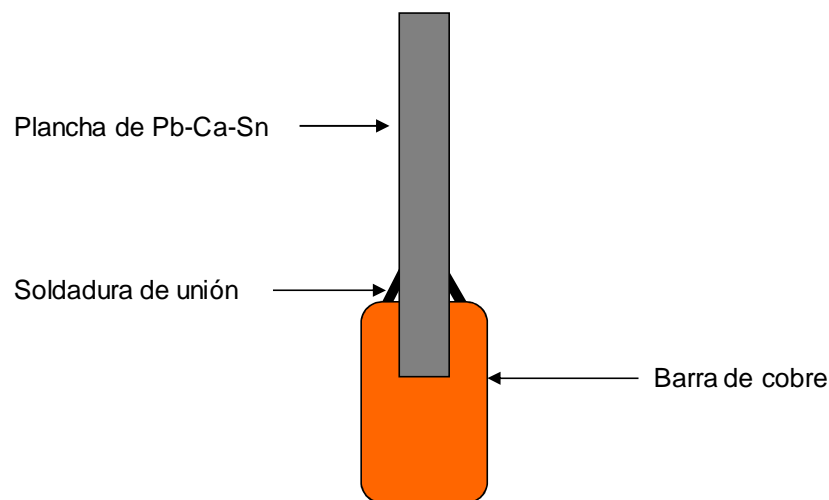
El armado de ánodos consiste en unir, mediante soldadura, una plancha de plomo dimensionada con una barra de cobre.

Para ello, las barras de cobre ya lavadas son depositadas en un baño de fundente. Con este proceso lo que se busca es una desoxidación de la barra, permitiendo una buena

adherencia del estaño. La tina de fundente debe mantenerse entre 40 y 60 °C. Una vez por semana, el Departamento de Control de Calidad verifica la capacidad de desoxidación midiendo su acidez.

Para un adecuado armado se dispone de cuatro mesas, las que deben ser ajustadas para cada tipo de proyecto o ánodo que se está armando. Una vez ajustadas las mesas, se coloca en la parte inferior la barra previamente estañada, asegurándose en su posición mediante unos seguros. Por otra parte, desde los racks con ánodos dimensionados, se toman y llevan las planchas mediante tenazas de boca plana, siendo colocadas desde la parte superior. Previo a su ubicación en la barra, la ranura es llenada con soldadura líquida, asegurando así un buen contacto y sellado entre estos dos elementos.

Una vez que la plancha dimensionada ha quedado en posición, se le aplica un cordón de soldadura. Este cordón se aplica en todo el contorno de la unión entre la plancha y la barra. Además se realiza el sellado de la ranura que queda fuera de la zona de unión, entre plancha y barra como se muestra en las figuras 4.14 a 4.18.



**Figura 4.14:** Diseño de la soldadura de unión plancha – barra Cu.





**Figura 4.15:** Mesa de armado.



**Figura 4.16:** Proceso de armado de ánodos.



**Figura 4.17:** Soldadura de un ánodo durante el armado.



**Figura 4.18:** Limpieza después de aplicar el remache de seguridad.

#### **4.2.6 Recubrimiento Electrolytico de las Barras de Cobre**

Los ánodos soldados son enviados a la nave electrolítica, ver figuras 4.19-4.20, para la aplicación del revestimiento de plomo sobre la zona de soldadura o unión entre la plancha de plomo y la barra de cobre. Este revestimiento tiene por finalidad proteger la unión soldada del ambiente ácido presente en el área de trabajo de los ánodos, dentro de las naves de EW.



Para ello el ánodo armado es colocado dentro de tinas, las que contienen una solución ácida compuesta por: Litargirio, Acido Fluorhídrico, Ácido Bórico y Agua.

Esta solución se hace circular por las tinas en las cuales se han instalado los ánodos con la barra de cobre dentro de la solución. Se debe verificar que quede sumergido a lo menos de 20 a 30 mm por debajo de la unión, esto permite asegurar que el área soldada quede totalmente protegida con el revestimiento de plomo.

La solución debe ser controlada a lo menos una vez por semana, verificando que la concentración se mantenga en el rango de 90 a 120 g Pb/L, y con una acidez de 40 a 60.

La deposición del plomo se logra haciendo pasar corriente eléctrica entre el ánodo de plomo, que corresponde al cátodo y una lámina de plomo la cual corresponde al ánodo. La corriente que se hace circular está en el rango de 400 a 500 A.

Los ánodos a ser revestidos son conectados a electrodos de tenazas, los que se encuentran aislados de las láminas de plomo de aporte. Esto permite, en un período de 14 a 16 horas, obtener sobre la zona de deposición un espesor de recubrimiento de  $\pm 1$  mm.

Una vez transcurrido el tiempo requerido, se levanta un ánodo y se mide el espesor de la depositación. Éste se obtiene por la diferencia entre el espesor final de la barra y el espesor de la barra de cobre al comienzo del proceso. Si se ha obtenido el espesor deseado, los ánodos son retirados de las tinas y se trasladan a la etapa de verticalizado y embalaje.

El recubrimiento electrolítico, de las barras de cobre, es el proceso más lento y de más difícil control para lograr un depósito parejo, en todo el contorno de la barra de cobre, y libre de defectos propios de un proceso de electrólisis (adherencia, porosidad, crecimiento dendrítico, etc.).



**Figura 4.19:** Equipo para recubrimiento electrolítico barras de Cobre.



**Figura 4.20:** Detalle equipo para recubrimiento electrolítico barras de Cobre.

#### **4.2.7 Verticalizado, Embalaje y Transporte**

Los ánodos que han completado la etapa de revestimiento en forma satisfactoria, son trasladados a la zona de verticalizado y embalaje, ver figuras 4.21 y 4.22. Para girar y manipular los ánodos que salen de la electrodeposición, se emplean ventosas, lo cual asegura que las planchas no sufrirán daños durante el volteo. Una vez que los ánodos han sido girados, son colocados sobre un rack, colgados desde la barra de cobre en la

misma posición que tendrán dentro de la nave. En este rack se verifica que la verticalidad del ánodo se encuentre dentro de los valores aceptables, lo que no puede ser mayor a 6 mm, a ambos lados con respecto a la vertical.

La verticalidad de cada ánodo es medida por dos operarios, los cuales se ubican a ambos lados del ánodo y, mediante plomadas colocadas sobre los bordes de cada ánodo, verifican que la plancha sea paralela a la plomada. De no ser así, corrigen la zona afectada hasta lograr que la plancha quede dentro de los valores aceptables. Una vez hecha esta verificación, el ánodo es deslizado sobre el rack hasta el extremo para ser retirado e instalado en racks de madera. En estos Racks, los ánodos son posteriormente identificados y registrados quedando a la espera del despacho al cliente, figuras 4.23-4.25.



**Figura 4.21:** Verticalizado de ánodos.



**Figura 4.22:** Embalaje de ánodos.



**Figura 4.23:** Ánodos esperando ser transportados hacia las empresas mineras.





Figura 4.24: Transporte de ánodos hacia las empresas mineras.



Figura 4.25: Detalle transporte de ánodos hacia las empresas mineras.

#### 4.2.8 Control de Calidad

El desempeño del ánodo está determinado por el siguiente conjunto de variables de proceso:

- La calidad química y física de la plancha de Pb-Ca-Sn laminada

- La calidad de la unión entre la plancha de Pb-Ca-Sn y la barra de cobre soporte, y
- La calidad de la protección de la unión Pb-Cu

Para asegurar la calidad y desempeño exitoso del producto, durante el proceso de fabricación de los ánodos se practican diversos tipos de controles, tanto a las materias primas como al producto en sus distintas etapas de elaboración.

Los controles de calidad se realizan en tres etapas dentro de la producción:

- Control de materias primas compradas y recicladas.
- Control durante el proceso productivo.
- Control del producto final.

#### **4.2.8.a Control a las materias primas compradas y recicladas:**

Plomo: El plomo tiene principalmente dos tipos de fuentes o procedencias: plomo primario, que se compra normalmente a proveedores del Perú y plomo reciclado desde ánodos en desuso u otras fuentes.

El plomo primario es controlado en base a la documentación del fabricante y, en forma aleatoria, se realiza un análisis de la composición química del material. Dicho análisis permite confirmar que las características enunciadas en la documentación correspondan a las del producto que se utiliza en el proceso productivo.

En el caso del plomo reciclado proveniente de ánodos en desuso, las planchas de plomo son cargadas en una olla para ser sometidas a un proceso de fundición y separación de impurezas. El caldo obtenido es sometido a análisis químico, de tal forma de conocer su composición en contenido de plomo, calcio y estaño. Esto permite conocer las características químicas de los distintos tochos de plomo, que luego son utilizados en el proceso productivo.

Calcio: El calcio es verificado con relación a la documentación presentada por el fabricante de acuerdo con las especificaciones establecidas. No se realiza ningún otro tipo de control de calidad, a menos que exista alguna sospecha especial de problemas en este producto.

Estaño: Este material, al igual que el calcio, es sometido a la verificación de la documentación que acompaña al material.

Los análisis químicos son ejecutados sobre una muestra tomada de fundición de la olla, por el laboratorio de Inppamet Ltda. Esto permite realizar los ajustes necesarios para cumplir con los valores establecidos para la aleación de plomo.

Soldadura: La soldadura, utilizada para el proceso de armado de los ánodos, es analizada y verificada en su composición por el laboratorio antes de ser empleada. De no cumplir con la especificación de composición química establecidos, la soldadura es rechazada y devuelta al proveedor.

Barras de cobre: Las barras son sometidas a un control dimensional y verificación de su dureza de acuerdo con los requerimientos de la Norma ASTM B 187-97<sup>4</sup>. Para el cobre utilizado en la fabricación de las barras, este debe ser clasificación UNS C11000 y dentro de sus características debe presentar una dureza de Rockwell escala F de 65 mínimo.

En el caso de las barras de cobre recuperadas de los ánodos en desuso, son sometidas a proceso de limpieza del plomo depositado sobre ellas; para luego ser vendidas como materia prima a los fabricantes de barras. El control de calidad realizado corresponde a una verificación visual de la ausencia de plomo u otro material adherido en la superficie de la barra. Este análisis es necesario con el fin de que el cobre no requiera ser purificado nuevamente antes de ser usado en la producción de barras.

#### **4.2.8.b Controles de calidad en el proceso productivo:**

##### **i. Fundición**

En el caso de la fundición de la aleación utilizada en las planchas de plomo, se realiza un estricto control de calidad a la composición química de ésta; debido principalmente a que pequeñas variaciones en la composición pueden afectar en forma considerable el

---

<sup>4</sup>ASTM B187 / B187M - 11 Standard Specification for Copper, Bus Bar, Rod, and Shapes and General Purpose Rod, Bar, and Shapes

comportamiento final del ánodo durante la operación, principalmente en cuanto a la resistencia a la corrosión y a la resistencia mecánica.

Las materias primas son cargadas a las ollas de fundición en las cantidades necesarias para cumplir con las especificaciones de la aleación. Una vez que la aleación ha alcanzado la temperatura y ha transcurrido el tiempo de difusión de los distintos elementos (en especial el Calcio), se procede a tomar una muestra para ser analizada por el laboratorio en términos de su composición química.

Una vez obtenido el resultado del análisis de la muestra, éste es registrado y el resultado es informado a producción. Si del resultado del análisis la muestra no cumple con los estándares establecidos, se deben hacer los ajustes necesarios para cumplir con dichos estándares. Estos ajustes se realizan agregando materiales a la aleación con el fin de modificar su composición. Una vez realizados los ajustes, se toma una nueva muestra de tal forma de verificar que se han alcanzado los valores especificados.

El caldo de fundición, una vez aprobado por el laboratorio, es vaciado en el molde para obtener una plancha continua de la cual se cortan las distintas planchas de tamaño estándar. Previo al vaciado del tocho, se debe verificar la temperatura de éste cuyos valores son registrados una vez alcanzada la temperatura de vaciado, entre 250-270 °C. Esta temperatura debe ser verificada, ya que se debe asegurar que el centro del tocho esté sólido, de lo contrario al momento de laminar se pueden producir escamas o más peligroso aún, la fuga del metal aún líquido al momento de ser comprimido.

## **ii. Conformado de planchas**

El tocho es colocado en la mesa de alimentación del laminador en caliente. En esta etapa el tocho es laminado hasta alcanzar un espesor de 18 a 25 mm. Durante esta etapa se registra la temperatura para verificar que no se sobrepase la temperatura de desmolde. En la medida que el material se hace más delgado, por la mayor superficie presentada, la temperatura es cada vez menor.

En el proceso de laminación en frío se debe controlar que la temperatura de la plancha no sobrepase en ningún momento los 50 °C, debido a que temperaturas superiores afectan en forma significativa la micro estructura de la aleación, generándose un deterioro en el rendimiento final de los ánodos.

Para el control de la temperatura de la plancha durante la laminación, se utiliza una termocupla portátil (marca FLUKE 80 TK, con un rango de operación de -50 a 250 °C, esta termocupla trabaja con un multímetro marca FLUKE 75 III). Los valores obtenidos



son registrados en cartillas de control de calidad, las cuales permiten verificar la trazabilidad del proceso de laminación para cada plancha.

Otro importante control durante la laminación es referente al espesor de la plancha. Éste se controla mediante el empleo de una regleta electrónica instalada en el rodillo, cuyo resultado se presenta en un visor digital al operador del laminador. Cuando el espesor se encuentra próximo al valor especificado, el operador del laminador verifica la medida mediante un micrómetro, registrando el valor final. Si el espesor es inferior al requerido, la plancha es cortada y devuelta al horno para ser nuevamente fundida.

La plancha continua es cortada a tamaño estándar, identificándose cada plancha con el número de carga de la olla de la cual se obtuvo y el billet al que pertenece. Luego, las planchas son almacenadas por 15 días, que corresponde al período de envejecimiento de la aleación. Pasado el tiempo de envejecimiento, la plancha ha alcanzado la dureza requerida, la que es medida y registrada.

Las planchas cortadas son posteriormente dimensionadas mediante una matriz, la que se encuentra instalada en una prensa. Esta matriz, antes de ser puesta en servicio, es verificada de acuerdo a las dimensiones indicadas en los planos aprobados por el cliente.

Paralelamente a esta actividad se realiza el ranurado de las barras de cobre, las cuales han sido dobladas y verificadas dimensionalmente de acuerdo a lo indicado en los planos (según la geometría asociada a cada cliente). En las barras se comprueba la profundidad de la ranura y su ancho, en donde posteriormente deberá entrar la plancha de plomo dimensionada.

### **iii. Preparación de barras de Cu**

Las barras de cobre luego de ser inspeccionadas y aprobadas por control de calidad, pasan al proceso de doblado de acuerdo con las medidas y ángulos solicitados por el proyecto. Las barras dobladas pasan a ranurado en la fresadora. En esta máquina la barra es ranurada en el largo, profundidad y ancho requerido por los planos.

Las barras a continuación pasan a lavado, donde se les retiran los restos de aceite adherido empleado durante el proceso de ranurado. Con el lavado de la barra se termina el proceso de preparación, quedando en condiciones para ser empleadas en el armado del ánodo.

#### **iv. Armado de ánodos**

Antes de iniciar el armado de los ánodos para los diversos proyectos, las mesas de armado son ajustadas a las dimensiones y posición de la plancha de plomo con respecto a la barra, dando cumplimiento a lo indicado en los planos. Con las barras y planchas dimensionadas y sus procesos de preparación terminados, el ánodo es armado mediante la introducción de la plancha en la ranura para luego aplicar una soldadura especial a la unión entre ambos elementos. Una vez concluida la soldadura, se controla que ésta no presente poros o zonas con falta de aporte. Estos controles son realizados por los propios soldadores a medida que se realiza la soldadura y posteriormente, al finalizar el trabajo. De encontrar defectos de soldadura, éstos son reparados en forma inmediata. Por el contrario, si el defecto no es posible de solucionar, el ánodo es descartado recuperándose aquellos elementos en buen estado.

#### **v. Recubrimiento electrolítico de las barras de cobre**

Los ánodos armados son llevados a electro depositación de Plomo sobre la barra de cobre. Este recubrimiento protege a la barra de la neblina ácida que se produce dentro de las celdas. El espesor de recubrimiento es controlado mediante la regulación de la corriente y el tiempo que el ánodo se encuentra en las tinas electrolíticas. El espesor depositado es finalmente verificado por la diferencia entre el espesor final y el inicial de la barra de Cu.

#### **vi. Verticalizado y embalaje**

A los ánodos, con el espesor correcto, se les verifica su verticalidad para posteriormente ser embalados y marcados. Esta marca es realizada sobre la barra con letras de golpes, registrándose su año de fabricación, número correlativo, carga y billet. Estos últimos registros son de suma importancia, ya que permiten realizar la trazabilidad del ánodo, llegando hasta las materias primas utilizadas en el proceso de fabricación.

A lo largo del proceso productivo no solo se realizan controles por parte de los inspectores de control de calidad, sino que los propios operadores llevan registros de los volúmenes fabricados. Estos datos permiten establecer como se está comportando el proceso. A su vez los operadores están capacitados para poder realizar controles de sus procesos, rechazando aquellos productos que no cumplan con las especificaciones.

#### **4.2.8.c Control de calidad final al producto**

Una vez que el ánodo ha terminado su proceso de fabricación es sometido a una verificación final, mediante la aplicación de los siguientes ensayos:

##### **i. Control de la resistencia eléctrica de la unión barra – plancha**

Esta prueba se lleva a cabo mediante la aplicación de una corriente a través de la barra y un punto ubicado a 50 mm por debajo del contacto entre la barra y la plancha de plomo. Mediante un tester se procede a medir el valor de la caída de tensión, la cual no puede ser superior a 0,02 milivolt. Si se detectan lecturas superiores a ésta, significa que la barra no está completamente solidaria con la plancha, produciéndose su descarte.

##### **ii. Controles dimensionales**

Se realizan durante el proceso de fabricación, controlándose una vez armado el ánodo (ver figura 4.26). Se comprueban las medidas generales externas de cada ánodo, verificándolas respecto a los planos entregados por el cliente. Los ánodos que no cumplen con las tolerancias especificadas son eliminados y reprocesadas sus materias primas.



**Figura 4.26:** Ánodos a la espera del control de calidad final.

El tema de la calidad del producto y de los servicios de la compañía es prioritario en el modelo de negocios, de tal modo que la industria posee una estricta política de calidad como se aprecia en el extracto del Manual de Procesos y Calidad del Anexo 1 de este documento.

#### **4.2.9 Servicio Post-Venta**

La asistencia técnica que se brinda dentro del servicio de post-venta permite la verificación del comportamiento de los ánodos con el objetivo de lograr predecir el comportamiento futuro del ánodo en las distintas plantas de electro-obtención de cobre, donde se encuentran en servicio los ánodos de Inppamet Ltda. Este servicio se concentra en los problemas que puedan presentar los ánodos durante la operación (durante toda la vida útil de los ánodos), los cuales afectan la producción de cobre programada. Además, se busca predecir problemas potenciales, establecer sus posibles causas y desarrollar las medidas correctivas. Los resultados de cada evaluación son entregados al responsables de la nave de electro-obtención del cliente, sosteniendo una reunión de análisis de los resultados obtenidos.

El rol del Asistente Técnico consiste en establecer un procedimiento de trabajo aprobado por el cliente para definir los problemas, donde su solución debe pretender disminuir el resultado deficiente hasta lograr un nivel razonable. Las causas de los problemas se investigan desde el punto de vista de los hechos, y se analiza con precisión la relación entre la causa y el efecto. En este análisis de debe evitar estrictamente las decisiones sin base o que se fundamenten en hechos no evaluados.

El personal diseña e implanta las medidas que contrarresten el problema para evitar que las causas de los problemas vuelvan a presentarse, implementando las siguientes actividades:

- Recopilación de información sobre los problemas presentados.
- Observación del comportamiento del ánodo.
- Análisis de los resultados de las mediciones.
- Desarrollo de acciones correctivas a tomar.
- Verificación de la eficacia de las medidas correctivas.
- Estandarización de mejores prácticas.
- Generación de conclusiones.

Durante la observación del comportamiento de los ánodos y la recopilación de información relevante, se analizan las siguientes variables:

- i. Corrosión en la plancha: Ésta puede ser localizada en la lámina anódica, por corto circuito, y en la interface aire-líquido, por alta concentración de cloro en el electrolito, o generalizada que se debe a una alta densidad de corriente.
- ii. Daños en la barra de cobre: La barra puede presentar los siguientes estados defectuosos: torcida, golpeada, corroída.
- iii. Estado de la soldadura: Es inspeccionada en busca de soldadura fracturada grave, fracturada leve. Dependiendo del tipo de defecto detectado, ésta entrega el comportamiento eléctrico del ánodo o cátodo en cuanto a su eficiencia.
- iv. Presencia de capa de  $\text{PbO}_2$ : Una vez que el ánodo entra en servicio, éste forma una capa de óxido; la cual se convierte en una fuente de contaminación de los cátodos de cobre (deteriorando la calidad de los cátodos y por lo tanto su precio de venta). La capa de óxido se puede evaluar de acuerdo con los siguientes criterios, escamosa grave, escamosa leve y fina. La estabilidad física y química de la capa de  $\text{PbO}_2$  está influenciada por varios factores y, de acuerdo con la experiencia y estudios realizados, las principales causas del desprendimiento de partículas desde la capa son:
  - Ánodos cortocircuitados.
  - Ánodos sin polarización anódica (sin corriente).
  - Formación de  $\text{MnO}_2$  en la superficie anódica.
  - Cambios fuertes en la temperatura del electrolito.
- v. Temperatura del electrolito: El aumento de la temperatura del electrolito trae como consecuencia un aumento en la conductibilidad del electrolito, la disolución química del ánodo y la redisolución de la placa catódica, además este aumento de la temperatura provoca la disminución de la polarización y el voltaje de la celda.
- vi. Temperatura de la barra: Una brusca subida de la temperatura de la barra indica la presencia de cortocircuitos, los que pueden ser detectados por las siguientes técnicas:

- Visual o al tacto (aumento de la temperatura de la barra).
  - Por gaussiómetro.
  - Medición voltaje de contacto.
  - Medición voltaje par de electrodos.
  - Medición voltaje de celda.
  - Métodos infrarrojos.
- vii. Amperaje: El objetivo de esta medición es obtener la densidad de corriente en que se encuentra operando el ánodo. Es un parámetro eléctrico utilizado en los procesos electrolíticos y expresa la corriente que fluye o pasa por unidad de superficie de un electrodo. Los aumentos de la densidad de corriente aumentan la producción, aunque no hay que olvidar los problemas que pueden generar a largo plazo:
- Disminución de la eficiencia de corriente.
  - Aumento de voltaje de las celdas.
  - Aumento de la polarización (principalmente anódica).
  - Aumento del flujo del electrolito y lo que es más importante, su buena distribución en la celda.
  - Exige mayor pureza del electrolito, lo que no evita totalmente un aumento de contaminación del depósito catódico y un control más cuidadoso de impurezas.
  - Tener que cambiar el agente de adición utilizado y correcciones más frecuentes y cuidadosas de estas adiciones durante la marcha.
  - Aumento en la turbiedad del electrolito por aumento de los fangos en suspensión con necesidad de filtración del electrolito.
  - Mayores pérdidas de corriente en los conductores y contactos.
  - Menor vida útil de los electrodos.

Una vez que se han realizado todos los ensayos y mediciones, el personal procede a la elaboración de un informe en el que se indican los defectos encontrados y su ubicación.

Este informe entrega al cliente una visión clara respecto del estado de los ánodos, lo cual le permite tomar medidas correctivas efectivas antes que se produzcan problemas de mayor gravedad. Este seguimiento de la evolución de los ánodos durante su vida útil es muy importante para Inppamet Ltda., dado que con estos datos es posible cautelar de cerca el proceso de garantías (que en la industria minera son significativas), desarrollar en forma continua y junto a los clientes mejoras a los productos y planificar los futuros cambios de ánodos debido a la pérdida de sus características operativas deseables.

#### **4.2.10 La Prevención de Riesgos y Medio Ambiente**

Por la naturaleza del producto que se maneja y almacena para sus procesos productivos, Inppamet Ltda. ha implementado una serie de medidas tendientes a la protección de sus trabajadores y del Medio Ambiente, de tal forma de llevar sus actividades a niveles de Estándares Internacionales como son los establecidos en la Ley 16.744<sup>5</sup>. Para lograr estos objetivos la empresa ha aplicado diversas medidas obligatorias para sus trabajadores, cuyo incumplimiento es sancionado de manera drástica, llegando, dependiendo de la gravedad de la falta, a la anulación de su contrato de trabajo.

Para dar cumplimiento a los requerimientos, a todo trabajador que ingresa a realizar funciones en la empresa se le da una charla de inducción a cargo del personal de prevención de riesgos, donde se le indica el porqué de las medidas adoptadas al interior de la empresa y las obligaciones que tienen los trabajadores en el cuidado de su aseo personal. Para ello, se le entrega a todo el personal el Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad. En éste se detallan las medidas adoptadas en la empresa y las exigencias y obligaciones de ambas partes.

Como una manera de verificar el cumplimiento de los trabajadores de las instrucciones entregadas a través de este Reglamento y como una forma de demostrarle a la Autoridad (a través del Servicio Nacional de Salud), se realizan exámenes de sangre (para detectar la presencia de plomo) a los trabajadores que se encuentran desarrollando sus funciones en áreas de riesgo de contaminación. Estos análisis son llevados a cabo por la Mutual de Seguridad y sus resultados remitidos al Servicio de Salud. Además, en forma periódica la empresa recibe visitas de profesionales del Servicio de Salud, quienes fiscalizan el cumplimiento de las medidas de seguridad establecidas. Dentro de las medidas adoptadas se citan las siguientes:

---

<sup>5</sup> Ley 16744, Ministerio del Trabajo y Previsión Social; Subsecretaría de Previsión Social, 1968, Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales

- Todo trabajador debe conocer y cumplir las normas de seguridad que dicte el Departamento de Seguridad, el comité Paritario y la Mutual de Seguridad.
- Los artículos de seguridad que la empresa proporciona a sus trabajadores son considerados elementos de trabajo, por lo que su uso es de carácter obligatorio.
- Los usuarios deben velar por el buen estado y limpieza de los elementos de seguridad entregados.
- Los trabajadores deben velar por que su área de trabajo se mantenga en orden, limpia y despejada de objetos que puedan causar accidentes.
- Debe dar aviso a su jefe directo de cualquier accidente, por leve que éste sea.

Dentro de las medidas adoptadas para impedir niveles no aceptables de plomo en los trabajadores, se encuentra:

- Todo trabajador debe presentarse correctamente afeitado.
- Usar las uñas y el pelo corto.
- Al momento de almorzar lavarse y escobillarse prolijamente las manos, para esto los baños han sido equipados con escobillas y dispensadores de jabón líquido.
- La ropa de trabajo debe entregarse a la lavandería de la empresa todas las semanas.
- Antes de dirigirse a los comedores, debe bañarse y cambiarse la ropa de trabajo.
- Los filtros deben ser cambiados en forma mensual.
- Está prohibido beber agua que no sea la instalada en bidones marcados con agua potable.

Gracias a estas medidas y algunas otras, la empresa ha logrado llevar los niveles de contaminación por plomo de sus trabajadores muy por debajo de los niveles máximos aceptables. Como medida para mantener estos niveles, se han establecido ciertas prohibiciones:

- Usar barba o patillas en zonas de alta contaminación.
- Fumar en zonas de trabajo.
- Comer o beber en zona de trabajo.



- No usar los elementos de seguridad entregados, principalmente respiradores y ropa en mal estado.

Otras de las medidas adoptadas para evitar la contaminación de los trabajadores son las siguientes:

- En los baños se encuentran divididas las áreas de cambio de ropa de trabajo vs las de calle. La única vía de acceso entre ellas es a través de las duchas, con ello se pretende, por una parte, que no se produzca el contacto entre las ropas, y por otra, que el trabajador se duche para que pueda acceder a la otra zona. De esta forma, además se mantiene protegida a la familia del trabajador al no existir forma que la ropa de calle esté contaminada con plomo.
- A los trabajadores constantemente se les está inculcando el uso de los elementos de seguridad, protección personal y prácticas de higiene personal.
- A todo trabajador que ingresa a laborar, se le realiza un examen de sangre (pre ocupacional) y posteriormente cada 4 meses se vuelven a realizar estos exámenes (vigilancia de plomo en sangre). A todo trabajador que deja la empresa se le realiza un examen de tal forma de certificar que deja la empresa sin problemas de salud (post-ocupacionales).

En relación al impacto ambiental de la operación se destacan los siguientes aspectos:

#### **a) Fundición de Tochos**

Para iniciar el proceso de fabricación de ánodos insolubles de plomo se requiere como materia prima tochos de plomo metálico de alta pureza (99,99% de Pb) y un master-aloid especialmente dosificado con una mezcla de Pb, Ca y Sn. Los tochos de plomo son fundidos conjuntamente con el master-aloid en proporciones previamente establecidas, en dos ollas de fundición. Cada una de estas ollas tiene una capacidad de carga de 52 Ton/día, las cuales operan alternadamente. Utilizan quemadores alimentados por petróleo diesel, cuyo consumo promedio es de 1,2 m<sup>3</sup>/día. La temperatura de trabajo de estos hornos es de aproximadamente 450 °C, por lo que la emisión de gases a la atmósfera es prácticamente nula.

Generación de Residuos: sin generación.

#### **b) Laminación en Caliente y Estación de Enfriado**

Una vez que el plomo está fundido se descargan los hornos de fundición moldeando billetes o tochos que se laminan en caliente (a 260°C aproximadamente), obteniéndose planchas de un espesor mínimo de tres veces el múltiplo del espesor del ánodo definitivo. Estas planchas son cortadas y dispuestas en un sector aledaño para enfriamiento por un periodo de al menos 24 horas.

Generación de Residuos: Los trozos residuales (recortes) de plomo metálico generados en el proceso de corte son reingresados a las ollas de fundición, por lo tanto no se generan residuos en este proceso.

### **c) Laminación en Frío y Dimensionado Estándar**

Una vez que las planchas de plomo completan la etapa de enfriamiento, deben pasar por un tratamiento de laminación en frío (50-52 °C), con el objeto de reducir su espesor hasta 6 - 9 mm. Cada una de las láminas resultantes es trozada longitudinalmente en tres secciones similares, las que posteriormente se almacenan por un tiempo mínimo de 15 días para completar la etapa de envejecimiento necesaria para estabilizar las propiedades físicas de la plancha de plomo resultante.

Generación de Residuos: Al igual que en la etapa anterior, los recortes de plomo metálico obtenidos en el proceso de corte son reingresados a las ollas de fundición, por lo tanto, no existe generación de residuos.

### **d) Prensado y Roleado de Planchas de Plomo**

Posterior a la etapa de envejecimiento, las láminas de plomo son dimensionadas en la prensa de corte de acuerdo a moldes específicos según requerimientos del cliente.

Generación de Residuos: Los recortes de plomo metálico reingresan al proceso de fundición, por lo tanto, no existe generación de residuos. Las planchas dimensionadas son ingresadas a la rodeadora Herr-Voss para asegurar su perfecta planitud y verticalidad.

### **e) Fabricación y Preparación de Barras de Cobre**

Simultáneamente, se preparan barras de cobre (orejas) para ser ensambladas en las planchas de plomo. Esta preparación considera la etapa de foleado y curvado de acuerdo los requerimientos específicos de cada cliente. Luego, las barras son ranuradas para ser ensambladas en sus respectivas planchas de plomo. Finalmente las barras deben estar libres de suciedad para lo cual son lavadas profusamente en una

batea con una solución desengrasante a una temperatura superior a los 40 °C y luego son enjuagadas en otra batea con agua industrial.

Generación de Residuos: La viruta de cobre obtenida en este proceso es recuperada y enviada a la empresa proveedora de barras para su reproceso.

#### **f) Armado de Ánodos de Plomo**

Una vez ensamblado el conjunto plancha-barra, se agrega a las uniones soldadura de Plomo-Bismuto y una vez solidificada se procede con la soldadura de reforzamiento entre el recubrimiento periférico de la barra de cobre y la plancha. Dicha soldadura está constituida por la misma aleación del recubrimiento periférico, garantizando que no se generen tensiones en la unión al momento de la solidificación de la soldadura, siendo esta la causa principal del pandeo posterior de los ánodos.

Generación de Residuos: sin generación.

#### **g) Verticalización y Embalaje**

Una vez que los ánodos de plomo quedaron perfectamente sellados, se realiza un chequeo de calidad para verificar planitud y verticalidad. Finalmente se embalan en estructuras de madera (fabricadas en la misma Planta) y se disponen en un patio de acopio a la espera de ser distribuidas al cliente respectivo.

Generación de Residuos: Los residuos generados en el proceso son recortes y despuntes de plomo, los cuales son refundidos en la olla de fundición de tochos, por lo tanto, no existe generación de residuos.

### **Manejo de Residuos**

El proyecto considera la generación de distintos tipos de residuos, los que son manejados de diferente manera, de acuerdo a sus características y posibilidad de reutilización dentro de nuestro proceso productivo.

**a) Residuos Sólidos Urbanos e Industriales Asimilables a RSU:** Producto de las características del proceso productivo del proyecto, nuestra mayor generación de residuos corresponde a residuos sólidos urbanos e industriales asimilables a residuos sólidos urbanos. De acuerdo a la experiencia de nuestra operación actual, se estima que el volumen total de este tipo de residuos no supera las cinco toneladas mensuales.

Básicamente, corresponde a madera nacional de despunte del proceso de fabricación de racks de embalaje de nuestro producto final.

Estos residuos son depositados en recipientes rotulados para tales efectos, los que están ubicados en puntos estratégicos cercanos al lugar de generación. Personal interno está encargado de vaciar y limpiar estos receptáculos. Los residuos recolectados dentro de los distintos sectores de nuestras instalaciones son depositados en un contenedor de 4 m<sup>3</sup> de capacidad total, el cual está debidamente rotulado para tales efectos y localizado en un sector cercano al acceso principal (Anexo 8).

El retiro y disposición final de estos residuos es realizado por una empresa externa, que cuenta con la autorización sanitaria respectiva.

**b) Scraps y Restos de Soldadura:** Este tipo de residuos retorna íntegramente al proceso de estañado y soldadura, por lo que no hay un manejo y disposición externa de éstos.

**c) Recortes Metálicos de Plomo:** Corresponden a residuos de plomo metálico generados del proceso de laminación (frío y caliente) y de corte en prensa. Son reutilizados en su totalidad, retornándolos al proceso de fundición de tochos.

**d) Residuos Peligrosos:** El proceso productivo en condiciones normales no contempla la generación de residuos peligrosos. Sin embargo, en incidentes potenciales en que se generen estos tipos de residuos, se ha considerado su envío a una empresa autorizada para recibir residuos peligrosos.

## **Generación de Ruido**

Se estima que el nivel de presión sonora de la empresa es similar a las condiciones actuales. Inppamet produce ruidos en niveles normales para este tipo de plantas, por lo que ha desarrollado, en conjunto con la Mutual de Seguridad, de la Cámara Chilena de La Construcción, un Programa de Vigilancia Epidemiológica para Trabajadores Expuestos a Ruido.

En todo caso, los niveles de ruido interno, medidos inmediatamente junto a las fuentes, contemplado en el informe anteriormente descrito, no representan bajo ningún aspecto, niveles de emisión de ruido hacia el exterior, que superen la normativa vigente (D.S. 146/98).

## **Emisión de Gases y Material Particulado**

Las actividades del Proyecto no generan emisiones de gases y material particulado a la atmósfera en concentraciones mayores a las establecidas en la legislación vigente o que puedan ocasionar un riesgo a la salud de las personas.

Se generan emisiones a la atmósfera, correspondientes a gases de combustión de petróleo en las ollas de fundición de tochos para laminación.

Adicionalmente, hemos considerado realizar un monitoreo de calidad de aire de material particulado PM-10 el que considera caracterización de plomo. Consiste en una campaña anual de treinta días con cambio de filtros cada dos días.

En cualquier caso, en el evento de que las emisiones o material particulado producido por estas chimeneas, superen la norma de emisiones vigentes, Inppamet considera suspender su operación, para corregir los defectos de funcionamiento, e incluso si se requiere, instalar un scrubber para el control de las mismas. No obstante lo anterior, y como antecedente, el informe sanitario N° 90 emitido el 29 de septiembre de 2000, por el Servicio de Salud de Antofagasta, ratifica que esta empresa cumple actualmente con la normativa vigente.

## **5 La Planta de Productiva**

### **5.1 Distribución de la Planta**

Durante la historia de Inppamet Ltda. su planta ha sido varias veces transformada en términos de distribución (layout), maquinaria y configuraciones de proceso productivo. Estas modificaciones han respondido a la evolución del proceso productivo de los ánodos, el cual a su vez ha sido una respuesta a las modificaciones en el diseño de los ánodos y a otras condiciones de mercado.

La distribución actual de la planta, en términos generales, data del primer trimestre del año 2000, momento en el cual se realizó una completa actualización de la ubicación de las principales maquinarias con el fin de lograr una distribución de planta que estuviera acorde con los últimos adelantos en esta materia. Es así como la distribución de planta actual en Inppamet Ltda. está basada en un trazado de flujo que trata de adaptarse a la

forma de una U, lo cual no se logra cabalmente debido a que no fue posible modificar la posición de algunas máquinas (no era conveniente en términos económicos). Sin embargo, el flujo general de materiales logra rescatar los principales aspectos del flujo en U. Los operarios que están al principio del proceso productivo pueden ver el producto completamente terminado (lo cual mejora su compromiso con la calidad), la distancia entre cada uno de los procesos adyacentes es la menor posible (con lo cual se logra minimizar los desplazamientos innecesarios de materiales y el uso intensivo de los recursos necesarios para transportarlos) y el proceso productivo se concentra en un espacio claramente acotado (el cual es fácilmente controlado por el líder o encargado del proceso).

El flujo general se estructura como la unión de múltiples centros de trabajo (células de manufactura), los cuales son:

- Fundición de aleación.
- Laminación.
- Preparación de barras.
- Dimensionado de planchas.
- Armado de ánodos.
- Electrodeposición.
- Verticalizado y embalaje.
- Reciclado de materias primas.

Cada uno de estos centros de trabajo se estructura de forma diferente en su operación, dependiendo de los requerimientos específicos de cada proceso. Adicionalmente, cada uno tiene asociados sus propios recursos productivos en cuanto a mano de obra y maquinaria. La configuración del proceso productivo general en centros de trabajo permite lograr un mayor compromiso de la mano de obra con su proceso productivo particular, lo cual permite acceder a un proceso de mejoramiento continuo en cada centro de trabajo. Esto, junto a una visión general del proceso productivo, logra mantener a la empresa en un constante proceso de optimización del proceso de negocios.

La nueva distribución de planta mencionada, ver figura 5.1, ha proporcionado a la empresa importantes mejoras en productividad, índices de calidad, control de riesgos, protección del medio ambiente interno y externo de la empresa, etc.

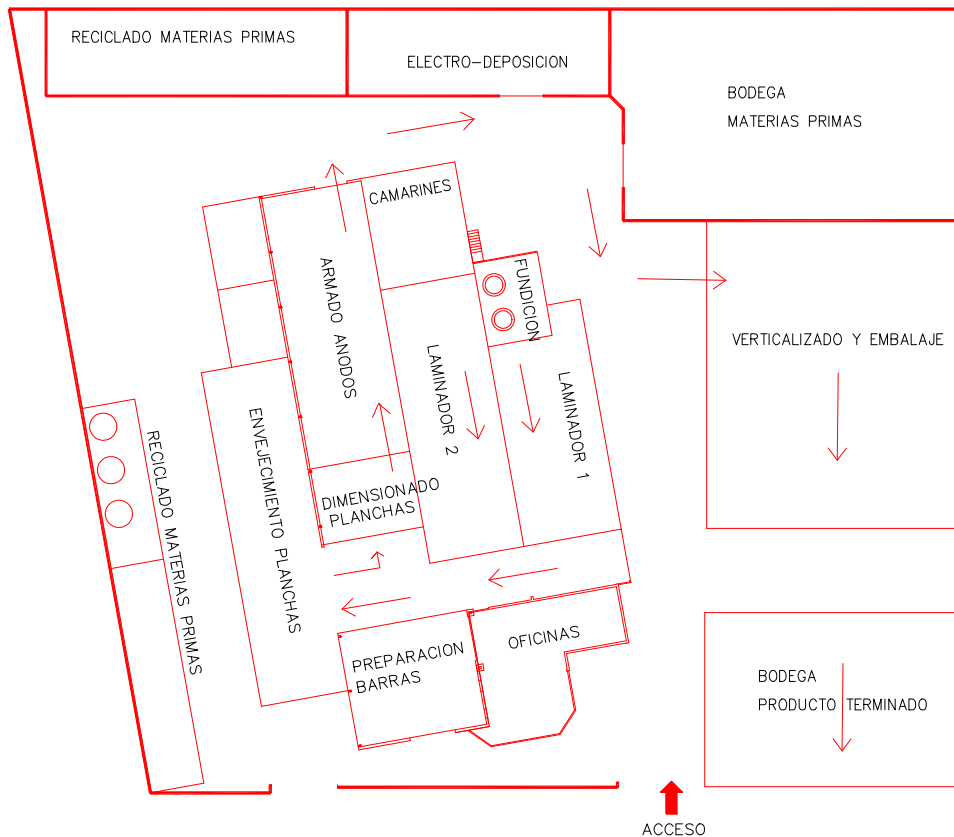


Figura 5.1: Distribución de Planta en Inppamet Ltda. a Diciembre del 2000.

## 5.2 Maquinaria

Los equipos empleados para la elaboración de ánodos son los siguientes:

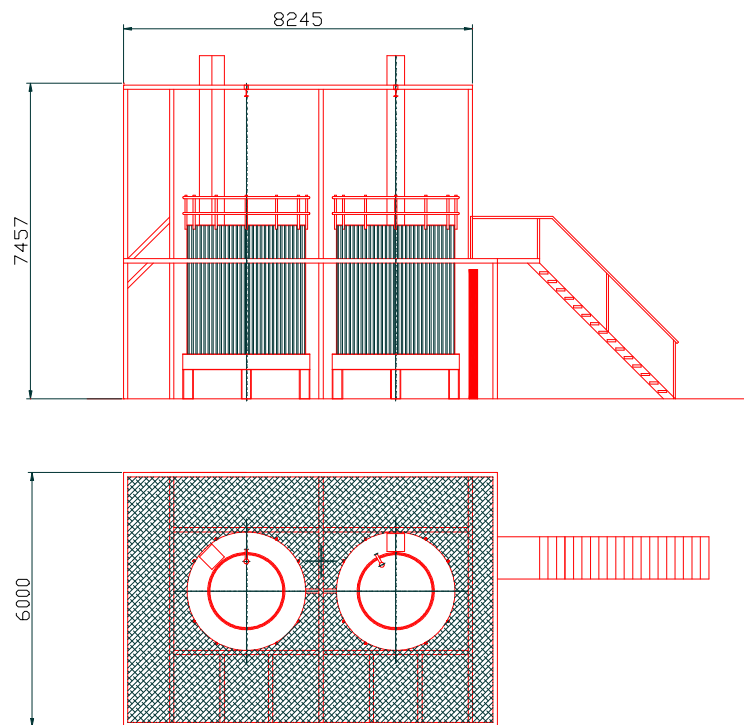
### 5.2.1 Olla para la Fundición de la Aleación

#### i. Descripción:

Inppamet dispone de dos ollas de igual capacidad para su proceso de fundición de la aleación de plomo las que alimentan al proceso de laminación en forma alternada. Estas ollas son de ingeniería propia, fabricadas en la maestranza de Inppamet Ltda. Para ello se ha utilizado toda la experiencia acumulada a través de los años, tanto del personal que labora en la empresa, como de asesores externos, ver figura 5.2.

Los materiales empleados cumplen con las especificaciones definidas para el proyecto, siendo sus principales componentes:

- Planchas de acero A -37.
- Aislamiento de fibra para cubrir el manto exterior de la olla y su forro.
- Ladrillos refractarios para el revestimiento del hogar y paredes exteriores de la olla y manto exterior.
- Quemadores de petróleo.



**Figura 5.2:** Disposición y diseño general de Ollas de Fundición.

Todos los materiales empleados son de procedencia nacional, a excepción de los quemadores, los cuales provienen desde Italia de la empresa Joannes.



## **ii. Operación**

El proceso de fundición de la aleación comienza con el encendido de la olla, la cual está equipada con quemadores de petróleo. La olla esta revestida interiormente con ladrillos refractarios, lo que permite obtener las temperaturas requeridas.

Los elementos constituyentes de la aleación son cargados por la parte superior de ésta a través de montacargas instalados en dicho lugar. La carga de la olla y la obtención de la fundición son responsabilidad del operador de turno, quien carga la olla con las distintas materias primas para cumplir con los porcentajes estipulados. Una vez que la olla se encuentra cargada con el plomo, se adiciona el estaño y se eleva la temperatura hasta 495- 510 °C. La temperatura debe mantenerse a lo menos por una hora, período en el cual se agita el caldo para obtener una masa homogénea. Esta agitación debe ser, al menos, por un período de 30 minutos.

Transcurrido este tiempo, el operador toma una muestra desde el centro de la masa fundida, obteniéndose un tejo el cual es identificado y enviado al laboratorio para su análisis. Si la mezcla cumple con los valores especificados, se disminuye la temperatura hasta 400 °C, quedando en condiciones de ser empleada en la laminación. Una vez que la olla ha alcanzado la temperatura de difusión de los elementos de aleación y la fundición esta aprobada por el laboratorio, el caldo fundido es vaciado al tocho para su enfriamiento y posterior alimentación a la mesa del laminador.

## **iii. Fallas y problemas**

Las fallas más comunes que puede presentar la olla son:

- Falla de los quemadores.
- Mal funcionamiento de la válvula de descarga.
- Falla del agitador.
- Falla en los tecles de alimentación de la olla.
- Defecto de la manguera de descarga al tocho.
- Desprendimiento de los ladrillos refractarios.

Todas estas posibles fallas son supervisadas de manera permanente de tal forma de reducir las detenciones no programadas de las ollas.

#### **iv. Limitaciones**

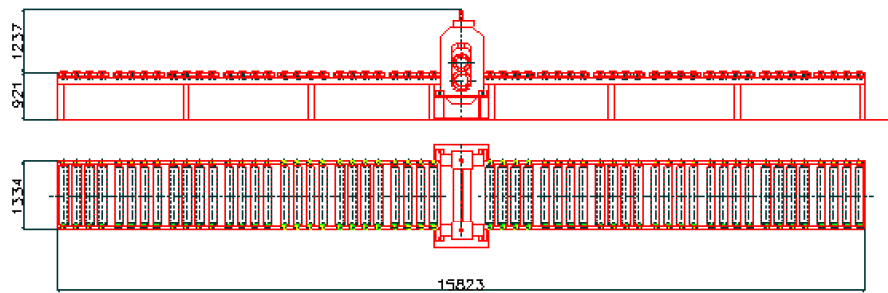
La olla de 52 ton de capacidad de material fundido, no puede ser vaciada completamente, quedando en el fondo un remanente de aproximadamente de 10 a 12 ton. Esto se hace para permitir que, al encendido y carga de la olla, el material depositado en su interior no golpee el fondo y mejore la fusión al haber gran superficie de contacto con el material fundido. En el estado actual de operación, las ollas se emplean en forma alternativa, lo que permite un trabajo continuo de los laminadores.

### **5.2.2 Laminadores**

#### **i. Descripción:**

Los laminadores (dúos reversibles), figura 5.3, están constituidos por dos rodillos dispuestos en forma paralela uno sobre el otro, pudiendo variarse la separación o distancia entre ellos mediante el desplazamiento del rodillo superior. Esto se realiza mediante el accionamiento de dos columnas en cuyos extremos se encuentran amarrados los descansos del rodillo superior. El desplazamiento de los rodillos permite obtener planchas laminadas en los distintos espesores requeridos por los proyectos. Esta separación es controlada mediante una regleta y visor digital, el cual indica la distancia entre los rodillos.

Los laminadores son equipos de procedencia norteamericana, siendo armados y puestos en marcha por personal de la planta. El laminador en frío se ha equipado con un variador de frecuencia para proteger su motor y conseguir las potencias requeridas sin sobrecargar los equipos. El laminador además está equipado con un reductor, el que acciona una caja con accionamiento cardánico de los dos rodillos laminadores. Los componentes adicionales al laminador, como son las mesas de rodillos de alimentación al laminador, son de diseño y manufactura de Inppamet Ltda. Estas mesas son motorizadas lo cual permite un fácil y rápido manejo de las planchas a ser procesadas. Tanto la regulación de la altura del laminador como el movimiento de las mesas de alimentación del laminador son controladas desde un tablero central a cargo del operador del laminador, quien acciona los distintos elementos dependiendo de la dirección de laminación.



**Figura 5.3:** Disposición y diseño general de un Laminador típico de Inppamet Ltda.

## ii. Operación:

Una vez que el tocho ha llegado a la temperatura adecuada para su laminación en caliente, éste es colocado sobre la mesa de rodillos que alimenta el laminador. Este tocho es desplazado en ambos sentidos haciendo que en cada pasada disminuya su espesor al variar la distancia entre los rodillos. Una vez alcanzado el espesor final de laminación en caliente, entre 18- 25 mm, la plancha se deja enfriar en forma natural por 24 horas, antes de dar inicio a la laminación en frío. En esta etapa la temperatura de la plancha no puede sobrepasar los 50 °C, para lo cual es controlada y registrada después de cada pasada por el laminador.

Al igual que en la laminación en caliente, este proceso es controlado mediante una regla y visor digital el cual indica la separación entre los rodillos. Una vez que se ha alcanzado un espesor próximo al requerido, además de utilizar el reloj digital, la medida se verifica mediante el empleo de un micrómetro, instrumento que finalmente entrega el espesor final obtenido.

## iii. Fallas y problemas de operación

Los laminadores no tienen fallas recurrentes, dado la mantención adecuada que éstos reciben. Para ello es importante la verificación de sus elementos motrices que son:

- Motor eléctrico
- Reductor
- Descansos de los rodillos de laminación
- Sistema de enfriamiento
- Sistema de acoplamiento

#### **iv. Limitaciones**

Vienen dadas por la ductilidad de cada aleación, sujeto a la generación de grietas.

### **5.2.3 Guillotina para el Corte de las Planchas**

#### **i. Descripción:**

La guillotina se emplea una vez que la plancha ha alcanzado el espesor final de laminación. Ésta es desplazada hasta la guillotina para proceder a dimensionar la plancha en láminas de tamaño estándar.

La guillotina está equipada con dos cuchillos. El inferior está fijo sobre la mesa, mientras que el segundo cuchillo está posicionado sobre un porta cuchillo, el cual es accionado por dos cilindros oleohidráulicos, los que son operados desde una central hidráulica. Esta guillotina es un mejoramiento de un equipo ya existente, el que fue sometido a reparación en la maestranza de Inppamet Ltda. Dentro de las mejoras incorporadas se encuentra el sistema oleohidráulico de accionamiento de los cuchillos de corte, mediante la incorporación de dos pistones. Los cuchillos trabajan de forma oblicua, de tal forma de permitir un corte limpio. Para permitir un corte de planchas de gran espesor, la guillotina se ha reforzado estructuralmente. De esta forma se logran cortes de hasta 30 mm de espesor de plancha de plomo.

#### **ii. Operación**

La guillotina se encuentra en el extremo de la mesa del laminador. Este equipo permite dimensionar la plancha una vez que esta ha alcanzado el espesor requerido.

El cuchillo superior es accionado por un sistema de cilindros hidráulicos, que se muestran en la Figura 5.4 de color rojo, los cuales son controlados mediante un sistema de válvulas accionadas manualmente.

Una vez que la plancha ha llegado al espesor esperado, es trasladada hacia la guillotina mediante la mesa de rodillos motrices. La guillotina está equipada con una mesa para el corte de la plancha en secciones de tamaño estándar para el dimensionado posterior de estos. En esta operación, participa 1 operario.

A medida que la plancha es cortada, las planchas de tamaño estándar son apiladas, siendo previamente identificadas con el número de la carga y billet respectivo. Las

planchas son apiladas en lotes de 39 a 42 láminas y posteriormente depositadas en el patio para su período de envejecimiento. Con esto se busca que la plancha alcance su mayor dureza antes de entrar en servicio.

### iii. Fallas y problemas de operación

Las principales fallas que presenta la guillotina se encuentra en sus componentes hidráulicos, como rotura de las mangueras oleohidráulicas y demás componentes. En general, se les presta una adecuada mantención y sus componentes se mantienen libres de partículas, son equipos de alta confiabilidad y baja tasa de fallas.

### iv. Limitaciones

La limitación que presenta la guillotina está en la habilidad de los operarios para realizar el trabajo de alimentación de ésta, siendo su velocidad de accionamiento adecuado para darle seguridad al personal.



**Figura 5.4:** Guillotina para dimensionamiento de planchas de plomo.

### **5.2.3.a Prensa Conformadora de planchas de Pb**

#### **i. Descripción:**

La prensa es un equipo compuesto de un pistón oleohidráulico, operado mediante una central hidráulica con accionamiento manual de las válvulas de control. Esta prensa está equipada con la matriz, con la forma del ánodo, que permite realizar el dimensionamiento final de la plancha de plomo de acuerdo a las especificaciones de cada producto.

Entre las partes móviles de la prensa se instala la matriz con las dimensiones del ánodo en fabricación. Para ello la sufridera de la matriz se ubica en la parte inferior, mientras que los cuchillos de corte se ubican en la parte móvil o superior de la prensa. Una vez que la plancha de plomo de tamaño estándar es colocada dentro de la matriz, ésta es accionada, haciendo descender los cuchillos hacia la sufridera realizando el corte de la plancha por troquelado.

Toda la matriz es de confección propia, siendo elaborada en forma íntegra con materiales nacionales. Esta matriz es diseñada y fabricada por Inppamet Ltda.

#### **ii. Operación**

En la operación de la prensa para el dimensionado de los ánodos participan dos operarios por turno. Dependiendo del proyecto en ejecución, se instala en la prensa la matriz a ser utilizada junto al resto de sus componentes. Una vez verificado que la matriz está cortando correctamente, no dejando rebabas y con las dimensiones correctas, la matriz está en condiciones de entrar en servicio.

Las planchas de tamaño estándar son colocadas en la prensa de dimensionado, desde los lotes con láminas cortadas, mediante ventosas, para permitir su manipulación y no dañar la plancha. Una vez colocada la plancha, la prensa es accionada, cortando la lámina de acuerdo con el tipo de matriz en uso. El recorte es retirado y la lámina de plomo dimensionada es roleada para darle una planitud adecuada. Luego de ser roleadas, las láminas son almacenadas de manera vertical a la espera de ser empleadas en el proceso de armado.

### **iii. Fallas y problemas de operación**

Las fallas más comunes que presenta se deben a los componentes oleohidráulicos, los cuales presentan problemas por desgaste o algunas veces por mala operación. En general, son equipos confiables que no presentan problemas graves de operación.

### **iv. Limitaciones**

Este equipo, por su sencillez de operación, no tiene grandes limitaciones, salvo por el espesor de plancha que puede cortar. Para ello se dispone de 3 prensas para el dimensionado, lo que permite en caso de necesidad poder trabajar en más de un punto de trabajo.

#### **5.2.3.b Matriz de corte**

##### **i. Descripción**

La matriz esta constituida por un soporte donde van montados los cuchillos con las dimensiones del ánodo. Estos cuchillos se confeccionan a partir de acero rápido (HSS). Esto permite una larga duración, sin tener que volver a afilar los cuchillos durante la ejecución de los trabajos. Otro elemento que compone la matriz es la sufridera, que corresponde a la sección que soporta la plancha de plomo antes del corte. Esta parte de la matriz, en sus bordes, tiene montados plásticos de alta densidad, los cuales sirven de respaldo al momento de realizar el corte de la plancha de plomo. Con este tipo de material se evita el deterioro de los cuchillos. Esta matriz, una vez armada, es instalada dentro de la prensa de dimensionado, colocándose los cuchillos fijos a la parte móvil de la prensa.

Cada proyecto tiene su propio juego de matrices, las que luego de finalizado el proyecto son retiradas, reparados los cuchillos y reemplazados los bordes plásticos. Todas las matrices utilizadas son de manufactura propia, las cuales se confeccionan en la maestranza de Inppamet Ltda.

La matriz para el dimensionado de las planchas estándar, es instalada en la prensa. La matriz está compuesta de los cuchillos con la forma y las dimensiones del ánodo a producir, la sufridera sobre la que se apoyan los cuchillos una vez realizado el corte y las guías que permiten un movimiento vertical de los cuchillos.

## **ii. Operación**

Una vez que la matriz es instalada en la prensa, se debe verificar que los cortes estén saliendo limpios, sin rebabas ni defectos de corte.

## **iii. Fallas**

Por la sencillez del equipo y por no tener partes propias móviles, es un equipo que no presenta fallas, salvo por mala operación o desajuste de la prensa. No obstante, los cuchillos requieren ser reafilados luego de cada proyecto y los elementos plásticos deben ser recambiados por ir perdiendo la capacidad de recibir a los cuchillos.

## **iv. Limitaciones**

La mayor limitación que presenta la matriz está dada por la prensa en la cual este montada.

### **5.2.4 Fresadora**

#### **i. Descripción:**

La fresadora se utiliza fundamentalmente para la elaboración de la ranura de la barra, la que tiene por función permitir la introducción de la plancha dimensionada dentro de la barra.

La fresadora está equipada con cuatro fresas, lo que permite procesar en cada oportunidad a cuatro barras en forma simultánea (Figura 4.12). La fresa, previo a iniciar el proceso de fabricación, es ajustada en sus movimientos de traslación y velocidad de corte, como también en el centrado de las barras en la mesa, de tal forma que la operación sea totalmente repetitiva y sin márgenes de error.

#### **ii. Operación**

La fresadora es operada por una persona, la cual es responsable de efectuar el ranurado de las barras que se encuentran dobladas, ya sean nuevas o recuperadas. Antes de iniciar un proyecto nuevo, el operador verifica que las condiciones de mecanizado sean logradas sin defectos. Para ello coloca una barra en la mesa de la



máquina, procediendo a realizar el corte. Una vez finalizado, se revisa que las medidas de:

- La profundidad del ranurado corresponda al plano.
- El mecanizado esté centrado con respecto a la barra.
- El largo del ranurado sea el adecuado.

Para realizar esta verificación, se ranura una barra y se comprueba su resultado final. Si éste es el requerido, se inicia el proceso de ranurado. Para ello, se instalan de a 4 barras por vez en la mesa previamente ajustada. Por el contrario, si se detecta una medida fuera de tolerancia, el operador realiza los ajustes adecuados. El resultado final de la prueba es verificada por personal del Departamento de Control de Calidad, quienes verifican el cumplimiento de las medidas solicitadas, antes de iniciar el proceso.

### **iii. Fallas y problemas de operación.**

Las principales fallas que puede presentar el equipo están relacionadas con los sistemas motrices de las mesas y los elementos de corte (fresa). Sin embargo, estos inconvenientes, presentes en toda maquinaria, se ven disminuidos por los programas de mantención preventiva que se aplican al equipo. Otro elemento que puede presentar fallas son las herramientas de corte las que pueden sufrir roturas en caso de un mal manejo o uso por parte del operario. Sin embargo, tratados en forma adecuada, son elementos de alta confiabilidad que al ser cambiados cuando presentan signos de desgaste, no presentan mayor dificultad.

### **iv. Limitaciones**

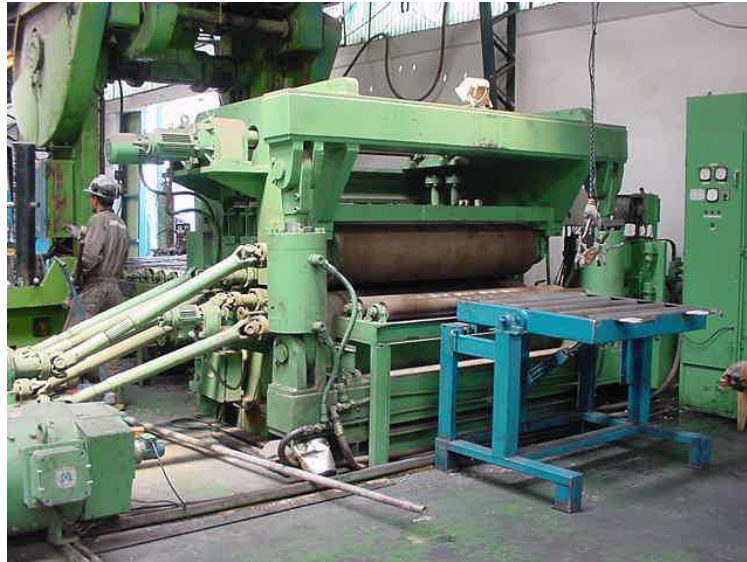
Para los requerimientos de producción actuales de la planta, la fresadora cumple en forma satisfactoria con ellos, ya que no es un elemento que requiera una mayor velocidad de producción.

## **5.2.5 Roleadora**

### **i. Descripción:**

La roleadora consiste en un tren de rodillos, ubicados en forma paralela unos sobre otros, con un sistema motriz individual en cada uno de ellos, figura 5.5. Los primeros rodillos (2 superiores y 2 inferiores) son los encargados de introducir deformaciones en

sentidos opuestos pero iguales, de forma que la plancha adquiere la planitud necesaria. Luego, ésta avanza por los otros rodillos, los que tienen un efecto de planchado de la misma a medida que es obligada a pasar entre ellos. Estos últimos rodillos tienen una separación levemente superior al espesor de la plancha a ser roleada.



**Figura 5.5:** Roleadora de planchas de plomo.

## **ii. Operación:**

La roleadora esta equipada con un motorreductor, el cual le proporciona el movimiento a los distintos rodillos. Esto permite que las distintas planchas sean empujadas o forzadas a pasar entre los rodillos.

Las planchas, una vez que salen por la parte posterior de la máquina, son tomadas mediante caimanes de boca plana e instalados en racks metálicos en forma vertical.

## **iii. Fallas**

Las fallas mas relevantes que se presentan en este equipo tienen relación con el sistema motriz. Sin embargo, este es considerado un equipo de alta confiabilidad dentro del proceso productivo.

#### iv. Limitaciones

La limitación que presenta el equipo está dada por su velocidad. Esta velocidad es importante, ya que debe dar el tiempo suficiente al operario que recibe la plancha roleada para sacarla de la línea antes de la llegada de la próxima plancha.

### 5.2.6 Mesas de Armado de Ánodos

#### i. Descripción

Estas mesas, para permitir una adecuada manipulación y sin dañar el ánodo, pueden girar sobre su eje horizontal adoptando un ángulo aproximado de  $45^\circ$ , permitiendo que la soldadura se asiente en forma adecuada sobre la zona de unión. Esto evita que la soldadura no se derrame fuera de la zona de unión y entrega una posición de trabajo cómoda para el soldador.

Las mesas pueden además girar sobre su eje vertical, lo que permite tener en forma cómoda acceso a ambos lados del ánodo durante el proceso de soldadura, ver figura 5.6.



**Figura 5.6:** Mesas de armado de ánodos.

## **ii. Operación:**

Para el proceso de armado de ánodos se requiere que las mesas de armado sean alimentadas por barras ranuradas y por planchas dimensionadas y roleadas.

Las barras, luego de ser estañadas, son colocadas en la mesa de armado y afirmadas en posición mediante amarres dispuestos en la mesa. Luego, la ranura es llenada con soldadura para otorgarle a la unión un contacto sin poros; con la finalidad de obtener una excelente conductividad de la barra hacia el ánodo. Una vez llena la ranura, se procede a introducir la plancha dentro de ésta. El armador se debe asegurar que la plancha encaje completamente dentro de la ranura antes de proceder a soldar. Esta soldadura tiene por finalidad unir los dos elementos y sellar la unión entre la barra y la plancha de plomo.

Una vez que ambos lados se encuentran soldados, el ánodo armado es retirado de la mesa mediante el empleo de pinzas de boca plana, lo cual no daña el ánodo terminado. Éstos son depositados posteriormente en racks metálicos en forma vertical, listos a ser llevados al remachado, lo cual le otorga al ánodo mayor seguridad.

## **iii. Fallas**

Las mesas, por la sencillez de sus componentes, son equipos muy confiables y de una alta velocidad de respuesta en sus movimientos. Son equipos operados en forma neumática lo que los hace muy sencillos de reparar cuando es necesario.

Las mesas no dan mayor problema, salvo que si no disponen de aire comprimido no pueden operar.

## **iv. Limitaciones**

Las limitaciones que presentan están dadas por los tiempos que demora el operario en finalizar su proceso de soldadura.

## 5.2.7 Electrodeposición de Plomo

### i. Descripción

Las tinas para la aplicación del recubrimiento son de fabricación nacional en fibra de vidrio, con una capacidad de proceso de 20 ánodos por tina, figura 5.7. La planta, en estos momentos, tiene una capacidad de procesar en forma simultánea de 360 ánodos. Estas tinas son alimentadas mediante un sistema de bombas de solución ácida, que permite realizar la electrodeposición del plomo puro sobre la barra de cobre. Para ello, cada tina tiene alimentación de ácido, el cual debe hacerse circular en la tina de tal forma de mantener la eficiencia requerida. Las tinas además se encuentran equipadas con tenazas, las que permiten cerrar el circuito y permitir el paso de la corriente y con ello el depósito del plomo sobre la barra como se menciono anteriormente.

Es importante que se mantenga la solución ácida libre de partículas en suspensión. Para ello se dispone de un filtro de mangas, el que es limpiado cada dos días.



**Figura 5.7:** Electrodeposición de plomo.

### ii. Operación:

En las tinas se les aplica un depósito de plomo a los ánodos. Su finalidad es darle a la barra y a la unión de la barra con la plancha de plomo un grado de protección en contra del ataque ácido que se produce en las naves de SW y EW. Para lograr esto, los ánodos son colocados con la zona a recubrir dentro de las tinas. Éstas son cargadas

con ánodos sin revestir, quedando entre dos barras de plomo puro, que constituyen los ánodos solubles dentro del proceso. Es de estas barras de plomo donde se obtiene el plomo que se deposita sobre la zona sumergida en la solución, la cual está constituida por ácido fluorhídrico, litargirio, ácido bórico y agua. Esta solución se hace circular a lo largo de las distintas tinas. Para ello, cada una tiene su propia alimentación y en el extremo opuesto se encuentra el drenaje, logrando con ello un baño parejo de todos los ánodos. Es importante regular y controlar los flujos, ya que la solución, para que sea efectiva, debe mantenerse en circulación y a una temperatura no mayor a 40 °C.

Otro parámetro importante tiene relación con la corriente, la que debe mantenerse entre 350-400 A. Si estos parámetros son descuidados o no existe una adecuada limpieza de la barra antes de su introducción en la tina, produce que el depósito no sea el adecuado; con falta de adherencia, en el caso de barra sucia, o con presencia de porosidad y, en caso extremo, un crecimiento localizado, en forma de árbol, cuando la corriente es muy alta. El período de tiempo que debe permanecer un ánodo en la tina, depende del espesor de revestimiento requerido, en general, va desde 12 a 16 horas, con un promedio de depósito de 1 a 2 mm de espesor total.

Terminado este período de tiempo, se levanta un ánodo y se verifica su espesor. El proceso finaliza cuando los ánodos son retirados desde las tinas de forma vertical y conducidos a la etapa final de embalaje.

### **iii. Fallas y problemas**

Uno de los elementos que demandan una constante preocupación tiene relación con los filtros, los que se saturan con gran rapidez y provocan que la solución ácida disminuya su eficiencia.

Otro fuente de problemas lo constituyen las bombas de circulación, las que, por manejar sustancias corrosivas, demandan constante atención ya que si no se obtiene solución circulando, ésta se agota y no se obtiene el depósito de plomo requerido. La limpieza se debe hacer en forma programada, ya que se van acumulando desechos propios que vienen en el plomo los que de no ser retirados son retenidos por el filtro lo que ocasiona que éstos se saturen en forma prematura.

Finalmente, el equipo de inducción de corriente es sometido a mantención en forma periódica ya que se encuentra en un ambiente corrosivo, lo cual degrada sus conexiones, restándole eficiencia.

Un problema intrínseco al proceso es la inhomogeneidad del paso de corriente por los distintos electrodos, lo que provoca diferencias de espesor. Para atenuar esto, se requiere un permanente control de los contactos.

El proceso también es altamente sensible a la presencia de sólidos en suspensión en el electrólito, lo que obliga a una limpieza permanente del mismo.

#### **iv. Limitaciones**

La limitación de las tinajas corresponde a su restricción de capacidad de 360 ánodos diarios y el tiempo que deben estar los ánodos en las tinajas. Éste no se puede disminuir ya que provoca un crecimiento en forma localizada de dendritas del depósito de plomo.

### **5.2.8 Rack para Verticalizado y Embalaje**

#### **i. Descripción**

Los racks son de fabricación propia. En ellos se depositan los ánodos que salen del proceso de electrodeposición de plomo. Antes de que los ánodos sean colgados, se les limpia la zona de contacto, utilizando para ello discos abrasivos que retiran el plomo depositado en esas zonas. Para ello, los ánodos son tomados por una mesa giratoria equipada con ventosas, para luego ser depositados sobre el rack.

Estos racks se componen de un bastidor o marco rectangular, figura 5.8, en cuya parte superior está equipada con un tubo, lo que permite que el ánodo colgado por la barra pueda ser deslizado fácilmente. La función de este equipo es verificar la verticalidad de los ánodos antes de ser embalados y despachados. Para ello, en su parte central está equipada con un soporte estructural de donde se cuelga el ánodo. Una vez en posición, los operadores verifican que el ánodo se encuentre dentro de los parámetros especificados, realizando las correcciones necesarias.

Luego de ser aprobado, el ánodo es descolgado y empujado a la zona de embalaje, donde es tomado por otro operario y depositado dentro de los cajones de despacho.



**Figura 5.8:** Rack para verticalizado y embalaje.

## ii. **Operación:**

Los ánodos que salen del proceso de electro deposición de plomo son descargados de las tinajas en racks metálicos y conducidos a la zona de verticalizado y embalaje. En esta operación, el ánodo es tomado una estructura giratoria provista de ventosas que se adhieren al ánodo y ubican la barra en la posición superior. Luego, éste es colocado en un rack de transferencia, donde se le verifica su verticalidad y planitud.

Para verificar la verticalidad, se emplean plomadas, las que son colgadas desde el centro de la barra en su lado inferior. Posteriormente, se mide la desviación que presenta la plancha del ánodo con respecto a la línea vertical generada por la plomada. Si esta desviación está fuera de los parámetros particulares de cada proyecto (que en su mayoría van desde 2 a 4 mm de desviación), los ánodos son enderezados, aplicándoles pequeñas deformaciones en sentido contrario a la pérdida de verticalidad, hasta llevarlo a los valores aceptables. Una vez corregido este defecto, se procede a verificar la planitud de la plancha en su sentido horizontal como vertical. Para esto, la cuerda de la plomada se hace pasar por todo el cuerpo del ánodo, verificando que no presente zonas sin planitud. Aquellos puntos detectados son reparados con mazos de goma, con los que se le dan golpes hasta resolver el problema en la zona detectada.

Una vez hechas las correcciones y estando el ánodo aprobado, éste continúa su recorrido por el rack de transferencia hacia la zona de embalaje. En este punto, el ánodo es verificado con relación al estado del revestimiento. Si éste está conforme, el ánodo es depositado en cajones junto al resto de los ánodos aprobados. De lo



contrario, son separados y se les lija la zona del revestimiento para ser llevados nuevamente a las tinas de electrodeposición.

Los cajones con ánodos aprobados son conducidos al patio de almacenamiento, donde son identificados mediante la letra de golpe colocada en la parte superior de la barra, la cual lleva la carga de la cual se fabricó el ánodo y billet, además del número correlativo correspondiente al total de la orden de compra y el año de fabricación. Esta identificación es registrada por la inspección, procediendo a la elaboración de la documentación que acompaña al ánodo al momento de su despacho al cliente.

### **iii. Fallas**

Las fallas están asociadas a los equipos de apoyo al rack de verticalizado, como son los tecles para el manejo de los ánodos o como la mesa equipada con ventosa para el giro del ánodo. Sin embargo, son equipos que no presentan mucha complejidad por lo que son de fácil reparación o sustitución en caso de requerirse.

### **iv. Limitaciones**

Las limitaciones que presenta son las relacionadas con la velocidad con que puedan los operarios procesar los ánodos y la disponibilidad de éstos desde la zona de electrodeposición.

## 6 Conclusiones

- Desde el año 1982 a la fecha Inppamet Ltda. ha logrado consolidarse, en el mercado minero nacional, como una prestigiosa empresa proveedora de ánodos, cátodos y servicios relacionados. La empresa cuenta con un excelente estado financiero y un sólido posicionamiento en el mercado, lo cual le permite ver al futuro con grandes proyectos en carpeta, esperando ser realizados dependiendo de la evolución que tenga el mercado de los productos relevantes para la compañía.
- El posicionamiento logrado ha sido el fruto de grandes esfuerzos realizados por todos quienes han estado relacionados con el proyecto de empresa que Inppamet Ltda. abarca. Debido al rol del suscrito como máximo director del proyecto (incluida su gestión como gestor e ingeniero), se estima que el aporte del mismo ha sido determinante en cuanto a los resultados obtenidos.
- Inppamet Ltda. cuenta actualmente con un proceso productivo plenamente desarrollado, el que está además sometido a constantes mejoramientos en la medida que nuevos descubrimientos tecnológicos o nuevas necesidades de los clientes lo exigen. Dentro de los factores que intervienen en el proceso productivo, debe destacarse el alto grado de especialización logrado por la mano de obra directa e indirecta que participa en el proceso productivo, gracias a quienes se ha logrado el nivel de desarrollo actual de la empresa.
- Otro factor a destacar es la planta productiva que Inppamet Ltda. posee, la que ha sido diseñada y construida en su totalidad en forma interna durante los años de operación de la empresa. En esta planta se han realizado importantes inversiones de capital para lograr el estado actual, inversiones que se han justificado en la gran confianza que los directores de la empresa tienen en el desarrollo de los mercados objetivos de Inppamet Ltda.
- La maquinaria que Inppamet Ltda. posee en su mayoría también corresponde a desarrollos propios en cuanto a diseño y construcción o adaptación y mejoramiento de equipos adquiridos, nuevos o usados. Estos desarrollos internos de maquinarias han estado determinados en forma considerable por los esfuerzos como ingeniero mecánico realizados por el suscrito.
- Finalmente, se destaca que el desarrollo de la presente memoria de título ha permitido realizar una recopilación de gran parte de la historia de Inppamet

Ltda. y de quienes han participado en ella, en un documento estructurado y perdurable; base del manual de operaciones y calidad de la compañía.

## 7 Bibliografía

- [1] R. David Prengaman & A. Siegmund, 1999, Improved Copper Electrowinning Operations Using Wrought Pb-Ca-Sn Anodes, International Symposium, Copper 99, Phoenix, Arizona.
  
- [2] R. David Prengaman, Technical Note: Evaluation of Anode Samples, 21/02/97.
  
- [3] A.T. Kuhn (Editor), 1979, The Electrochemistry of Lead, Elsevier, New Jersey.
  
- [4] R. David Prengaman, Technical Note: Recommended Procedures for Installation and Operation of RSR Lead-Calcium-Tin Anodes, Mayo 17, 1995.
  
- [5] R. David Prengaman, 1987, New Insoluble Lead Anodes for Copper Electrowinning, Proc TMS Symposium The Electrorefining and Winning of Copper, Denver, Co, USA.
  
- [6] R. David Prengaman, Technical Note: Installation and Operation of Rolled Lead-Calcium-Tin Anodes, 1997.
  
- [7] W.R. Hopkins, G. Eggett and J.B. Scuffham, 1973, Electrowinning of Copper from Solvent Extraction Electrolytes - Problems and Possibilities, AIME, International Symposium on Hydrometallurgy, Chicago.
  
- [8] T.N. Andersen, D.L. Adamson and K.J. Richards, The Corrosion of Lead Anodes in Copper Electrowinning, Metallurgical & Materials Transactions, 1974(5/6).
  
- [9] G. Eggett and D. Naden, 1975, Development in Anodes for Pure Copper Electrowinning from Solvent Extraction Produced Electrolytes, Hydrometallurgy 1(1975).
  
- [10] R. David Prengaman, D.L. Robinson & S.E. James, 1984, The Metallurgy of Lead Alloys for Electrowinning Anodes, The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, PA,

- [11] U.S. Patent 3.953.244. R. David Prengaman.
- [12] U.S. Patent 4.373.654. R. David Prengaman.
- [13] Arriagada P., Diseño, Construcción y Optimización de una Celda de Electro Obtención de Cobre con Cátodo Particulado Móvil Basada en Electro Diálisis Reactiva. Tesis para Optar al Grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Metalurgia Extractiva. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago de Chile, Universidad de Chile, 2006.
- [14] David R, Siegmund A., Improved Copper Electrowinning Operations Using Wrought Pb-Ca-Sn Anodes. Copper 99- Cobre 99 International Symposium, Phoenix, Arizona 1999.
- [15] Arlandis J., La metalurgia del Cobre. España, Revista AIM (Asociación de Ingenieros Industriales de Madrid) págs. 13-15, 1999.
- [16] Paul Duby, The-History of Progress in Dimensionally Stable Anodes, JOM ,1993, March.
- [17] Masatsugu Morimitsu, Development of a novel smart anode for environmentally friendly electrowinning process, Proceedings of Copper 2010, Volume 4, Electrowinning and refining, pp. 1635-1647 (Hamburg, Germany, June 6-9, 2010).

# **ANEXO A**

## **1.1 Política de Calidad de Inppamet Ltda.**

Inppamet Ltda., es una empresa que se compromete a entregar productos y servicios de calidad. Su Política de Calidad se orienta a lo siguiente:

La empresa da cumplimiento a los requerimientos de los clientes, fabricando ánodos de acuerdo a estándares establecidos y adecuándolos a las exigencias particulares de cada cliente.

En el proceso productivo, la empresa se asegura de cumplir las normativas internas así como también los requerimientos legales vigentes, relacionados con los alcances de nuestras actividades, productos y servicios.

El desarrollo de las actividades productivas se realiza de acuerdo a los objetivos y metas establecidos, dentro del marco del mejoramiento continuo.

La empresa difunde y comunica esta política a todos los estamentos que la componen.

Los principales aspectos de esta política se muestran a continuación.

## **1.2 Procedimientos de Control de Procesos y Ventas**

### **1.2.1 Controles Químicos**

- Toma de muestra en lingote (I-002-GCA): se extrae una porción fundida del lingote para elaborar probetas, que son analizadas en laboratorio.
- Determinación de Impurezas en Plomo Puro por Absorción Atómica (I-003-GCA): Se utiliza un equipo de absorción atómica para determinar las impurezas tales como Sb, Cu, Fe, Zn, Mg y Bi.

- Determinación de Plata en Plomo Puro por Absorción Atómica (I-004-GCA): Se utiliza un equipo de absorción atómica para analizar el contenido de plata de las muestras en laboratorio.
- Determinación de Impurezas en Estaño Electrolítico por Absorción Atómica (I-005-GCA): Se realizan pruebas al estaño (Sn 99,9%) mediante absorción atómica para corroborar su grado de pureza.
- Análisis y Recomposición de Baño de Estaño (I-006-GCA): Se analiza un lingote o aleación contenida en la tina de estañado para determinar que las concentraciones en la aleación de estaño, bismuto y plomo estén de acuerdo a las especificaciones establecidas.
- Toma de Muestra en Varillas (I-007-GCA): Procedimiento para tomar muestras de varillas para soldadura.
- Análisis Químico en Aporte de Soldadura (I-008-GCA): mediante un equipo de absorción atómica (Spectrolab) se analizan las probetas obtenidas de las varillas de soldadura para identificar las concentraciones de plomo y bismuto.
- Análisis Fundente (I-009-GCA): Se toman muestras del fundente para comprobar su composición química, densidad, acidez y pH.
- Determinación de Ca y Sn en Master Alloy, por Absorción Atómica (I-010-GCA): Se analiza el material recién llegado de Aleación Madre 8/5 (8%Ca – 5%Sn), tomando muestras al azar para identificar la cantidad de Ca y Sn presentes en la aleación Madre.
- Determinación de Calcio Aluminio 85% ó 75% por Absorción Atómica (I-011-GCA): Se analiza el material recién llegado de calcio (Ca 75% ó Ca 85%), tomando muestras al azar para identificar la cantidad de Ca presente en la materia prima según corresponda.
- Recomposición de la Olla de Aleación (I-012-GCA): Instrucciones a seguir cuando se requiere adicionar Calcio y Estaño a la Olla de Aleación y lograr obtener concentraciones de Plomo, calcio y estaño de acuerdo a las especificaciones establecidas.
- Análisis y Recomposición del Electrolito (I-013-GCA): Procedimiento de análisis del electrolito para obtener concentraciones de plomo y acidez libre.

## 1.2.2 Controles Físicos

- Control de barras nuevas (I-001-GCA): Control de calidad en bodega de las barras de cobre, inspeccionando el estado de llegada de las barras en forma aleatoria, colocando eyiquetas de 'conformidad' o 'no conformidad'.

## 1.2.3 Control de Calidad

- Control Moldeo y Laminación (I-014-GCA): Procedimiento realizado durante el proceso de laminación para verificar las temperaturas de laminación y el cumplimiento de los requerimientos de espesores en los tochos y billets.
- Control de Dimensionado (I-015-GCA): Procedimiento realizado durante el proceso de dimensionado para verificar que las láminas anódicas cumplan con los requerimientos dimensionales del proyecto.
- Armado de Ánodos (I-016-GCA): Procedimiento realizado durante el proceso de armado de ánodos, para asegurar que el ensamble y los remaches de los ánodos cumplen con las especificaciones del proyecto.
- Control ElectroPlating (I-017-GCA): Procedimiento realizado durante el proceso de electro-recubrimiento para verificar que el amperaje de las tinas sea homogénea y que el recubrimiento esté libre de imperfecciones.
- Control de Recubrimiento, Pulido y Verticalizado (I-018-GCA): Procedimiento realizado durante el proceso de verticalizado para verificar que los ánodos cumplan con el pulido de contacto y verticalidad, además que el espesor del recubrimiento cumpla los requerimientos de cada proyecto.
- Control Caída de Tensión (I-019-GCA): Procedimiento realizado al ánodo terminado, con la intención de reproducir las condiciones reales de intensidad de corriente a la que está sometido el ánodo de plomo.
- Control Embalaje (I-020-GCA): Procedimiento realizado el proceso de embalaje para asegurar que el 100% de los ánodos embalados se encuentren identificados en cada cajón de acuerdo al proyecto.
- Control Conformado y Ranurado de Barra (I-021-GCA): Procedimiento realizado el proceso de doblado de barras, para verificar que las barras se encuentren



foliadas. Además que busca que el conformado y ranurado cumplan las especificaciones del proyecto.

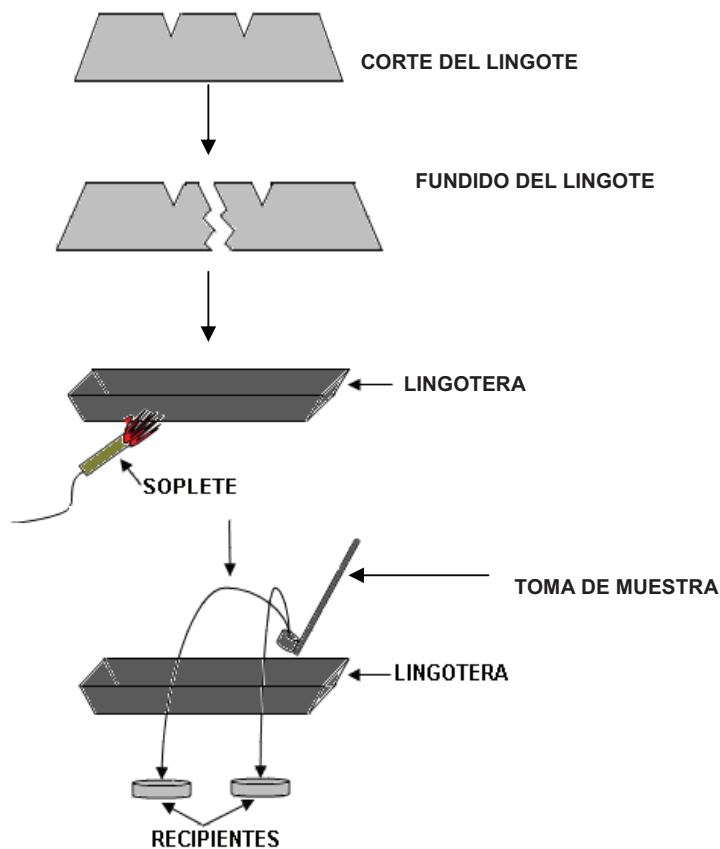
Las principales fichas de procedimientos se adjuntan a este documento.

**QUIEN:** Analista Químico

**CUANDO:** Al analizar un lingote

**DONDE:** Instalaciones de INPPAMET Ltda. , sección laboratorio

**CONDICIONES NECESARIAS:** Soplete, Recipiente para fundir, Cuchara metálica, Recipientes o Moldes, Guantes de Soldador.



**DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES:**

**1.- El analista químico debe:**

- a) Solicitar el corte del lingote.
- b) Tomar la mitad del lingote y fundir en una lingotera con la ayuda de un soplete.
- c) Retirar la escoria de la superficie con una espátula metálica.

- d) Con una cuchara metálica tomar una porción del fundido y depositarlo en los moldes.
- e) Eliminar el fundido de los moldes.
- f) Repetir el paso 4°.
- g) Una vez frío los desmolda y obtiene la muestra para realizar los análisis correspondientes

**RESULTADO ESPERADO:** Obtención de muestra de un lingote para análisis.

**REFERENCIA:** No aplica.

**REGISTROS:** No aplica.

CONFECCIÓN	CARGO	FECHA	FIRMA
<b>Revisado por:</b> Thirza Barboza S.	Jefe de Laboratorio y Control de Calidad	15/06/2005	
<b>Aprobado por:</b> Juan Pablo Arroyo	Gerente de Calidad	29/06/2005	



INSTRUCTIVO

TOMA DE MUESTRA EN LINGOTE

CÓDIGO: I-002-GCA

CONTROL DE MODIFICACIONES		
Revisión	Descripción Modificación	Fecha Modificación



## INSTRUCTIVO

RECOMPOSICION DE LA OLLA DE ALEACIÓN      CÓDIGO: I-012-GCA

<b>QUIEN:</b> El Analista Químico	<b>CUANDO:</b> Cuando el Calcio y Estaño no se encuentre dentro de las especificaciones.
<b>DONDE:</b> En la instalaciones de INPPAMET Ltda., sección ollas de aleación.	
<b>CONDICIONES NECESARIAS:</b> No aplica.	
<b>DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES:</b>	
<b>A.- PARA REALIZAR LOS AJUSTES DE CALCIO Y ESTAÑO EL QUÍMICO DEBE:</b>	
Cuando se requiera adicionar Ca y Sn a la mezcla, el químico debe calcular las concentraciones de Calcio y Estaño para que la mezcla se encuentre en las especificaciones requeridas en M2, el químico debe realizar las siguientes secuencias según sea el caso:	
<b>a) CÁLCULOS PARA LA CARGA DE LA OLLA DE ALEACIÓN</b>	
ENTRA	SALE
X kg Pb 99.9%    →	→ %Pb se obtiene por diferencia.
X kg Sn 99.9%    →	→ 1.30 a 1.45% Sn (ideal 1.37%)
X kg Ca 72-75%    →	→ 0.065 a 0.085% Ca (ideal 0.077%)
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Capacidad Olla 52000 Kg.</div>	

**a.1 Cálculo de Calcio.**

Se requiere que la concentración de calcio en la mezcla sea de 0.077%. La capacidad de la olla es de 52000 Kg, por lo tanto se debe tener:

$$\frac{0.077 \times 52000}{100} = 40.04 \text{ Kg de calcio puro en la olla}$$

Pero el calcio tiene una pureza que fluctúa entre 72 - 75%, tomando el valor máximo del rango, se obtiene la siguiente cantidad de calcio a adicionar:

$$\frac{40.04 \times 100}{75} = 53.4 \text{ Kg de aleación de calcio.}$$

**a.2 Cálculo de Estaño.-**

Se requiere que la concentración de estaño en la mezcla sea de 1.37%. La capacidad de la olla es de 52000 Kg, por lo tanto se debe tener:

$$\frac{1.37 \times 52000}{100} = 712.4 \text{ Kg de estaño puro en la olla.}$$

$$\frac{712.4 \times 100}{99,9} = 719.5 \text{ Kg de Estaño.}$$

**Como el estaño tiene una pureza de 99.9%, entonces la cantidad en Kg de este material está dado por:**

$$\frac{712.4 \times 100}{99,9} = 719.5 \text{ Kg de Estaño.}$$

**B ) Cálculos para recomposición de la mezcla con ca 75% y sn 99%****b.1 Cálculo de Ca fuera de los rangos permitidos.**

Si el análisis arroja un resultado de Ca = **X** %, el cálculo de los Kg de aleación de Ca es:

$$\frac{X \times 52000}{100} = Y \text{ ( Kg de Ca contenidos en la olla)}$$

Pero con la concentración ideal de Calcio ( 0.077%), se obtiene 40.04 Kg de aleación de Ca. Entonces la diferencia es:

$40.04 - Y = Z$  ( corresponde a los kilos de aleación de Ca que se tiene que adicionar en la olla para obtener la mezcla con concentraciones al 0.077%).

**Considerando que el Ca se encuentra en un 75% de pureza, la cantidad a adicionar en la olla para obtener la mezcla con una concentración del 0,077%:**

$$\frac{Z \times 100}{75} = W \text{ ( Kg de aleación de Ca)}$$

**b.2 Cálculo de Sn fuera de los rangos permitidos.**

Si el análisis arroja un resultado de Sn = **X** %, el cálculo de los Kg de Sn es:

$$\frac{X \times 52000}{100} = Y \text{ ( Kg de Sn contenidos en la olla)}$$

Pero con la concentración ideal de Sn (1.37%), se obtiene 712.4 Kg de aleación de Sn. Entonces la diferencia es:

$712.4 - Y = Z$  ( corresponde a los kilos de aleación de Sn que se tiene que adicionar en la olla para obtener la mezcla con concentraciones al 1.37%).

Considerando que el estaño se encuentra en un 99% de pureza entonces la cantidad de estaño a adicionar es:

$$\frac{Z \times 100}{99} = W \text{ ( Kg de aleación de Sn)}$$

**C) Cálculos para recomposición de la aleación con master 8/5** (aleación de pb, ca, sn, en una proporción de 86% pb, 5% ca y 8% sn.)

Si el análisis arroja un resultado de **X** kg. de Ca e **Y<sub>1</sub>** kg de Sn, entonces el químico debe:

**c.1 Calcular concentración de Ca mediante:**

40.4 Kg de Ca (concentración ideal) – **X** kg de Ca contenidos en la olla = **Z** kg. de Ca a adicionar en la olla.

**c.2 Calcular concentración de Sn mediante:**

De lo anterior se tiene que:

$$5 \text{ kg de Ca} \rightarrow 100 \text{ kg de master}$$

$$Z \text{ kg de Ca} \rightarrow W \text{ kg de master}$$

Donde  $W = \frac{Z \times 100}{5}$  = kg de master a adicionar a la olla con un aporte del 8% de **Y<sub>1</sub>** (Sn)

Luego se tiene que:

$$W \text{ kg de master} \rightarrow 100\% \text{ de master adicionado en la olla}$$

$$X \text{ kg de master} \rightarrow \text{se tiene un } 8\% \text{ de Sn}$$

Donde **X** = **Y<sub>2</sub>** kg de Sn al 8% que sumados a los **Y<sub>1</sub>** kg de Sn ya contenidos en la olla se tiene:

El total de Kg. : **Y<sub>1</sub> + Y<sub>2</sub>** de Sn en la olla.



Si el ideal de estaño (al 1.37% ) se obtiene con 712.4 Kg de este material, entonces se tiene:

$712.4 - (Y_1 + Y_2) = Y_3$  Kg. (cantidad que debe agregarse a la mezcla de aleación para lograr una concentración de Sn 1.37%).

**Considerando que el estaño se encuentra en un 99% de pureza entonces la cantidad de estaño a adicionar es:**

$$Y_3 \frac{\text{Kg. Sn} \times 100}{99} = Y_4 \text{ Kg de Estaño}$$

**c.3 Para calcular estaño con concentraciones ideales de calcio en el master el químico debe realizar la siguiente ecuación:**

5kg de Ca → 100 kg de master

40.04 kg de Ca → X kg de master

Donde X= Z kg de master con Y kg de Sn

Entonces :

712.4 kg de Sn (concentración ideal) – Y kg de Sn aportados por el master = W kg. de Sn a adicionar en la olla.

Luego:  $\frac{W \times 100}{99} = W_1$  kg. de Sn a adicionar finalmente a la olla.

**D ) Frente a los resultados de los análisis el químico debe:**

d.1 Si la aleación no cumple con las especificaciones químicas, el jefe del laboratorio o el químico de turno debe informar al Jefe de Producción o al encargado del área en ese instante para que tomen las medidas que correspondan.

d.2 Si la composición de la mezcla se encuentra bajo especificación, el jefe del laboratorio o el químico de turno debe informar mediante el formulario R-003-GCA “Resultado de Análisis” al Jefe de Producción o al encargado del área



INSTRUCTIVO

RECOMPOSICION DE LA OLLA DE ALEACIÓN      CÓDIGO: I-012-GCA

**RESULTADO ESPERADO:** Obtener concentraciones de aleación de plomo Ca-Sn de acuerdo a especificaciones establecidas en M2.

**REFERENCIA:** Especificaciones O/F correspondientes de acuerdo a M2

**REGISTROS:** R-003-GCA “Resultados de Análisis”


CONFECCIÓN	CARGO	FECHA	FIRMA
<b>Revisado por:</b> Thirza Barboza S.	Jefe de Laboratorio y Control de Calidad	15/06/2005	
<b>Aprobado por:</b> Juan Pablo Arroyo	Gerente de Calidad	30/06/2005	



INSTRUCTIVO

RECOMPOSICION DE LA OLLA DE ALEACIÓN      CÓDIGO: I-012-GCA

CONTROL DE MODIFICACIONES		
Revisión	Descripción Modificación	Fecha Modificación

<p><b>QUIEN:</b> Inspector Control de Calidad (IC)</p>	<p><b>CUANDO:</b> Llega materia prima (barras de cobre) a bodega</p>
<p><b>DONDE:</b> Instalaciones de INPPAMET LTDA, sección bodega.</p>	
<p><b>CONDICIONES NECESARIAS:</b> Paquete de Barras nuevas, pie de metro, flexómetro, cuchillo cartonero, etiquetas Inppamet de producto conforme, etiquetas de Inppamet de producto no conforme, Especificaciones de Materia Prima M1.</p>	
	
<p><b>DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES:</b></p>	
<p><b>El Inspector de Calidad debe:</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Inspeccionar visualmente el estado de cada paquete con barras, verificando si éstas se encuentran libres de golpes o deformaciones producto del transporte o descarga. En caso de detectar éstas características el IC rechaza el cajón colocando etiqueta roja de “Producto no Conforme”</li> <li>b) Inspeccionar y seleccionar barras aleatoriamente en cada uno de los cajones que ingresa a bodega. Para ello, debe cortar con un cuchillo cartonero el zuncho plástico de embalaje y escoger las barras a inspeccionar a las cuales verifica largo, espesor, altura y dureza. Cada medida debe ser contrastada con las especificaciones indicadas en el documento M1 “Especificaciones de Materiales Barras de Cobre”.</li> <li>c) Identificar cada paquete inspeccionado con una etiqueta verde de producto conforme en caso de cumplir con las especificaciones. En caso contrario debe identificar el paquete etiqueta roja de producto no conforme e informar al Jefe de Bodega para que separe el lote y determine las acciones a seguir según lo establecido en el procedimiento P-005-SGI “Producto o Servicio no Conforme”. Cada inspección realizada, se registra en el formato de registro R-008-GCA “Control de Barras Nuevas”.</li> </ul>	



INSTRUCTIVO

CONTROL DE BARRAS NUEVAS

CÓDIGO: I-001-GCA

d) Finalizada la jornada, el IC debe entregar los registros de las inspecciones al Jefe de Control de Calidad quien debe archivarlos diariamente en carpetas computacionales de las dependencias del Laboratorio Químico de Inppamet.

**RESULTADO ESPERADO:** Verificar de acuerdo al documento M1 que las barras nuevas cumplan las especificaciones de cada proyecto

**REFERENCIA:** Procedimiento P-005-SGI “Producto o servicio no Conforme”  
“Especificaciones de Materiales Barras de Cobre” M1.

**REGISTROS:** R-008-GCA “Control de barras nuevas”

CONFECCIÓN	CARGO	FECHA	FIRMA
<b>Revisado por:</b> Thirza Barboza S.	Jefe de Laboratorio y Control de Calidad	04/05/2005	
<b>Aprobado por:</b> Juan Pablo Arroyo	Gerente de Calidad	01/06/2005	



INSTRUCTIVO

CONTROL DE BARRAS NUEVAS

CÓDIGO: I-001-GCA

CONTROL DE MODIFICACIONES		
Revisión	Descripción Modificación	Fecha Modificación

<b>QUIEN:</b> Inspector Control de Calidad (IC)	<b>CUANDO:</b> Durante el proceso de laminación
<b>DONDE:</b> Instalaciones de INPPAMET Ltda., área de laminación.	
<b>CONDICIONES NECESARIAS:</b> Aleación de plomo, Maquinaria de laminación, pie de metro, micrómetro, termocupla de contacto, plano de proyecto.	



**DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES:**

**1. El Inspector de Calidad debe:**

- a) Controlar que la temperatura del molde se encuentre entre los 220 a 240 ° C con el primer trasvasije realizado desde la olla de aleación. Inspección que debe realizar verificando la temperatura registrada por el operador en el formato de registro R-005-GOP “Moldeo”, según consta en el instructivo de trabajo I-002-GOP “Moldeo” del procedimiento P-001-GOP “Fabricación de Ánodos”. Aleatoriamente, el IC debe seleccionar uno o más tochos para comprobar que su temperatura fluctúe entre los 260°C a 290°C por medio de termocuplas de contacto antes de pasar a laminación. Si detecta temperaturas mayores al rango establecido debe indicarle al operador continuar el enfriamiento del tocho. Las mediciones realizadas por el IC deben registrarse en el formato de registro antes mencionado estableciendo la firma, hora y tilde de la inspección.

- b) Controlar que se tomen los registros de temperatura y espesor del proceso de laminación. Para ello, el IC debe inspeccionar las mediciones registradas por los operadores en los formatos de registros R-006-GOP "Laminación en Caliente" y R-007-GOP "Laminación en frío" del procedimiento P-001-GOP.
- c) Aleatoriamente, el IC durante la **Laminación en Caliente**, debe seleccionar uno o más tochos para verificar temperatura (inicial y final) por medio de termocuplas de contacto y medir el espesor al termino del proceso con un micrómetro para comprobar el cumplimiento de los niveles establecidos en el Instructivo de Laminación en Caliente (I-003-GOP) dejando registrada la inspección con las mediciones, firma, hora y un tilde en el formato de registro R-006-GOP del procedimiento P-001-GOP.
- d) En **Laminación en frío**, el IC debe seleccionar uno o más billet y verificar con termocuplas de contacto y un micrómetro que la temperatura y espesor correspondan a los niveles establecidos en el instructivo I-004-GOP "Laminación en Frío" dejando registrada la inspección con las mediciones, firma, hora y un tilde en el formato de registro R-007-GOP.
- e) Finalizada la jornada, el IC debe entregar los registros de las inspecciones al Jefe de Control de Calidad quien debe archivarlos diariamente en carpetas computacionales de las dependencias del Laboratorio Químico de Inppamet.

**RESULTADO ESPERADO:** Verificar las temperaturas de laminación y el cumplimiento de los requerimientos de espesores en los Tochos y Billets.

**REFERENCIA:** Instructivo I-002-GOP "Moldeo"  
 Instructivo I-003-GOP "Laminación en Caliente"  
 Instructivo I-004-GOP "Laminación en Frío".

**REGISTROS:** Registro R-005-GOP "Moldeo"  
 Registro R-006-GOP "Laminación en Caliente"  
 Registro R-007-GOP "Laminación en frío"

CONFECCIÓN	CARGO	FECHA	FIRMA
Revisado por: Thirza Barboza S.	Jefe de Laboratorio y Control de Calidad	21/03/2005	
Aprobado por: Juan Pablo Arroyo	Gerente de Calidad	28/07/2005	





INSTRUCTIVO

CONTROL MOLDEO Y LAMINACIÓN

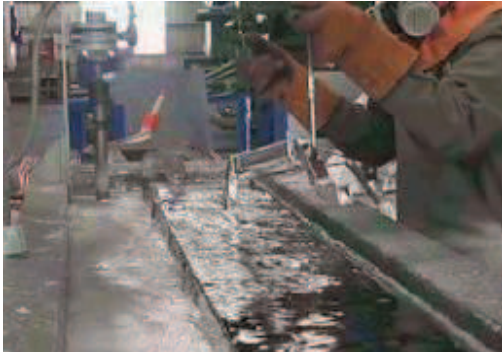
CÓDIGO: I-014-GCA

CONTROL DE MODIFICACIONES		
Revisión	Descripción Modificación	Fecha Modificación

<b>QUIEN:</b> Inspector Control de Calidad (IC)	<b>CUANDO:</b> Durante el proceso de armado de ánodos
---	---

**DONDE:** Instalaciones de INPPAMET Ltda., Armado de ánodos

**CONDICIONES NECESARIAS:** Lamina anódica, barra de cobre, aleación de relleno estañado, fundente, varilla de soldadura, plano del proyecto, regla, flexómetro, pie de metro y tester con termocuplas de inmersión.



**DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES:**

**1. El Inspector de Calidad debe:**

- a) Verificar que las temperaturas de las tinas de fundente y estañado, fluctúen entre los 40 a 60° C y los 160 a 180° C respectivamente. Para ello, el IC debe realizar una inspección visual de los paneles de control que poseen cada una de ellas, cuando sea necesario debe medir la temperatura con un tester con termocuplas de inmersión y registrar las mediciones en el formato R-013-GOP del procedimiento P-001-GOP "Fabricación de Ánodos". Posteriormente, el IC realiza el chequeo visual cuando introducen las barras, primero a la tina de fundente y luego a la tina de estañado, las cuales deben quedar completamente bañadas en las soluciones.
- b) Realizar la verificación de los registros (ver R-013-GOP) tomados por los operadores en las cotas del ánodo armado de acuerdo al instructivo I-012-GOP "Armado de Ánodos" del procedimiento P-001-GOP "Fabricación de Ánodos" y mediante un muestreo aleatorio comprobar si se cumplen las especificaciones dimensionales del proyecto. Esta operación la realiza el IC con una regla o flexómetro, chequeando las dos cotas señaladas en el formulario de registro. En caso de detectar ánodos fuera de especificación, el IC debe informar al jefe del área de producción para que tome las acciones correspondientes. Cada medición es registrada en el formato de registro antes mencionado, estampando la firma, tilde y hora de la inspección.
- c) Finalmente, el IC debe verificar que las distancias de las posturas de remaches queden registrados en el formulario R-014-GOP como lo establece el instructivo I-013-GOP "Remachado de Ánodos". El IC mediante un muestreo aleatorio debe

comprobar que la postura de los remaches cumplan con las especificaciones del plano del proyecto, midiendo con un pie de metro los lados A y B del ánodo, posteriormente debe registrar las mediciones en el formato antes mencionado y estampar firma, tilde y hora de la inspección. En caso de no cumplir especificaciones del proyecto, el IC debe marcar el ánodo con problemas y reportar al Jefe del Área de Producción dicha situación.

- d) Finalizada la jornada, el IC debe entregar los registros de las inspecciones al Jefe de Control de Calidad quien debe archivarlos diariamente en carpetas computacionales de las dependencias del Laboratorio Químico de Inppamet.

**RESULTADO ESPERADO:** Asegurar que el ensamble y remaches de los ánodos cumplen con las especificaciones del proyecto.

**REFERENCIA:** Procedimiento P-001-GOP, " Fabricación de Ánodos  
Instructivo I-012-GOP, "Armado de Ánodos"  
Instructivo I-013-GOP, "Remachado de Ánodos".

**REGISTROS:** R-013-GOP, " Armado de ánodos"  
R-014-GOP, "Remaches"

CONFECCIÓN	CARGO	FECHA	FIRMA
<b>Revisado por:</b> Thirza Barboza S.	Jefe de Laboratorio y Control de Calidad	26/04/2005	
<b>Aprobado por:</b> Juan Pablo Arroyo	Gerente de Calidad	28/07/2005	



INSTRUCTIVO

CONTROL ARMADO DE ÁNODOS

CÓDIGO: I-016-GCA

CONTROL DE MODIFICACIONES		
Revisión	Descripción Modificación	Fecha Modificación