

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y TEXTIL**

**TESIS: “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA  
PLANTA DE SOLDADURA EXOTÉRMICA EN LA  
EMPRESA PARA-RAYOS S.A.C.”**



**Para Optar el Título Profesional de Ingeniería Química**

**Vicente Enrique, Chung Ku**

**Noelia Yazmina, Gargate Cerna**

**Asesor: Ing. Rafael Chero Rivas**

**FEBRERO 2004**

# ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DE SOLDADURA EXOTERMICA EN LA EMPRESA PARA-RAYOS S.A.C.

|   |    |
|---|----|
| 1. Resumen  | 5  |
| 2. Teoría   | 7  |
| 2.1. Definición de soldadura  | 8  |
| 2.2. Clases de soldadura  | 9  |
| 2.3. Soldadura exotérmica   | 13 |
| 3. Estudio de mercado   | 18 |
| 4. Pruebas y Análisis Experimentales  | 23 |
| 4.1. Estudio y análisis de la muestra patrón  | 24 |
| 4.1.1. Fundamento del Estudio Físico, Químico y Físico – Químico de la Carga Aluminotérmica                 | 24 |
| 4.1.2. Evaluación de las Propiedades Físicas  | 29 |
| 4.1.3. Evaluación de las Propiedades Químicas   | 33 |
| 4.1.4. Evaluación de las Propiedades Físico – Químicas  | 40 |
| 4.1.5. Resumen de Resultados  | 41 |
| 4.2. Pruebas y Ensayos para Formulación de la Soldadura Aluminotérmica                                      | 41 |
| 4.3. Características de la Carga Aluminotérmica Formulada   | 53 |
| 4.4. Evaluación de Calidad de la Fabricación de la Soldadura Obtenida con la carga Aluminotérmica formulada | 53 |
| 4.4.1. Medición de la Velocidad de Corrosión mediante el Método Gravimétrico                                | 54 |
| 4.4.2. Ensayo de Porosidad en la Soldadura  | 55 |
| 4.4.3. Estructura Metalográfica   | 55 |
| 4.4.4. Interpretación de Resultados   | 56 |

|   |     |
|---|-----|
| 5. Diseño de Planta                               | 59  |
| 5.1. Selección de Mezclador de Partículas         | 60  |
| 5.2. Selección de Hornos para tratamiento térmico | 62  |
| 5.3. Diagrama de Flujo                            | 66  |
| 6. Estudio Económico y Financiero                 | 67  |
| 7. Conclusiones Finales                           | 94  |
| 8. Aportes de la Investigación                    | 97  |
| 9. Anexos   | 99  |
| 10. Bibliografía                                  | 117 |
| 11. Índice de Tablas                              | 120 |
| 12. Índice de Gráficos                            | 124 |

# **1. RESUMEN**



El Objetivo de esta Tesis es ver la pre-factibilidad de poder construir una planta de producción de carga aluminotérmica para soldadura, el cual es un producto nuevo en el Mercado nacional y según nuestros estudios se ofrece un ambiente favorable para llevar a cabo este proyecto tanto por factores económicos así como factores a nivel técnico.

Las aplicaciones de la soldadura exotérmica se ve en:

- Sistemas de protecciones eléctricas subterráneas
- Protección Catódica
- Transporte (Rieles de Tren)
- Protección contra rayos
- Sistemas de protecciones electrónicas (Equipos de Telefonía y Cómputo)

Además frente a otros productos alternativos tales como: soldadura por electrodo y conectores eléctricos, ofrece las siguientes ventajas técnicas:

- Fácil maniobrabilidad y transporte.
- El material conductor se funde con la carga aluminotérmica ofreciendo una excelente conductividad.
- No existirá corrosión debido a la unión molecular formada entre el conductor y la carga aluminotérmica.

La demanda de este producto es creciente como se verifica en el estudio de mercado realizado, por otro lado este nuevo tipo de soldadura ofrece un bajo costo y alto rendimiento en su uso en comparación de otros métodos de conexión.

Este proyecto fue llevado a cabo gracias al apoyo de la empresa Para-Rayos S.A.C. mediante su Jefe de Operaciones el Sr. Vicente Cabrejos, el cual proporcionó todas las facilidades del caso para realizar dicho estudio de tesis.

## **2. TEORIA**

## 2.1. DEFINICION DE SOLDADURA

Soldadura, en ingeniería es el procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a la de las piezas que han de soldarse. La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías: soldadura por presión, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y soldadura por fusión, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal.

En cuanto a la utilización de metal de aportación, se distingue entre soldadura ordinaria y soldadura autógena. Esta última se realiza sin añadir ningún material. La soldadura ordinaria o de aleación se lleva a cabo añadiendo un metal de aportación que se funde y adhiere a las piezas base, por lo que realmente éstas no participan por fusión en la soldadura. Se distingue también entre soldadura blanda y soldadura dura, según sea la temperatura de fusión del metal de aportación empleado; la soldadura blanda utiliza metales de aportación cuyo punto de fusión es inferior a los 450 °C, y la dura metales con temperaturas superiores.

Gracias al desarrollo de nuevas técnicas durante la primera mitad del siglo XX, la soldadura sustituyó al atornillado y al remachado en la construcción de muchas estructuras, como puentes, edificios y barcos. Es una técnica fundamental en la industria del motor, en la aeroespacial, en la fabricación de maquinaria y en la de cualquier producto hecho con metales.

El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles. Los procesos de soldadura se clasifican según las fuentes de presión y calor utilizadas.

## **2.2. CLASES DE SOLDADURA**

### **SOLDADURA ORDINARIA O DE ALEACIÓN**

Método utilizado para unir metales con aleaciones metálicas que se funden a temperaturas relativamente bajas. Se suele diferenciar entre soldaduras duras y blandas, según el punto de fusión y resistencia de la aleación utilizada. Los metales de aportación de las soldaduras blandas son aleaciones de plomo y estaño, en ocasiones, pequeñas cantidades de bismuto. En las soldaduras duras se emplean aleaciones de plata, cobre y cinc (soldadura de plata), de cobre y cinc (latón soldadura).

Para unir dos piezas de metal con aleación, primero hay que limpiar su superficie mecánicamente y recubrirla con una capa de fundente, por lo general resina o bórax. Esta limpieza química ayuda a que las piezas se unan con más fuerza, ya que elimina el óxido de los metales. A continuación se calientan las superficies con un soldador o soplete, y cuando alcanzan la temperatura de fusión del metal de aportación se aplica éste, que corre libremente y se endurece cuando se enfría. En el proceso llamado de resudación se aplica el metal de aportación a las piezas por separado, después se colocan juntas y se calientan. En los procesos industriales se suelen emplear hornos para calentar las piezas.

### **SOLDADURA POR FUSIÓN**

Agrupar muchos procedimientos de soldadura en los que tiene lugar una fusión entre los metales a unir, con o sin la aportación de un metal, por lo general sin aplicar presión y a temperaturas superiores a las que se trabaja en las soldaduras ordinarias.

Hay muchos procedimientos, entre los que destacan la soldadura por gas, la soldadura por arco y la aluminotérmica. Otras más específicas son la soldadura por haz de partículas, que se realiza en el vacío mediante un haz de electrones o de iones, y la soldadura por haz luminoso, que suele emplear un rayo láser como fuente de energía.

### **a) Soldadura por gas**

La soldadura por gas o con soplete utiliza el calor de la combustión de un gas o una mezcla gaseosa, que se aplica a las superficies de las piezas y a la varilla de metal de aportación. Este sistema tiene la ventaja de ser portátil ya que no necesita conectarse a la corriente eléctrica. Según la mezcla gaseosa utilizada, se distingue entre soldadura oxiacetilénica (oxígeno / acetileno) y oxihídrica (oxígeno / hidrógeno), entre otras.

### **b) Soldadura por arco**

Los procedimientos de soldadura por arco son los más utilizados, sobre todo para soldar acero, y requieren corriente eléctrica. Esta corriente se utiliza para crear un arco eléctrico entre uno o varios electrodos aplicados a la pieza, lo que genera el calor suficiente para fundir el metal y crear la unión.

La soldadura por arco tiene ciertas ventajas con respecto a otros métodos. Es más rápida debido a la alta concentración de calor que se genera, por lo tanto produce menos distorsión en la unión. En algunos casos se utilizan electrodos fusibles, que son los metales de aportación, en forma de varillas recubiertas de fundente o desnudas; en otros casos se utiliza un electrodo refractario de wólframio y el metal de aportación se añade aparte. Los procedimientos más importantes de soldadura por arco son con electrodo recubierto, con protección gaseosa y con fundente en polvo.

#### **b.1) Soldadura por arco con electrodo recubierto**

En este tipo de soldadura el electrodo metálico, que es conductor de electricidad, está recubierto de fundente y conectado a la fuente de corriente. El metal a soldar está conectado al otro borne de la fuente eléctrica. Al tocar con la punta del electrodo la pieza de metal se forma el arco eléctrico. El intenso calor del arco funde las dos partes a unir y la punta del electrodo, que constituye el metal de aportación. Este procedimiento, desarrollado a principios del siglo XX, se utiliza sobre todo para soldar acero.

### **b.2) Soldadura por arco con protección gaseosa**

Es la que utiliza un gas para proteger la fusión del aire de la atmósfera. Según la naturaleza del gas utilizado se distingue entre soldadura MIG, si utiliza gas inerte, y soldadura MAG si utiliza un gas activo. Los gases inertes utilizados como protección suelen ser argón y helio; los gases activos suelen ser mezclas con dióxido de carbono. En ambos casos el electrodo, una varilla desnuda o recubierta con fundente, se funde para rellenar la unión. Otro tipo de soldadura con protección gaseosa es la soldadura TIG, que utiliza un gas inerte para proteger los metales del oxígeno, como la MIG, pero se diferencia en que el electrodo no es fusible; se utiliza una varilla refractaria de wolframio. El metal de aportación puede suministrarse acercando una varilla desnuda al electrodo.

### **b.3) Soldadura por arco con fundente en polvo**

Este procedimiento, en vez de utilizar un gas o el recubrimiento fundente del electrodo para proteger la unión del aire, usa un baño de material fundente en polvo donde se sumergen las piezas a soldar. Se pueden emplear varios electrodos de alambre desnudo y el polvo sobrante se utiliza de nuevo, por lo que es un procedimiento muy eficaz.

### **c) Soldadura exotérmica**

El calor necesario para este tipo de soldadura se obtiene de la reacción química de una mezcla de óxido metálico con partículas de aluminio muy finas. El metal líquido resultante constituye el metal de aportación. Se emplea para soldar roturas y cortes en piezas pesadas de hierro y acero, y es el método utilizado para soldar los rieles de los trenes e instalaciones eléctricas subterráneas.

## **SOLDADURA POR PRESIÓN**

Agrupamos todos los procesos de soldadura en los que se aplica presión sin aportación de metales para realizar la unión. Algunos métodos coinciden con los de fusión, como la soldadura con gases por presión, donde se calientan las piezas con una llama, pero difieren en que la unión se hace por presión y sin añadir ningún metal. El procedimiento más utilizado es el de soldadura por resistencia; otros son la soldadura por fragua (descrita más arriba), la soldadura por fricción y otros métodos más recientes como la soldadura por ultrasonidos.

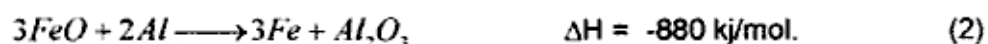
### **a) Soldadura por resistencia**

Se realiza por el calentamiento que experimentan los metales debido a su resistencia al flujo de una corriente eléctrica (efecto Joule). Los electrodos se aplican a los extremos de las piezas, se colocan juntas a presión y se hace pasar por ellas una fuerte corriente eléctrica durante un instante. La zona de unión de las dos piezas, como es la que mayor resistencia eléctrica ofrece, se calienta y funde los metales. Este procedimiento se utiliza mucho en la industria para la fabricación de láminas y alambres de metal, y se adapta muy bien a la automatización.

### 2.3. SOLDADURA EXOTERMICA

Este tipo de soldadura hace uso del calor suministrado por la reacción exotérmica que envuelve la combustión de la carga aluminotérmica, dicha carga aluminotérmica consta de una mezcla de aluminio y de un óxido metálico. Una vez iniciada la combustión de la mezcla de la carga aluminotérmica esta puede llegar a una temperatura de hasta 3000 °C, resultando la formación del metal líquido y su correspondiente escoria.

Reacciones termoquímicas típicas:



La reacción exotérmica no es explosiva y requiere menos de un minuto para que se complete la reacción sin tener en cuenta la cantidad.

Las partes a ser soldadas deberán ser alineadas apropiadamente, las caras superpuestas deberán estar libres de herrumbre, suciedad, humedad y grasa. Un espacio apropiado debe ser proveído entre las caras. El tamaño dependerá del ancho de la junta, el ancho de la misma normalmente requiere un espacio considerable. El molde puede ser construido de acuerdo a las partes a ser soldadas.

Para fabricar el broche de soldadura, las caras superpuestas deberán ser suficientemente precalentadas para promover la completa fusión entre la carga aluminotérmica depositada y el metal base.



Aunque este es llamado proceso de soldadura, la soldadura carga aluminotérmica es muy parecida a la obtención de piezas fundidas de metal y para que se de un camino apropiado es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Compensación para las mermas durante la solidificación.
- Eliminación de los defectos típicos que aparecen en las piezas fundidas.
- Proveer un flujo apropiado de metal fundido.
- Evitar turbulencias de flujo de metal dentro de la junta.

Los procesos de la soldadura exotérmica pueden ser clasificados como:

- 1) Método sin presión, en el cual ninguna fuerza mecánica es aplicada.
- 2) Método con presión, en el cual se aplica una fuerza mecánica.
- 3) Método combinado, en el cual la unión se desarrolla por la aplicación de presión después de que las partes han sido calentadas al estado de fusión.

En todos los procesos de soldadura exotérmica se empleara un molde refractario de dos piezas los cuales se ajustaran sobre la junta en el cual las superficies que colindan han sido previamente limpiadas.

La reacción química ocurre dentro de un crisol especial que permite que el material fundido caiga dentro del molde. Este material fundido puede tanto fundir las superficies colindantes o llevarlos al estado plástico.

Elementos aleantes pueden ser adicionados como componentes de la carga aluminotérmica en la forma de aleaciones ferrosas o no ferrosas en correspondencia con la química de las partes a ser soldadas

Otras adiciones son usadas para incrementar la fluidez así como bajar la temperatura de solidificación de la escoria.

Aplicación de la soldadura exotérmica:

- Soldaduras en los rieles de ferrocarriles
- En las juntas de las tuberías y en la reparación de las partes duras.
- Empalmes de barras de acero reforzado de concreto
- Tratamiento de calor para las soldaduras
- Conexiones eléctricas subterráneas

### Aplicación en conexiones Eléctricas Subterráneas

Se hace uso de una carga aluminotérmica formada por óxido de cobre y aluminio, para las juntas de soldaduras en conductores de cobre. El tiempo de reacción es de 1 a 5 segundos, produciendo cobre fundido súper calentado y escoria. Otros metales en la forma de trozos de metal o polvos podrán ser añadidos para producir una aleación para una aplicación de un proceso particular.

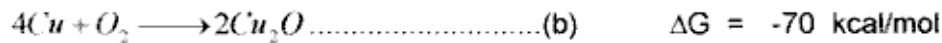
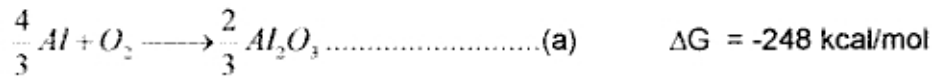
Ejemplo: Un Bronce al Aluminio (4-11%), el cual presentará altas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, superando considerablemente a los bronce de estaño y los latones de Zn.

El proceso básicamente es usado para la soldadura de barras de cobre, cables y juntas de alambres, además de conductores de cobre, hasta rieles de acero para puestas a tierra. Para estas últimas aplicaciones un molde de grafito será sujetado con unas manoplas hacia la sección del riel específicamente en la junta. Tan pronto como la reacción de la carga aluminotérmica ha sido completada, la fusión del cobre y el disco de retención fluirán dentro de la cavidad de la junta quedando la escoria encima del broche por la diferencia de densidad ( $\rho_{Al_2O_3} = 3,99$  y  $\rho_{Cu} = 8,92$ ). Esta solidificará en unos pocos segundos, creará una soldadura entre la base del metal y el cable de cobre. Una vez que el molde ha sido removido, este podrá ser usado una y otra vez después de que la escoria ha sido removida de la cámara de reacción.

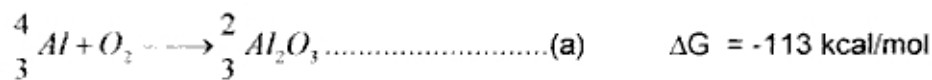
Se muestra en el Anexo I, los diferentes tipos de empalme usados en las conexiones eléctricas subterráneas.

Reacciones desarrolladas en el proceso carga aluminotérmica:

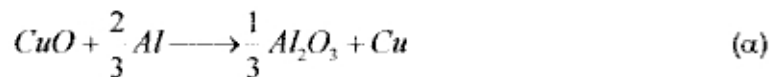
Datos Termodinámicos a P = 1atm, T = 25 °C



Datos Termodinámicos a P = 1 atm y T = 2500 °C

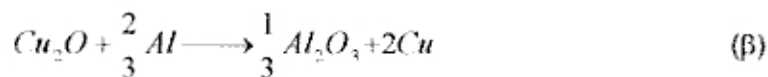


Reacciones desarrolladas a P = 1 atm, T = 25 °C



$$\frac{2a - (b + c)}{4} \Delta G_f = -94 \text{ kcal/mol}$$

Relación en Peso: 4.5 g Oxido Cúprico / 1 g de Aluminio



$$\frac{a - b}{2} \Delta G_f = -89 \text{ kcal/mol}$$

Relación en Peso: 8.0 g Oxido Cuproso / 1 g de Aluminio

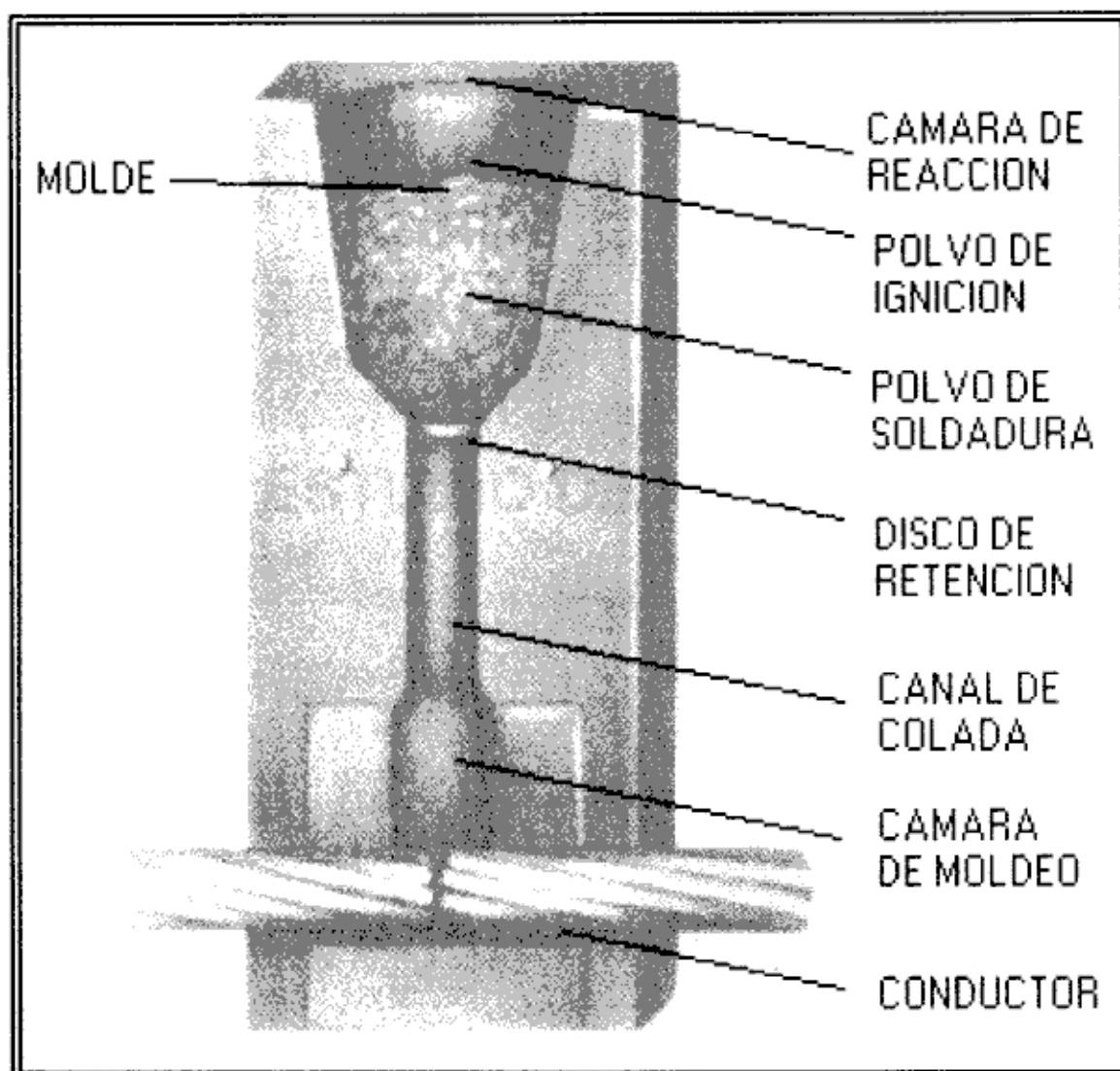


Grafico 1 - Molde de grafito donde se realiza la reacción de la soldadura exotérmica

### **3. ESTUDIO DE MERCADO**

Debido a que en estos últimos 5 años se ha apreciado una creciente demanda de este producto tanto en las áreas de minería, telefonía y protecciones eléctricas, la empresa Para-Rayos S.A.C. ha analizado directamente su competencia en el mercado a fin de poder ver su grado de participación en este actualmente.

A partir de lo cual se ha tomado la decisión de planificar la siguiente producción de este producto para un calculo de 5 años en el cual la meta de la empresa es tomar el 40% del mercado nacional de consumo de soldadura exotérmica y para lo que se hizo un estudio en base a la importación de los competidores actuales en el mercado, así mismo se determinó un precio por el cual nuestro producto logre ser altamente competitivo con un gran margen de utilidad:

| Proyección de la Demanda de Acuerdo la Competencia de Mercado |                        | 40%                     |
|---|------------------------|-------------------------|
| Año   | Importación Total (Kg) | Demanda Para-Rayos (Kg) |
| 2005  | 3530.200               | 1410.00                 |
| 2006  | 3759.240               | 1500.00                 |
| 2007  | 3988.280               | 1600.00                 |
| 2008  | 4217.320               | 1690.00                 |
| 2009  | 4446.360               | 1780.00                 |

Tabla 1 - Proyección de demanda de soldadura exotérmica de Para-Rayos S A C.

Actualmente nadie produce este producto a nivel nacional, lo cual como se verá mas adelante, ofrece a la empresa, de llevarse a cabo el proyecto, una ventaja competitiva en cuanto a costos y disponibilidad para los clientes.

Los historiales y cuadros de participación en el mercado, así como los porcentajes de participación de los importadores se muestran a continuación:

| <b>IMPORTACIONES AL PERÚ SEGÚN PAÍS Y AÑO</b> |         |                                |
|---|---------|--------------------------------|
| <b>1996</b>                                   |         |                                |
| Pais  | kg.     | % Aporte en el Mercado Peruano |
| BRASIL  | 6099.34 | 90.99%                         |
| CHILE   | 604.02  | 9.01%                          |
| Total   | 6703.36 | 100.00%                        |
| <b>1997</b>                                   |         |                                |
| Pais  | kg.     | % Aporte en el Mercado Peruano |
| BRASIL  | 592.35  | 23.40%                         |
| CHILE   | 1938.96 | 76.60%                         |
| Total   | 2531.31 | 100.00%                        |
| <b>1998</b>                                   |         |                                |
| Pais  | kg.     | % Aporte en el Mercado Peruano |
| CHILE   | 571.22  | 29.27%                         |
| BRASIL  | 1380.25 | 70.73%                         |
| Total   | 1951.47 | 100.00%                        |
| <b>1999</b>                                   |         |                                |
| Pais  | kg.     | % Aporte en el Mercado Peruano |
| BRASIL  | 487.50  | 18.67%                         |
| UNITED STATES                                 | 148.43  | 5.69%                          |
| CANADA  | 84.06   | 3.22%                          |
| CHILE   | 1880.72 | 72.04%                         |
| FRANCIA                                       | 10.00   | 0.38%                          |
| Total   | 2610.71 | 100.00%                        |
| <b>2000</b>                                   |         |                                |
| Pais  | kg.     | % Aporte en el Mercado Peruano |
| UNITED STATES                                 | 4625.87 | 83.04%                         |
| BRAZIL  | 54.15   | 0.97%                          |
| CHILE   | 890.34  | 15.98%                         |
| Total   | 5570.36 | 100.00%                        |
| <b>2001</b>                                   |         |                                |
| Pais  | kg.     | % Aporte en el Mercado Peruano |
| BRAZIL  | 1161.83 | 43.68%                         |
| UNITED STATES                                 | 449.54  | 16.90%                         |
| CHILE   | 982.18  | 36.93%                         |
| CANADA  | 66.29   | 2.49%                          |
| Total   | 2659.84 | 100.00%                        |
| <b>2002</b>                                   |         |                                |
| Pais  | kg.     | % Aporte en el Mercado Peruano |
| BRAZIL  | 1303.27 | 40.70%                         |
| UNITED STATES                                 | 1769.10 | 55.25%                         |
| ARGENTINA                                     | 64.66   | 2.02%                          |
| CHILE   | 65.19   | 2.04%                          |
| Total   | 3202.22 | 100.00%                        |

Tabla 2.- Importaciones de soldadura exotérmica al Perú según el país desde 1996 hasta el 2002

### Importaciones S.E. 1996 - 2002

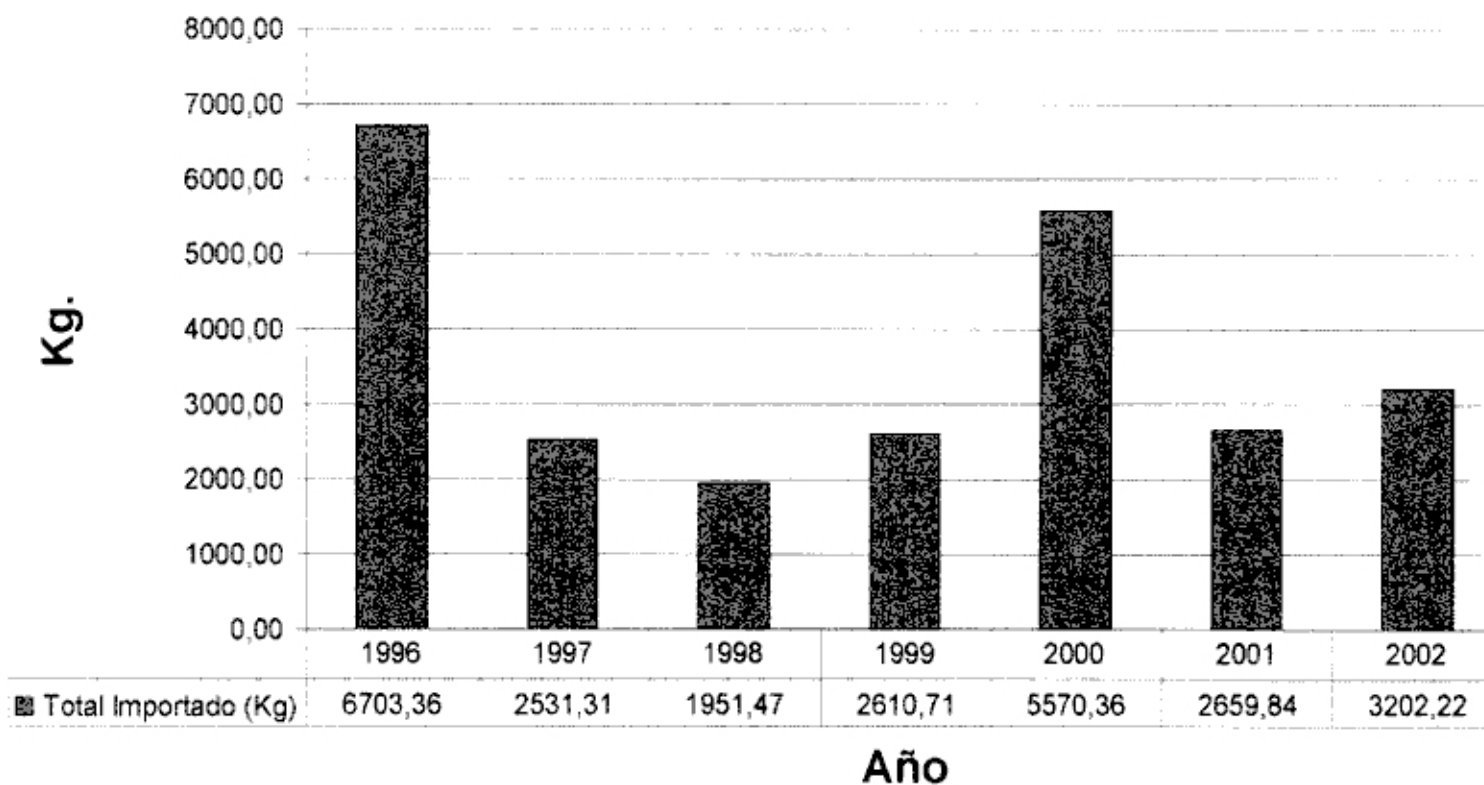


Grafico 2 - Importaciones de soldadura exotérmica de 1996 - 2002



| Importaciones Total de Soldadura Exotérmica 1996 - 2002 |                    |                          |
|---|--------------------|--------------------------|
| Año   | Importación. Total | Importación. Competencia |
| 1996  | 6703.36            | 892.61                   |
| 1997  | 2531.31            | 2531.31                  |
| 1998  | 1951.47            | 1951.47                  |
| 1999  | 2610.71            | 2610.71                  |
| 2000  | 5570.36            | 1358.79                  |
| 2001  | 2659.84            | 2659.84                  |
| 2002  | 3202.22            | 3142.22                  |

Tabla 3.- Importación de la competencia de la empresa Para-Rayos S.A.C.

### Importacion Total 1996-2002

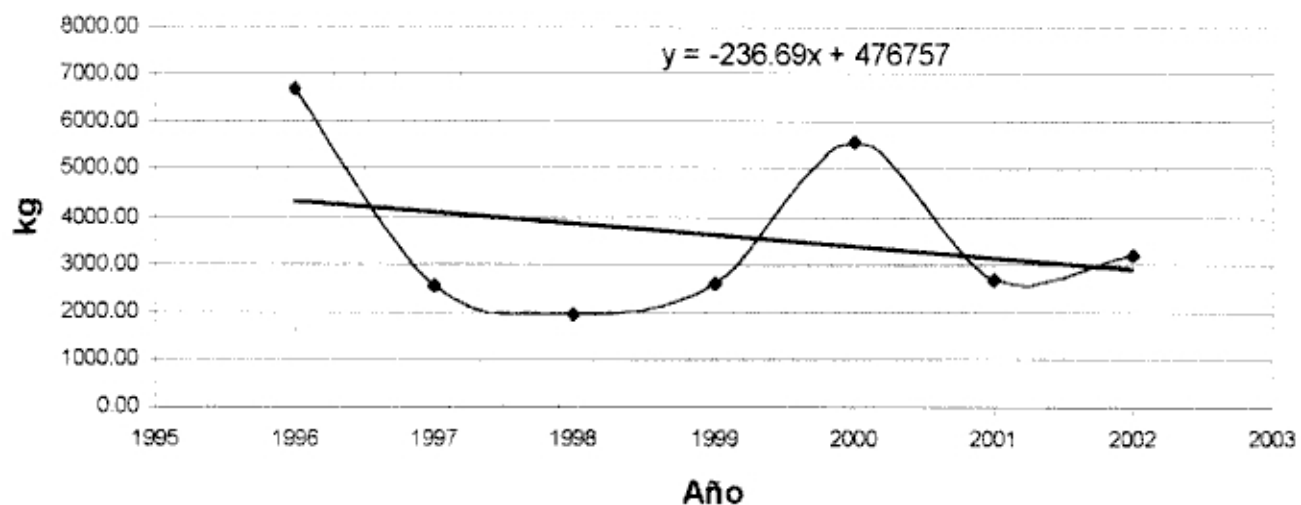


Gráfico 3 - Importación total de soldadura exotérmica de 1996-2002

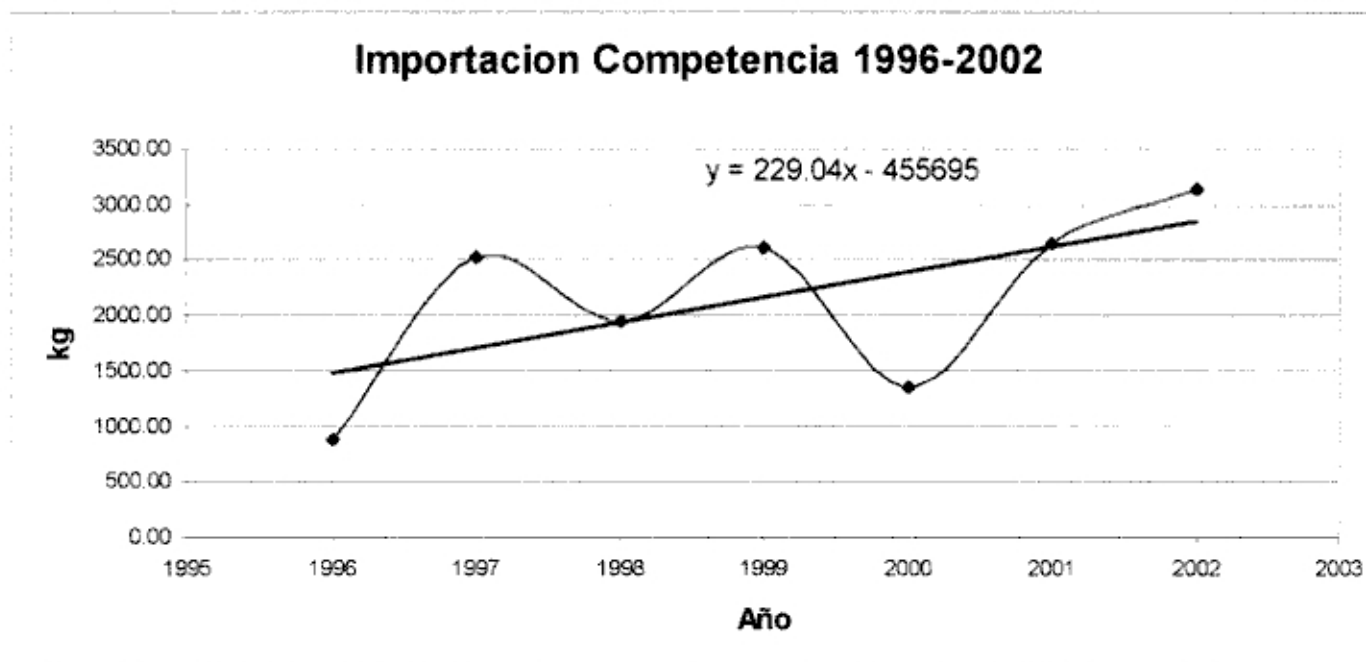


Grafico 4.- Importación de la competencia de Para-Rayos S.A.C. 1996 - 2002

| Proyección de la Demanda de Acuerdo la Competencia de Mercado |                              | Demanda Para-Rayos 40% |
|---|------------------------------|------------------------|
| Año   | Importación Total Proyectada |                        |
| 2005  | 3530.200                     | 1410.00                |
| 2006  | 3759.240                     | 1500.00                |
| 2007  | 3988.280                     | 1600.00                |
| 2008  | 4217.320                     | 1690.00                |
| 2009  | 4446.360                     | 1780.00                |

Tabla 4.- Proyección de la demanda de Para-Rayos S.A.C. del 2005 al 2009

## **4. PRUEBAS Y ANÁLISIS EXPERIMENTALES**

## 4.1. ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA MUESTRA PATRON

### 4.1.1. FUNDAMENTO DEL ESTUDIO FÍSICO, QUÍMICO Y FÍSICO - QUÍMICO DE LA CARGA ALUMINOTÉRMICA

Definiciones

X, Y, W, Z..... : Sea la Nomenclatura de los subgrupos de partículas con similitud física de la carga aluminotérmica separados físicamente

#### a) Método de Análisis Granulométrico de la Carga Aluminotérmica <sup>11</sup>

Procedimiento: Se toma una alícuota representativa (aproximadamente 50 g), haciéndose esto por duplicado

El análisis granulométrico se realiza entre Malla ASTM: 25 a -350

Sean: G1, G2: Pesos obtenidos del tamizado entre las mallas 25 a -350

G: Pesos promedio obtenido a partir de G1, G2

Equivalencia entre el número de malla ASTM y el tamaño de partícula

| MALLA<br>ASTM | ABERTURA NOMINAL |       |
|---------------|------------------|-------|
|               | mm.              | pulg. |
| 25            | 0,707            | 0,278 |
| 60            | 0,250            | 0,009 |
| 100           | 0,149            | 0,006 |
| 140           | 0,105            | 0,004 |
| 230           | 0,063            | 0,002 |
| 350           | 0,030            | 0,001 |

Tabla 5.- Escala de mallas ASTM para análisis de distribución de partícula

**b) Método para el Brillo o Lustre Metálico <sup>14</sup>**

El brillo o lustre metálico se realiza mediante una inspección visual, con lo cual se caracteriza los posibles componentes de la carga aluminotérmica.

**c) Método de Determinación de la Raya <sup>14</sup>**

Se obtiene al rozar el sólido de interés sobre una placa de porcelana sin barnizar, la cual arrojará un color característico de un posible producto.

**d) Método de Análisis de la Propiedad Térmica <sup>14</sup>**

La muestra patrón es dividida según su distribución granulométrica (ASTM) luego estas sub-muestras se exponen a una temperatura de 500 C en una placa de cobre como soporte a fin de poder ver si hay variación del punto de fusión entre los tamaños de las sub-muestras (La intención es tratar de detectar si existe algún componente con un punto de fusión relativamente bajo al punto de fusión del cobre) El calor aplicado a dicha placa de cobre será proporcionado por una cocina eléctrica.

**e) Método de Análisis Cuantitativo y Granulométrico de los Principales Componentes de la Carga Aluminotérmica <sup>8</sup>**

Se toma una alícuota representativa. Con ayuda de un microscopio de 100X se procede a separar a la alícuota por similitud física

**DEFINICIONES**

$m$  : Alícuota parcial de G para el análisis en el microscopio

$m_x$  : Peso de X separada con ayuda del microscopio

$m_y$  : Peso de Y separada con ayuda del microscopio

$P_x$  : % X en m

$P_Y$  : % Y en m

$G_X$  : Peso de X en G

$G_Y$  : Peso de Y en G

$G_{TX}$  : Peso total de X en la alícuota aproximada de 50 g

$G_{TY}$  : Peso total de Y en la alícuota aproximada de 50 g

$P_{TX}$  : % X en la alícuota aproximada de 50 g

$P_{TY}$  : % Y en la alícuota aproximada de 50 g

**Cálculo**

$$P_X = m_X \cdot 100 / m$$

$$P_Y = m_Y \cdot 100 / m$$

$$G_X = P_X \cdot G$$

$$G_Y = P_Y \cdot G$$

$$G_{TX} = \Sigma G_X$$

$$G_{TY} = \Sigma G_Y$$

$$P_{TX} = G_{TX} \cdot 100 / \Sigma G$$

$$P_{TY} = G_{TY} \cdot 100 / \Sigma G$$

#### f) Método para Solubilidad en Agua <sup>15</sup>

1. Peso inicial de la muestra en luna de reloj
2. Adición de agua destilada
3. Decantación y secado del agua
4. Pesada final de la muestra después del secado

#### g) Método de Solubilidades para Ácido <sup>15</sup>

1. Se pesó en una placa de toques, pesos aproximadamente de (0,0025 – 0,0045) gramos
2. Se adicionó 1 gota de ácido a las muestras, y se fue adicionando gota a gota hasta que a simple vista se observe que ya no hay disolución

#### h) Métodos en los Ensayos Cualitativos <sup>12</sup>

##### h.1) Método de Determinación del Hierro

Disolución de una alícuota en HCl (cc)

Adición de  $K_4Fe(CN)_6$

##### h.2) Método de Determinación del Aluminio

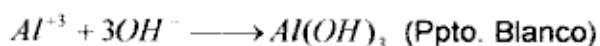
Disolución de una alícuota en  $HNO_3$  (3M)

Adicionar una solución de Aluminio

Adicionar  $NH_4Cl$  y  $NH_3$  (cc) hasta una ligera basicidad al tornasol

Formación de un precipitado coloreado en rojo por el colorante, indicará la presencia de aluminio.

Reacciones desarrolladas:



### **h.3) Método de Determinación del Cobre**

A la solución de  $\text{Cu}^{+2}$  agregar gotas de  $\text{NH}_4\text{OH}$  15M hasta alcalinidad, con la finalidad de formar el complejo  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ .

Adicionar  $\text{CH}_3\text{COOH}$  6M hasta acidez. Agregar  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  0,2M en gotas hasta obtención de un precipitado marrón-rojo.

### **i) Método Utilizado en la Determinación Cuantitativa de Cobre <sup>13</sup>**

#### **i.1) Método Utilizado en la Determinación de cobre /14/**

Se utilizó el método iodométrico

##### **1) Preparación de la muestra**

- Pesar una alícuota de muestra problema M y disolverlo en  $\text{HNO}_3$  diluido
- Adicionar partículas de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  hasta turbidez
- Adicionar un volumen de  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- Adicionar un peso de KI
- Titulación previa con Tiosulfato de Sodio  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  con una normalidad determinada hasta obtener un color amarillo bajo
- Adicionar Tiocianato de potasio y un indicador de almidón
- Seguir con la titulación hasta observar cambio en la coloración

##### **2) Finalmente se determinó la cantidad de cobre en estas muestras expresados como $\text{Cu}^{+2}$**

$$\text{Peso de Cobre} = (N \cdot V_{\text{gastado}})_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{Cu}}$$

$$\% \text{ Cu} = \text{Peso de Cobre} \cdot 100 / M$$



#### j) Método utilizado de la Propiedad Magnética

- 1) Se utilizó un imán plano redondo
- 2) Se utilizó un electroimán con las siguientes características
  - Un campo magnético generado por una pila de 1,5 V
  - Una bobina de 25 espiras de 1,5 mm
  - Una barra de 3,5 cm. de largo y un diámetro de 1,5 mm

#### 4.1.2. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS

##### a) Análisis Granulométrico, según 4.1.1 (a)

| Malla ASTM  | 25     | 60      | 100    | 140     | 230    | 350    | -350    |
|-------------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|
| G1 (g)      | 0,1869 | 23,5066 | 9,3247 | 12,4709 | 3,0168 | 0,0542 | 1,0908  |
| G2 (g)      | 0,2195 | 24,8563 | 8,9224 | 11,1954 | 3,1602 | 0,0686 | 1,2331  |
| G (g)       | 0,2032 | 24,1815 | 9,1236 | 11,8332 | 3,0885 | 0,0614 | 1,1620  |
| % Ret.      | 0,41%  | 48,70%  | 18,37% | 23,83%  | 6,22%  | 0,12%  | 2,34%   |
| % Acum. Ret | 0,41%  | 49,11%  | 67,48% | 91,32%  | 97,54% | 97,66% | 100,00% |
| % Passing   | 99,56% | 51,32%  | 81,63% | 76,18%  | 93,78% | 99,88% | 97,66%  |

Tabla 6 - Distribución de tamaño de partícula de la muestra patrón de la carga aluminotérmica

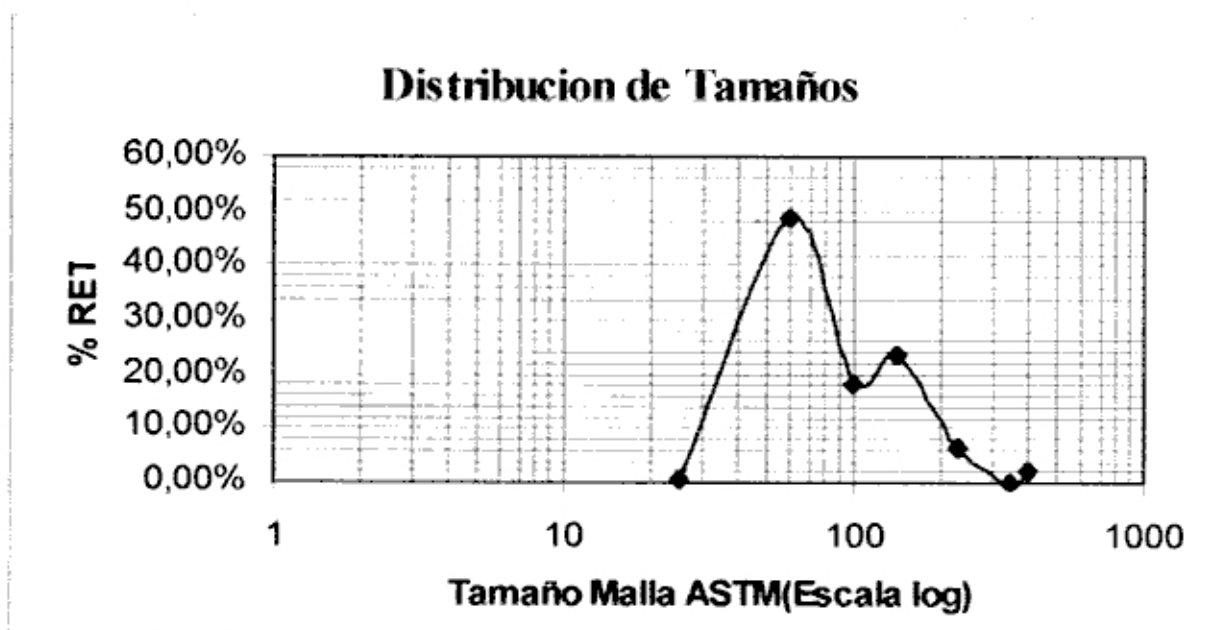


Gráfico 5.- Distribución de tamaño de partícula de la muestra patrón de la carga aluminotérmica

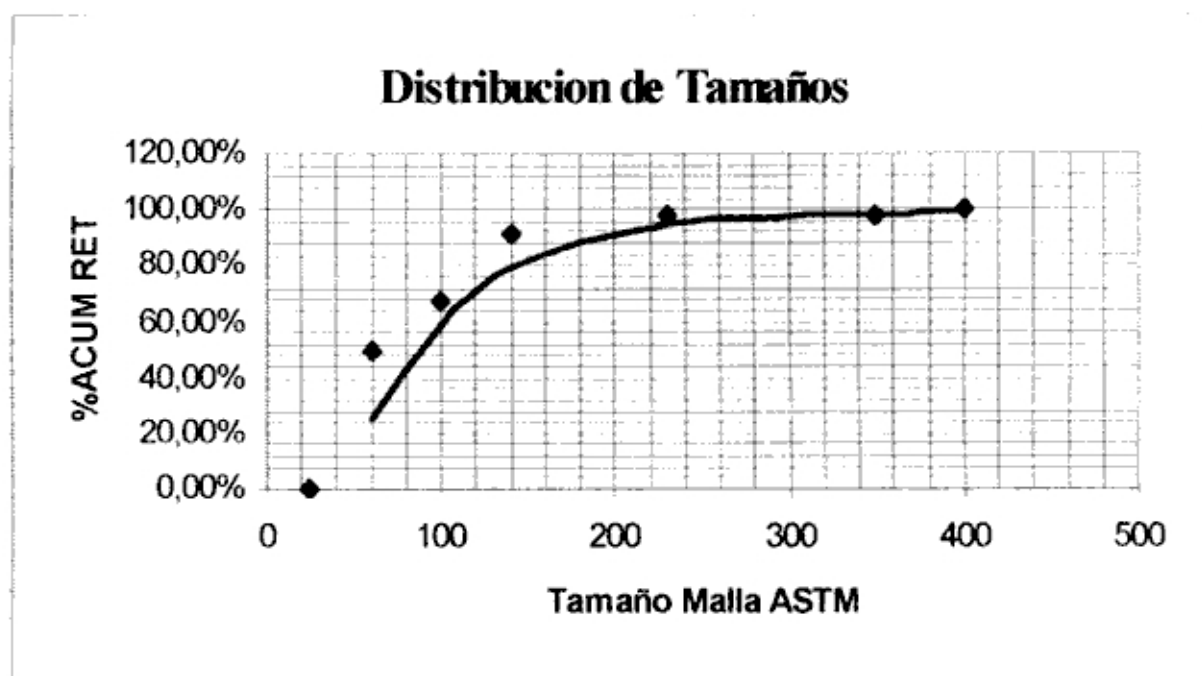


Grafico 6.- Distribución de tamaño de partícula acumulado de la muestra patrón de la carga aluminotérmica

**b) Brillo o Lustre Metálico de M1, según 4.1.1 (b)**

|                 |    |    |     |     |     |     |      |
|-----------------|----|----|-----|-----|-----|-----|------|
| Malla ASTM      | 25 | 60 | 100 | 140 | 230 | 350 | -350 |
| Brillo Metálico | Si | Si | Si  | Si  | Si  | No  | No   |

Tabla 7.- Análisis de Brillo Metálico de Acuerdo al Tamaño de Partícula de la Muestra Patrón

**c) Evaluación de la Raya, según 4.1.1 (c)**

El sólido X no da ninguna coloración, sin embargo el otro sólido Y deja una coloración de la raya rojo carmín.

**d) Evaluación de la Propiedad Térmica, según 4.1.1 (d)**

|             |    |    |     |     |     |     |      |
|-------------|----|----|-----|-----|-----|-----|------|
| Malla ASTM  | 25 | 60 | 100 | 140 | 230 | 350 | -350 |
| Fusibilidad | No | No | No  | No  | No  | No  | No   |

Tabla 8.- Análisis de fusibilidad de acuerdo al tamaño de partícula de la muestra patrón

**e) Análisis Cuantitativo y Granulométrico de los Principales Componentes en la Carga Aluminotérmica Patrón, según 4.1.1 (e)**

| Malla ASTM          | 25     | 60      | 100                         | 140     | 230    | -230    |
|---------------------|--------|---------|-----------------------------|---------|--------|---------|
| G (g)               | 0,2032 | 24,1815 | 9,1236                      | 11,8332 | 3,0885 | 1,2234  |
| m (g)               | 0,2032 | 1,0481  | 1,0168                      | 1,1667  | 0,1059 | 0,1071  |
| m <sub>x</sub> (g)  | 0,2032 | 0,2356  | 0,2106                      | 0,2190  | 0,0251 | 0,0386  |
| m <sub>y</sub> (g)  | 0      | 0,8074  | 0,7922                      | 0,9161  | 0,0808 | 0,0685  |
| X <sub>p</sub> (%)  | 0      | 22,59   | 21,00                       | 19,29   | 23,70  | 36,00   |
| X <sub>N</sub> (%)  | 100    | 77,41   | 79,00                       | 80,71   | 76,30  | 64,00   |
| G <sub>x</sub> (g)  | 0      | 5,4626  | 1,9160                      | 2,2826  | 0,7320 | 0,4404  |
| G <sub>y</sub> (g)  | 0,2032 | 18,7189 | 7,2076                      | 9,5506  | 2,3565 | 0,7830  |
| GT = 49,6534 g      |        |         | Carga Aluminotérmica Patrón |         |        |         |
| G <sub>TX</sub> (g) |        |         |                             |         |        | 10,8336 |
| G <sub>TY</sub> (g) |        |         |                             |         |        | 38,8198 |
| P <sub>TX</sub> (%) |        |         |                             |         |        | 21,82 % |
| P <sub>TY</sub> (%) |        |         |                             |         |        | 78,18 % |

Tabla 9.- Distribución de partículas de los principales componentes en la carga aluminotérmica patrón

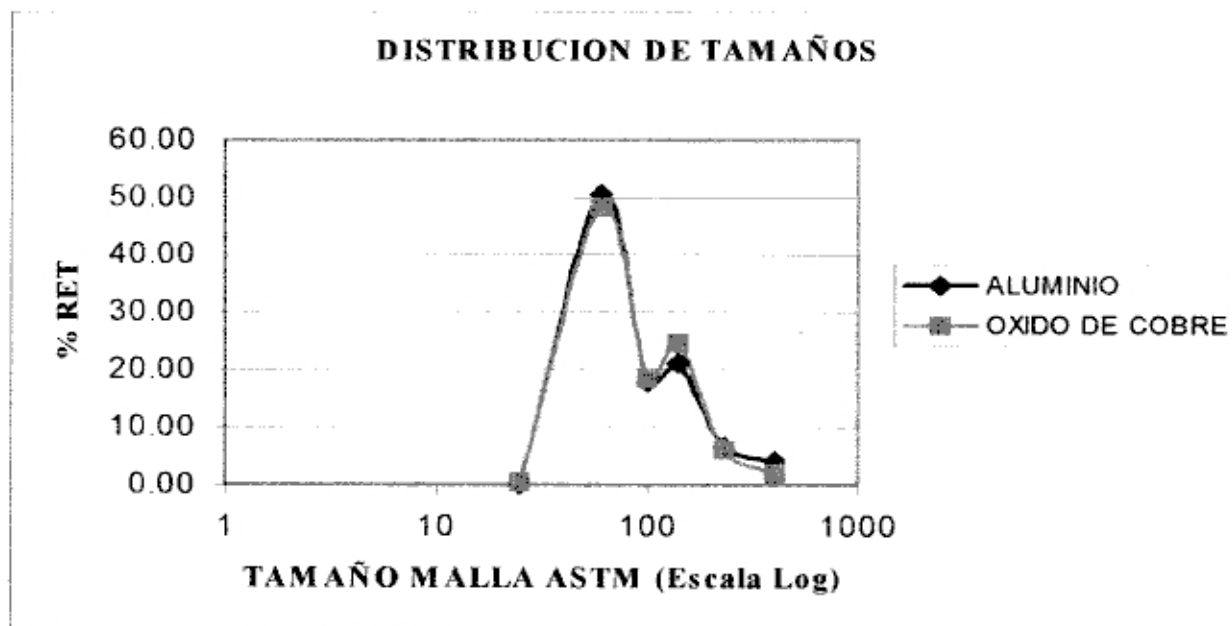


Gráfico 7 - Distribución de tamaño de partícula del aluminio y óxido de cobre de la muestra patrón de la carga aluminotérmica

## OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Del análisis granulométrico, las dos gráficas representadas demuestran que las partículas que contribuyen en peso de la carga aluminotérmica patrón están dentro del rango de malla ASTM 60-140

Con respecto al brillo metálico:

- Se observa un brillante adamantino con respecto al sólido X de la carga aluminotérmica patrón, mientras que para el otro sólido Y, algunas tienen un brillo metálico acerado y otras simplemente no presentan brillo.
- Los componentes de la carga aluminotérmica patrón al encontrarse en un tamaño de partícula ( $< -350$ ) van perdiendo su brillo metálico. La ausencia de brillo metálico a partir de la malla 350 se debe a la anulación de rayos reflejados que están en todas las direcciones, el color tiende al negro.
- La raya dejada por el sólido Y posee la coloración típica del óxido cuproso.

En la evaluación de la propiedad térmica:

- Solo el sólido Y pierde brillo metálico al someterlo a calentamiento, además el tipo de raya cambia a un color marrón oscuro.
- Según la fusibilidad se puede decir que todos los componentes de la carga aluminotérmica patrón tienen un punto de fusión mayor de 500 °C (aproximadamente)

Del análisis cuantitativo y granulométrico de la carga aluminotérmica patrón, se puede encontrar a grandes rasgos las cantidades utilizadas de los componentes principales, así como la relación entre la distribución de tamaños de partícula.

#### 4.1.3. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES QUIMICAS

##### f) Solubilidad en Agua, según 4.1.1 (f)

| Malla ASTM |                | 25     | 60     | 100    | 140    | 230    | 350    | -350   |
|------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M1         | Peso inic. (g) | 0,0093 | 0.1088 | 0.0067 | 0.0201 | 0.0255 | 0.0121 | 0.0324 |
|            | Peso fin (g)   | 0.0096 | 0.1085 | 0.0066 | 0.0200 | 0.0253 | 0.0120 | 0.0324 |
| M2         | Peso inic. (g) | 0.0731 | 0.0972 | 0.0622 | 0.0564 | 0.0143 | 0.0123 | 0.0153 |
|            | Peso fin (g)   | 0.0731 | 0.0971 | 0.0624 | 0.0564 | 0.0143 | 0.0125 | 0.0159 |

Tabla 10.- Pruebas de solubilidad en agua de la muestra patrón según la distribución de partículas ASTM

##### g) Solubilidades en Ácidos, según 4.1.1 (g)

En ácido nítrico concentrado (15 M )

| Malla ASTM |                  | 25       | 60       | 100      | 140      | 230      | 350      | -350     |
|------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| M1         | Color Gases      | Pardo    | Pardo    | Pardo    | Pardo    | Pardo    | Pardo    | Pardo    |
|            | Color Disolución | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  |
|            | Nota             | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
|            | Residuo          | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       |
|            | Nota             | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
| M2         | Color Gases      | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro |
|            | Color Disolución | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  |
|            | Nota             | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       |
|            | Residuo          | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       |
|            | Nota             | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       |

Tabla 11.- Pruebas de solubilidad en ácido nítrico (15M) de la muestra patrón según la distribución de partículas ASTM

Notas del color de disolución

1, 2, 3, 4, 8 : el color es intenso

5, 9, 10, 11, 12 : el color es menos intenso

6, 7, 13, 14 : el color es tenue

Notas del residuo

1,8 : Casi nada de residuo

2, 3, 4, 9, 10, 11 : En su mayoría son partículas X

5, 6, 7 : Hay un residuo oscuro a simple vista con trazas de partículas X

En ácido nítrico diluido (1-1)

| Malla ASTM |                  | 25       | 60       | 100      | 140      | 230      | 350      | -350     |
|------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| M1         | Color gases      | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro |
|            | Color disolución | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  |
|            | Nota             | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
|            | Residuo          | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       |
|            | Nota             | 1        | 2        | 3*       | 4*       | 5        | 6        | 7        |
| M2         | Color gases      | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro | Incoloro |
|            | Color disolución | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  | Celeste  |
|            | Nota             | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       |
|            | Residuo          | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       | Si       |
|            | Nota             | 8        | 9        | 10*      | 11*      | 12       | 13       | 14       |

Tabla 12.- Pruebas de solubilidad en ácido nítrico diluido de la muestra patrón según la distribución de partículas ASTM

Notas del color de disolución

1-5, 8-12 : El color es intenso

6, 7, 13, 14 : El color es tenue

Notas del residuo

5, 6, 7, 12,13, 14 : Residuos de color negro

En Ácido Clorhídrico Concentrado (12M)

| Malla ASTM |                  | 25          | 60                   | 100              | 140              | 230              | 350              | -350             |
|------------|------------------|-------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| M1         | Color gases      | Incoloro    | Incoloro             | Incoloro         | Incoloro         | Incoloro         | Incoloro         | Incoloro         |
|            | Color disolución | Verde limón | Amarillo limón claro | Amarillo verdoso | Amarillo verdoso | Amarillo verdoso | Amarillo verdoso | Amarillo verdoso |
|            | Nota             | 1           | 2                    | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                |
|            | Residuo          | NO          | SI                   | SI               | SI               | SI               | SI               | SI               |
|            | Nota             | 1           | 2                    | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                |
| M2         | Color gases      | Incoloro    | Incoloro             | Incoloro         | Incoloro         | Incoloro         | Incoloro         | Incoloro         |
|            | Color disolución | Verde limón | Amarillo limón claro | Amarillo limón   | Verde limón      | Verde limón      | Amarillo Verdoso | Amarillo Verdoso |
|            | Nota             | 8           | 9                    | 10               | 11               | 12               | 13               | 14               |
|            | Residuo          | SI          | SI                   | SI               | SI               | SI               | SI               | SI               |
|            | Nota             | 8           | 9                    | 10               | 11               | 12               | 13               | 14               |

Tabla 13.- Pruebas de solubilidad en ácido clorhídrico (12M) de la muestra patrón según la distribución de partículas ASTM.

Notas del color de disolución

Para: P = 1atm T = 24,39 C, HR. = 82,5%

1: La solución cristaliza, los cristales formados son celestes en forma de agujas

2-7: La solución cristaliza, los cristales formados son verde limón en forma de agujas

Notas del residuo

2, 3, 9-12\* : Restos de color anaranjado ladrillo que solubiliza lentamente

\* : Trazas de color negro y plomo

4, 5, 7, 13,14 : Partículas de la misma apariencia que la muestra original

En ácido clorhídrico diluido (3M)

| Malla ASTM |                  | 25                  | 60                  | 100                 | 140                 | 230                 | 350                 | -350                |
|------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| M1         | Color gases      | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            |
|            | Color disolución | Incoloro            | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Incoloro            | Incoloro            |
|            | Nota             | 1                   | 2                   | 3                   | 4                   | 5                   | 6                   | 7                   |
|            | Residuo          | Si                  | Si                  | Si                  | Si                  | Si                  | Si                  | Si                  |
|            | Nota             | 1                   | 2                   | 3                   | 4                   | 5*                  | 6                   | 7                   |
| M2         | Color gases      | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            | Incoloro            |
|            | Color disolución | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso | Amarillo<br>verdoso |
|            | Nota             | 8                   | 9                   | 10                  | 11                  | 12                  | 13                  | 14                  |
|            | Residuo          | No                  | Si                  | Si                  | Si                  | Si                  | Si                  | Si                  |
|            | Nota             | 8                   | 9                   | 10                  | 11                  | 12                  | 13                  | 14                  |

Tabla 14.- Pruebas de solubilidad en ácido clorhídrico (3M) de la muestra patrón según la distribución de partículas ASTM.

Notas del color de disolución

Al día siguiente:

1-7, 8-14 : La coloración se intensifica

Notas del residuo

1-4, 9-12 : Hay restos de color anaranjado ladrillo (casi toda la muestra)

5\*, 6, 7, 1, 14 : Hay un polvillo plomo

\* : Partículas de color anaranjado ladrillo

Al día siguiente:

12, 14\* : Trazas de apariencia de la muestra original

\* : El resto es regular

9 : Queda trazas de color anaranjado ladrillo

En agua regia (1 HNO<sub>3</sub> conc.+ 3 HCl conc)



| Malla ASTM |                  | 25          | 60          | 100         | 140         | 230         | 350         | -350        |
|------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| M1         | Color Gases      | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    |
|            | Color Disolución | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón |
|            | Nota             | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           |
|            | Residuo          | No          | No          | No          | Si          | Si          | Si          | Si          |
|            | Nota             | 1           | 2           | 3           | 4*          | 5           | 6           | 7           |
| M2         | Color Gases      | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    | Incoloro    |
|            | Color Disolución | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón | Verde limón |
|            | Nota             | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          |
|            | Residuo          | No          | Si          | Si          | Si          | Si          | Si          | Si          |
|            | Nota             | 8           | 9           | 10          | 11*         | 12          | 13          | 14          |

Tabla 15 - Pruebas de solubilidad en agua regia de la muestra patrón según la distribución de partículas ASTM

#### Notas del color de disolución

- 8 : El color es intenso  
9-12 : El color es mas claro  
13 y 14 : El color es tenue

Observación: El color resultante se va formando por uno originalmente amarillo y la combinación de un color intenso azul

#### Notas del residuo

- 1-4, 9-12 : Hay restos de color anaranjado ladrillo (casi toda la muestra)  
4\*-7, 8-11\* : Hay un polvillo negro es casi toda la muestra  
\* : Casi nada de residuo

#### h) Análisis Químico Cualitativo, según 4.1.1 (h)

| Carga Aluminotérmica Patrón          |                          |                    |       |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------|-------|
| Compuesto formado                    | Color                    | Elemento detectado | Notas |
| $\text{Cu}_2 \text{Fe}(\text{CN})_6$ | Marrón-rojo              | Cu                 | 1     |
| $\text{Al}(\text{OH})_3$             | Blanco coloreado de rojo | Al                 | 2     |
| $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$   | Azul-oscuro              | Fe                 | 3     |
| Polvo de Ignición Patrón             |                          |                    |       |
| Compuesto Formado                    | Color                    | Elemento Detectado |       |
| $\text{Al}(\text{OH})_3$             | Blanco coloreado de rojo | Al                 |       |

Tabla 16.- Resultados de análisis químico cualitativo de la muestra patrón.

#### Notas:

- 1 : Se analizó solo al sólido Y , según 4.1.1 (h3)
- 2 : Se analizó solo al sólido X, según 4.1.1 (h2)
- 3 : Fracción separada con un imán, según 4.1.1 (h1)

**i) Análisis Químico Cuantitativo, según 4.1.1 (i)**

| Muestras     | M1   | M2   | M3   |
|--------------|------|------|------|
| % Cu en peso | 91.5 | 92.5 | 92.7 |

Tabla 17.- Resultado porcentual de contenido de cobre en la muestra patrón.

**OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**

**Con respecto a la solubilidad en agua:**

Según los ensayos de la prueba de solubilidad, se puede decir que el producto de cada una de las mallas no es soluble en agua destilada.

**Con respecto a la solubilidad en ácido nítrico concentrado:**

Insolubilidad de las partículas X a esta concentración de ácido (esta es una particularidad del elemento metálico aluminio, conocido como pasividad).

Disolución completa de las partículas Y.

Disolución de la alicuota en cada una de las mallas por parte de la fracción de partículas Y, determinándose una menor contribución en la malla debajo de 230 y existencias de residuos formado por la fracción de las partículas Y principalmente.

Presencia de cobre metálico.

**Con respecto a la solubilidad en ácido nítrico diluido:**

Disolución de partículas X (característico de la ruptura de pasividad del elemento metálico aluminio en ácido diluido).

Disolución de partículas Y.

Disolución de la alicuota en cada una de las mallas por parte de la fracción de partículas X e Y, determinándose una menor contribución en la malla debajo de 230 y existencias de residuos.

**Con respecto a la solubilidad en ácido clorhídrico diluido y concentrado y agua regia**

Disolución de la alícuota en cada una de las mallas por parte de la fracción de partículas X e Y determinándose una menor contribución en la malla debajo de 230 y existencias de residuos.

**Con respecto al análisis químico cualitativo**

Presencia de iones aluminio, cobre y hierro.

**Con respecto al análisis químico cuantitativo**

Posible presencia de adicional de cationes cobre al aportado por los óxidos de cobre presentes en el patrón debido a la contribución de cobre metálico o una aleación de éste.

#### **4.1.4. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS**

**j) Evaluación de la propiedad magnética, según 4.1.1 (j)**

| Malla ASTM |                       | 60     | 100    | 140    | 230    |
|------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| G1         | Fracción ponderal (g) | 0.0173 | 0.0034 | 0.0070 | 0.0007 |
| G2         | Fracción ponderal (g) | 0.0076 | 0.0035 | 0.0040 | 0.0003 |

Tabla 18.- Fracción ponderal de hierro según la prueba de la propiedad magnética.

#### **OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**

Este grupo de partículas tienen una coloración oscura

Con la prueba de magnetismo se puede comprobar que la contribución de los posibles elementos metálicos hierro, cobalto y níquel es insignificante, además de estar dichos componentes parcialmente oxidados.

#### 4.1.5. RESUMEN DE RESULTADOS

- La fracción de partículas X estaría básicamente compuesta de aluminio metálico en un 18% en peso aproximadamente.
- La fracción de partículas Y estarían formando el óxido de cobre con diferentes estado de oxidación del elemento Cu, encontrándose principalmente como óxido cuproso en un 80% en peso aproximadamente.
- El iniciador es a base de polvo de aluminio.
- Hierro parcialmente oxidado en el carga aluminotérmica, constituyendo en una alícuota de carga aluminotérmica patrón una cantidad total de 0,06 %.

#### 4.2. PRUEBAS Y ENSAYOS PARA FORMULACIÓN DE SOLDADURA ALUMINOTERMICA

##### PRIMERA CORRIDA DE ENSAYOS EXOTERMICOS

Se decide realizar pruebas de funcionamiento del producto en base a las materias primas disponibles en el mercado nacional. Además se prueba diferentes proporciones de los componentes a fin de poder obtener un rendimiento aceptable.

| Componentes            | Malla ASTM | % Humedad    |
|------------------------|------------|--------------|
| Polvo de Aluminio      | 230 a 325  | -            |
| Oxido Cúprico en polvo | 150 a -350 | 0,03 a 0,1 % |

Tabla 19.- Porcentaje de humedad en los componentes de la carga aluminotérmica experimental

| Componentes       |                                | %                 |                   |                   |                   |                        |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| Oxido Cúprico     |                                | 60                | 50                | 40                | 30                | 20                     |
| Polvo de Aluminio |                                | 40                | 50                | 60                | 70                | 80                     |
| Observación       | Forma de Encendido             | Llama del Soplete | Llama del Soplete | Llama del Soplete | Llama del Soplete | Llama del Soplete      |
|                   | Residuo después de la reacción | Polvillo Rojo     | Polvillo Rojo     | Polvillo Rojo     | Polvillo Rojo     | Polvillo Rojo y Blanco |

Tabla 20.- Resultado visual de las distintas mezclas de la primera corrida de la carga aluminotérmica experimental

## Observaciones y Conclusiones

En todos los ensayos realizados se observa una intensa energía luminosa, sin embargo, en ningún momento hay formación de cobre metálico solidificado en un trozo único. Por lo tanto, no es posible una formulación de la carga aluminotérmica en estas condiciones.

## SEGUNDA CORRIDA DE ENSAYOS EXOTERMICOS

Basándose en la primera corrida se decide llevar a cabo la segunda con los mismos insumos teniendo en cuenta la granulometría del aluminio basado en la Carga Aluminotérmica Patrón (Se asume que la granulometría adecuada lograra en la reacción la obtención correcta de un botón de cobre). Para ello se procede al siguiente cambio:

Polvo de aluminio por limaduras de aluminio

Forma de encendido: Polvo de Aluminio

| ENSAYO | MEZCLA INICIAL (g) | MEZCLA QUE REACCIONO (g) | MEZCLA SIN REACCIONAR (g) |
|--------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| 6      | 5                  | 3                        | 2                         |
| 8      | 3                  | 1,95                     | 1,15                      |
| 9      | 2,06               | 2                        | 0,06                      |
| 10     | 5                  | 4,5                      | 0,5                       |

Tabla 21.- Resultados de cantidad de soldadura exotérmica experimental que reacciona según la segunda corrida experimental

| Componentes de la Mezcla antes de la Reacción |                     |          |                     |          |
|---|---------------------|----------|---------------------|----------|
| Nombre  | Oxido Cúprico (CuO) |          | Aluminio (Al)       |          |
| Apariencia                                    | Talco negro         |          | Limaduras plateadas |          |
| ENSAYO  | %                   | PESO (g) | %                   | PESO (g) |
| 6   | 83,5                | 2,51     | 16,5                | 0,5      |
| 8   | 80                  | 1,54     | 20                  | 0,41     |
| 9   | 83,5                | 1,67     | 16,5                | 0,33     |
| 10  | 80                  | 3,6      | 20                  | 0,9      |

Tabla 22.- Componentes de los ensayos de la segunda corrida experimental antes de probar la reacción química

| Ensayo | Componentes de la mezcla después de la reacción |             |                |             |         |                   |             |
|--------|---|-------------|----------------|-------------|---------|-------------------|-------------|
|        | Escoria   |             | Cobre metálico |             |         | Aluminio metálico |             |
|        | Exp. (g)  | Teórico (g) | Exp. (g)       | Teórico (g) | Rend. % | Exp. (g)          | Teórico (g) |
| 6      | 0,6   | 0,93        | 0,5            | 1,75        | 28,57   | -                 | -           |
| 8      | 0,85  | 0,67        | 0,85           | 1,25        | 68      | -                 | 0,1         |
| 9      | 0,65  | 0,62        | 0,28           | 1,17        | 23,93   | -                 | -           |
| 10     | 2,5   | 1,54        | 0,36           | 2,87        | 12,54   | -                 | 0,1         |

Tabla 23 - Componentes de los ensayos de la segunda corrida experimental después de la reacción química.

Nota (\*)

Las condiciones del ensayo 8 son similares a los ensayos 6, 9 y 10. Sin embargo, para este caso se observa mayor obtención de cobre metálico solidificado en un trozo único, como se puede apreciar en los resultados obtenidos

Observaciones y Conclusiones

El avance de la reacción de la carga aluminotérmica con frecuencia se interrumpe logrando la formación de cobre solidificado en pequeños trocitos y en otros casos la mezcla de cobre y escoria. Por lo tanto, no es posible una formulación de la carga aluminotérmica en estas condiciones.

### TERCERA CORRIDA DE ENSAYOS EXOTERMICOS

Con uso de limaduras de cobre metálico a fin de ver su efecto en la reacción de la carga aluminotérmica (La intención es disminuir el calor de reacción a fin de obtener resultados aceptables en la obtención del botón de cobre, lo cual nos hemos basado en la muestra patrón)

Polvo de ignición: Polvo de Aluminio

| Ensayo | Mezcla inicial (g) | Mezcla que reaccionó (g) | Mezcla sin reaccionar (g) |
|--------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| 12     | 2                  | 1,2                      | 0,8                       |

Tabla 24 - Resultados de cantidad de soldadura exotérmica experimental que reacciono según la tercera corrida experimental

| Componentes de la mezcla antes de la reacción |               |          |                     |          |                       |          |
|---|---------------|----------|---------------------|----------|-----------------------|----------|
| Nombre  | Oxido Cúprico |          | Aluminio            |          | Cobre metálico        |          |
| Formula                                       | CuO           |          | Al                  |          | Cu                    |          |
| Apariencia                                    | Talco negro   |          | Limaduras plateadas |          | Limaduras anaranjadas |          |
| Ensayo  | %             | Peso (g) | %                   | Peso (g) | %                     | Peso (g) |
| 12  | 76,96         | 0,92     | 15,21               | 0,18     | 7,83                  | 0,09     |

Tabla 25.- Componentes de los ensayos de la tercera corrida experimental antes de probar la reacción química

| Componentes de la mezcla después de la reacción |          |             |                |             |         |                   |             |
|---|----------|-------------|----------------|-------------|---------|-------------------|-------------|
| Ensayo  | Escoria  |             | Cobre metálico |             |         | Aluminio metálico |             |
|   | Exp. (g) | Teórico (g) | Exp. (g)       | Teórico (g) | Rend. % | Exp. (g)          | Teórico (g) |
| 12  | 0,6      | 0,34        | 0,29           | 0,64        | 45,31   | -----             | -----       |

Tabla 26.- Componentes de los ensayos de la segunda corrida experimental después de la reacción química

### Observaciones y Conclusiones

A pesar de obtener una mayor cantidad de cobre solidificado en un trozo único, la interrupción del avance de la reacción es el obstáculo principal para que la reacción se complete. Por lo tanto, no es posible una formulación de la carga aluminotérmica en estas condiciones.

### CUARTA CORRIDA DE ENSAYOS EXOTERMICOS

Con la finalidad de superar los inconvenientes del tercer ensayo se procede a aumentar la granulometría del oxido cúprico (a fin de que la reacción de los componentes este dentro del margen aceptable >70%)

#### Procedimiento en la aglomeración

##### Compactación

#### Condiciones de sinterización de la muestra compactada

$T_{(sinterizado)} : 900^{\circ} C$

Fuerza = 2000 kg.  $D = 0.035 m \rightarrow P_{(sinterizado)} = 20700 kg.f/m^2$



## Preparación de la muestra

### Laminación

- Se procede a laminarlo en forma de escamas.
- Se realizó una selección granulométrica de la muestra en escamas.
- Preparación de la muestra con la siguiente especificación: Malla ASTM  $\leq 140$

### Corrida con los insumos aglomerados

|               |   |                   |
|---------------|---|-------------------|
| Alicuota      | : | 5 g               |
| Oxido Cúprico | : | 80 %              |
| Aluminio      | : | 20 %              |
| Iniciador     | : | Polvo de Aluminio |

### Nota (\*)

El oxido de cobre aglomerado usado en la carga aluminotérmica tiende a convertirse en polvillo provocando en estos ensayos la interrupción del avance de la reacción.

### Observaciones y Conclusiones:

La reacción se genera desprendiendo una llamarada intensa y hasta completarse logrando la formación de cobre metálico solidificando en pequeños trocitos, sin llegar a formar un trozo único. Por lo tanto, no es posible una formulación de la carga aluminotérmica en estas condiciones.

## QUINTA CORRIDA DE ENSAYOS EXOTERMICOS

Aquí se prueba la granulometría de los componentes principales, así como el uso de limaduras de cobre metálico a fin de favorecer la obtención del producto final (botón de cobre)

| Ensayo | Mezcla inicial (g) | Mezcla que reaccionó (g) | Mezcla sin reaccionar (g) |
|--------|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| I      | 5,0000             | 4,0776                   | 0,9224                    |
| IV     | 3,0000             | 3,0000                   | 0,0000                    |
| V      | 3,8798             | 2,6798                   | 1,2364                    |
| VI     | 4,7115             | 1,9203                   | 2,7912                    |
| VII    | 2,8512             | 2,5633                   | 0,2879                    |

Tabla 27.- Resultados de cantidad de soldadura exotérmica experimental que reacciono según la quinta corrida experimental

| Componentes de la Mezcla antes de la Reacción |               |          |                    |          |                       |          |
|---|---------------|----------|--------------------|----------|-----------------------|----------|
| Nombre  | Oxido Cúprico |          | Aluminio atomizado |          | Cobre metálico        |          |
| Fórmula                                       | CuO           |          | Al                 |          | Cu                    |          |
| Apariencia                                    | Escamas       |          | Virutas plateadas  |          | Limaduras anaranjadas |          |
| Ensayo  | %             | Peso (g) | %                  | Peso (g) | %                     | Peso (g) |
| I   | 50            | 2,04     | 10                 | 0,41     | 40                    | 1,63     |
| IV  | 49            | 1,44     | 11                 | 0,30     | 40                    | 1,20     |
| V   | 50            | 1,34     | 10                 | 0,27     | 40                    | 1,07     |
| VI  | 49            | 1,84     | 11                 | 0,20     | 41                    | 0,8      |
| VII   | 50            | 1,23     | 10                 | 0,25     | 40                    | 0,99     |

Tabla 28.- Componentes de los ensayos de la quinta corrida experimental antes de probar la reacción química.

| Componentes de la mezcla después de la reacción |          |             |                |             |        |
|---|----------|-------------|----------------|-------------|--------|
| Ensayo  | Escoria  |             | Cobre metálico |             |        |
|   | Exp. (g) | Teórico (g) | Exp. (g)       | Teórico (g) | Rend % |
| I   | 0,4272   | 0,79        | 2,6805         | 3,14        | 85,36  |
| IV  | 1,3927   | 0,62        | 2,6324         | 2,67        | 98,59  |
| V   | 0,8118   | 0,51        | 1,9360         | 2,02        | 95,84  |
| VI  | 0,6197   | 0,42        | 1,5184         | 1,59        | 95,49  |
| VII   | 0,9802   | 0,53        | 1,7184         | 1,98        | 86,79  |

Tabla 29.- Componentes de los ensayos de la quinta corrida experimental después de la reacción química.

## Observaciones y Conclusiones.

Se supera el inconveniente de la formación de cobre metálico solidificado en pequeños trozos, lográndose la formación de una laguna de cobre metálico luego de la reacción para finalmente solidificar en un trozo esférico único con un rendimiento mayor de 85%, en todos los ensayos. Por lo tanto, es posible iniciar una formulación de la carga aluminotérmica en estas condiciones resaltándose lo siguiente:

Una carga aluminotérmica compuesta por óxido de cobre II, limaduras de cobre metálico y aluminio como componentes principales, encontrándose dichos componentes en un tamaño de partícula de un rango aproximado de 60 – 140 ASTM

## SEXTA CORRIDA DE ENSAYOS EXOTERMICOS

Como las materias primas existentes en el mercado no se encontraban con las características fisicoquímicas adecuadas para ser usados directamente se creó procedimientos para procesarlos fácilmente a fin de obtener las características fisicoquímicas adecuadas

### OBTENCION DE ALUMINIO ATOMIZADO

#### LIMADURAS DE ALUMINIO

Se obtienen al limar un retazo de aluminio en forma de barra.

### OBTENCION DE OXIDO DE COBRE GRANULADO

#### LIMADURAS DE COBRE

Se obtienen al limar un retazo de cobre en forma de barra.

### OXIDACION DE LIMADURAS DE COBRE

Se procederá a la obtención del óxido de cobre a partir de la oxidación de limaduras de cobre metálico, utilizando una temperatura de oxidación a 1 atm. con la finalidad de dar lugar a la formación de óxido cuproso mayoritariamente (Ver Anexo II).

| T <sub>(oxidación)</sub> (°C) | Tiempo (min.) | Nota |
|-------------------------------|---------------|------|
| 950 ± 20                      | 30            | *    |

Tabla 30.- Parámetros de operación a 1 Atm. para la preparación del óxido de cobre

Relación estequiométrica en peso: 8 g de Cu<sub>2</sub>O / 1g de Aluminio

| Componentes Antes de la Reacción |                   |          |                    |          |
|----------------------------------|-------------------|----------|--------------------|----------|
| Nombre                           | Óxido de cobre    |          | Aluminio atomizado |          |
| Formula                          | Cu <sub>2</sub> O |          | Al                 |          |
| Apariencia                       | Gránulos          |          | Gránulos           |          |
| Ensayo                           | %                 | Peso (g) | %                  | Peso (g) |
| I                                | 88,00             | 4,4      | 12                 | 0,6      |
| II                               | 88,00             | 3,3      | 12                 | 0,45     |

Tabla 31.- Componentes de los ensayos de la sexta corrida experimental antes de probar la reacción química.

| Componentes después de la reacción |          |             |                |             |         |
|------------------------------------|----------|-------------|----------------|-------------|---------|
| Ensayo                             | Escoria  |             | Cobre metálico |             |         |
|                                    | Exp. (g) | Teórico (g) | Exp. (g)       | Teórico (g) | Rend. % |
| I                                  | 1,1      | 1,05        | 2,5            | 3,8861      | 63,51   |
| II                                 | 1,0      | 1,00        | 1,9            | 2,9146      | 64,36   |

Tabla 32.- Componentes de los ensayos de la sexta corrida experimental después de la reacción química.

Nota (\*)

El óxido de cobre usado en la carga aluminotérmica se encuentra en la forma de finos gránulos y la posibilidad de convertirse en polvillo es menos probable con respecto al óxido de cobre preparado en la anterior corrida

Observaciones y Conclusiones

Se observa un mayor rendimiento en la obtención de cobre solidificado en forma de botón producto de la reacción, a partir del uso de óxido de cobre obtenido de un proceso de oxidación a 1 atm. de limaduras de cobre metálico. Por lo tanto es posible iniciar una formulación de la carga aluminotérmica en estas condiciones.

## SEPTIMA CORRIDA DE ENSAYOS EXOTERMICOS

Habiendo obtenidos resultados aceptables en la sexta corrida se procede a ajustar la formulación de nuestro producto para lo cual se procede a variar la cantidad de aluminio para luego comparar entre si los productos obtenidos.

Desde un punto de vista práctico se utilizara como materia prima las cenizas de cobre procedentes de las máquinas de laminar que contienen al oxido cuproso como componente principal y que sería el material que se ajustaría a las características de este último ensayo; Sin embargo por las características de su procedencia este material no tiene una composición química estándar. Por lo tanto, a fin de estandarizar se variará dicha composición analizando su influencia en la actuación de la carga aluminotérmica.

| Componentes       | Composición Química % |
|-------------------|-----------------------|
| CuO, Cu           | 2,00                  |
| Cu <sub>2</sub> O | 98,00                 |

Tabla 33.- Composición química del oxido de cobre procedente de las maquinas de laminación

| Influencia del Aluminio |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         | E2103  | E2303  | E2603  | E3303  | E3203  | E2703  | E2803  | E606   | E1603  |
| Oxido                   | 4,5    | 4,5    | 6      | 6      | 6,5    | 7      | 8      | 9      | 9      |
| Aluminio                | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      |
| Peso oxido (g)          | 4,5    | 4,5    | 4,29   | 4,11   | 4,16   | 4,38   | 4,44   | 6,3    | 4,5    |
| Peso aluminio (g)       | 1      | 1      | 0,71   | 0,69   | 0,64   | 0,62   | 0,56   | 0,7    | 0,5    |
| Peso de cobre (g)       | 3,9    | 3,8    | 2,9    | 3,4    | 2,7    | 3,1    | 2,6    | 3,9    | 0      |
| Escoria (g)             | 1,2    | 0,8    | 1,1    | 1,4    | 1,7    | 1,4    | 1,6    | 1,0    | 4,45   |
| MSRx (g)                | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0,4677 | 0,6597 | 0      | 0      |
| Cu Teórico/Oxido (g)    | 4,0036 | 4,0036 | 3,8167 | 3,6566 | 3,7011 | 3,5327 | 3,4285 | 5,6050 | 4,0036 |
| Al en exceso:           | 0,4375 | 0,4375 | 0,1738 | 0,1763 | 0,1200 | 0,0657 | 0,0043 | 0,0000 | 0,0000 |
| Trozo metálico          | 4,4411 | 4,4411 | 3,9905 | 3,8328 | 3,8211 | 3,5984 | 3,4328 | 5,6050 | 4,0036 |
| Rendimiento %           | 87,82  | 85,57  | 74,75  | 88,76  | 71,30  | 84,87  | 77,83  | 70,12  | *      |
| Notas                   | 1      |        | 2      |        | 3      |        | 4      |        |        |

Tabla 34. - Influencia de la proporción de aluminio en polvo sobre la carga aluminotérmica experimental

#### Notas

- 1: El trozo metálico es de color amarillo oro
- 2: El trozo metálico es de color naranja amarillento
- 3: El trozo metálico es de color naranja claro intenso
- 4: No hubo separación del cobre y la escoria en la segunda prueba (\*)

#### Observaciones y Conclusiones

De los resultados obtenidos es posible iniciar una formulación de la carga aluminotérmica compuesta por oxido de cobre y aluminio usándose en total 25 g resaltando lo siguiente:

El uso de un oxido de cobre con una composición química estándar permitirá la buena actuación de la carga aluminotérmica, por lo tanto es posible iniciar una formulación de dicha carga con un oxido de cobre en esas condiciones usándose 21.875 g. para la evaluación de las pruebas de soldadura.

El usar un ligero exceso de aluminio en la formulación de la carga aluminotérmica permitirá eliminar problemas inherentes de la reacción favoreciéndola obtención del metal de aporte. Por lo tanto, es posible iniciar una formulación de dicha carga con

un ligero exceso de aluminio, usándose para la evaluación de las pruebas de soldadura 3.125 g.

## ESTANDARIZACIÓN DEL OXIDO DE COBRE

### DETERMINACIÓN DE LA VARIABLE TEMPERATURA DE OXIDACIÓN

#### TEMPERATURA

Luego de varias corridas se encontró que la forma mas adecuada de hacer una reacción de oxidación fue a temperaturas entre 400 - 500 C

### DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA ESTÁNDAR

Mediante pruebas de conversión de  $\text{Cu}_2\text{O}$  a  $\text{CuO}$  se tiene un oxido de Cobre con las características siguientes

| CLASE | OXIDO DE COBRE        |              |
|-------|-----------------------|--------------|
|       | %                     |              |
|       | $\text{Cu}_2\text{O}$ | $\text{CuO}$ |
| a     | 98.09                 | 1.91         |
| b     | 90.24                 | 9.76         |
| c     | 89.51                 | 10.49        |
| d     | 88.06                 | 11.94        |
| e     | 34.77                 | 65.23        |

Tabla 35.- Composiciones de oxido de cobre para las pruebas de soldadura exotérmica experimental

#### A) PRUEBAS DE OBTENCIÓN DE METAL DE APORTE LUEGO DE LA REACCIÓN

La reacción de una carga aluminotérmica compuesta por oxido de cobre con las características de la tabla anterior y de aluminio producirá el cobre metálico como metal de aporte

| Oxido:Aluminio | Cu          |         | Rend (%) |
|----------------|-------------|---------|----------|
|                | Teórico (g) | Exp (g) |          |
| 7.9 (a) :1.0   | 3.5984      | 3.1000  | 84.87    |
| 7.0 (b) :1.0   | 6.2215      | 5.6138  | 84.44    |
| 6.9 (c) :1.0   | 7.1129      | 6.6487  | 91.40    |
| 7.1 (d) :1.0   | 8.6515      | 6.0313  | 68.49    |
| 4.8 (e) :1.0   | 4.4408      | 1.9712  | 43.36    |

Tabla 36.- Rendimiento de la soldadura exotérmica experimental de acuerdo a la composición de oxido de cobre

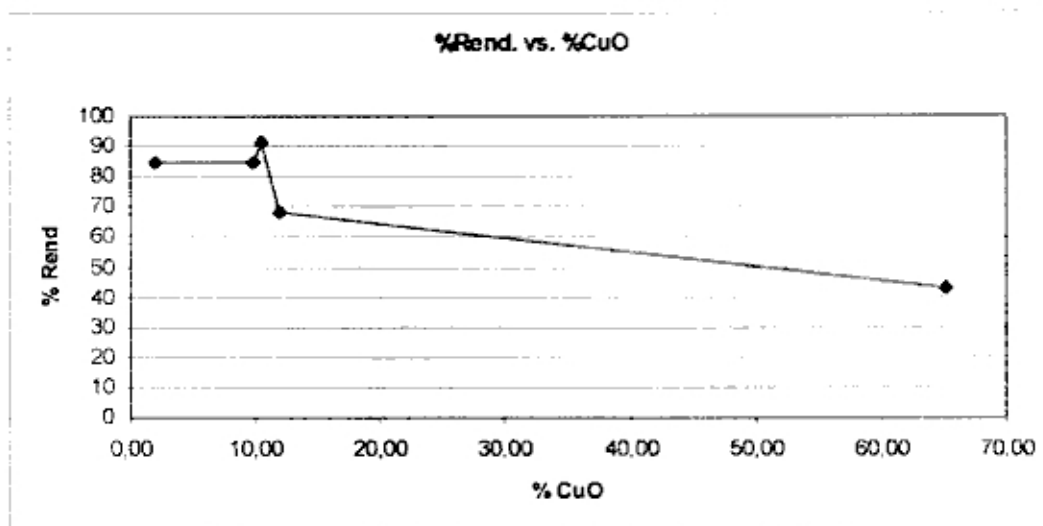


Gráfico 6.- Rendimiento de la soldadura exotérmica experimental de acuerdo a la composición de oxido de cobre

De la correlación obtenida se aceptara como máximo un 10.5% para lograr obtener un rendimiento máximo

## B) INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL OXIDO DE COBRE USADO EN CARGAS ALUMINOTERMICAS PARA LA OBTENCIÓN DE SOLDADURA

| OXIDO DE COBRE %  |      | INSPECCIÓN VISUAL DE LA SOLDADURA |
|-------------------|------|-----------------------------------|
| Cu <sub>2</sub> O | CuO  |                                   |
| 90.40             | 9.60 | OK                                |
| 92.62             | 7.38 | OK                                |
| 94.07             | 5.93 | OK                                |
| 94.40             | 5.60 | OK                                |
| 97.00             | 3.00 | OK                                |
| 98.09             | 1.91 | X                                 |

Tabla 37.- Inspección visual de la soldadura exotérmica de acuerdo a la composición del oxido de cobre

De los ensayos para la obtención de una buena soldadura se aceptara de CuO un mínimo de 3%



De A y B:

Se deduce que la composición de óxido cupríco (CuO) debe estar entre 3 y 10.5%

#### DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN

En un proceso de oxidación se fijara un tiempo de operación para el cual variaran las características en la composición química del óxido de cobre

| t(min.) | % Cu <sub>2</sub> O | % CuO  |
|---------|---------------------|--------|
| 26      | 93.62%              | 6.38%  |
| 30      | 91.40%              | 8.60%  |
| 36      | 87.30%              | 12.70% |
| 40      | 82.68%              | 17.32% |
| 45      | 83.07%              | 16.93% |
| 50      | 81.39%              | 18.61% |

Tabla 38.- Variación de composición del óxido de cobre procedente de máquinas de laminación, al calentarse a 450 °C

De la correlación obtenida para un porcentaje de 10.5% de CuO que requerimos obtener se tiene que el tiempo de operación en el horno es de 10 minutos y para un 3% se requiere 1.6 minutos

Tiempo de Operación [18.26; 32.15] minutos

#### 4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA ALUMINOTÉRMICA FORMULADA

| Propiedad                  | Carga aluminotérmica      |
|----------------------------|---------------------------|
| Tamaño de Partícula (ASTM) | 60 -140                   |
| Densidad aparente (g/cc)   | 2,0                       |
| Componentes                | Oxido de cobre y aluminio |

Tabla 39.- Característica final de la carga aluminotérmica formulada

#### 4.4. EVALUACION DE CALIDAD DE LA FABRICACIÓN DE LA SOLDADURA OBTENIDA CON LA CARGA ALUMINOTÉRMICA FORMULADA

Los diferentes tipos de empalmes aplicables en conexiones eléctricas subterráneas (Ver Anexo I), realizadas por el procedimiento de soldadura aluminotérmica, deberán cumplir con las siguientes normas:

- BS 6651
- NFC 15-100
- IEEE 837
- IEEE 80 (Ver Anexo III)
- IEC 1025-1 (ENV 61024 - 1)

#### **4.4.1. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN MEDIANTE EL MÉTODO GRAVIMETRICO**

Esta prueba consiste en el sometimiento al medio donde generalmente se encontrará expuesto el cobre solidificado en un trozo metálico producto de la reacción de la carga aluminotérmica.

|                |                         |
|----------------|-------------------------|
| Medio:         | Tierra                  |
| Tiempo prueba: | 7 días                  |
| Cupón:         | Trozo de metal de cobre |

#### **Procedimiento Experimental (ASTM G31-72 y ASTM G1-81)**

##### **Preparación de cupones de metal**

- Lijar la capa de metal externa
- Enjuagar con acetona y dejar secar al aire
- Pesar los cupones
- Sumergir los cupones al medio donde estará expuesto

##### **Limpieza de cupones de la prueba**

- Sacar los cupones y enjuagar con agua
- Limpiar la superficie con un cepillo de dientes
- Enjuagar con acetona y dejar secar al aire

| DATOS EXPERIMENTALES               |         |         |         |
|------------------------------------|---------|---------|---------|
|                                    | PATRON  | CUPON 1 | CUPON 2 |
| Pi (g)                             | 6.58510 | 5.59230 | 6.62540 |
| Pf (g)                             | 6.58010 | 5.59070 | 6.62030 |
| CÁLCULOS Y RESULTADOS              |         |         |         |
| Volumen Inicial (cm <sup>3</sup> ) | 1.09025 | 0.92588 | 1.09692 |
| Radio Inicial (pulg.)              | 0.25137 | 0.23804 | 0.25188 |
| Volumen Final (ml)                 | 1.08942 | 0.92561 | 1.09608 |
| Radio Final (pulg.)                | 0.25131 | 0.23802 | 0.25182 |
| Velocidad de Corrosión (mpy)       | 3.32    | 1.18    | 3.37    |

Tabla 40.- Análisis de velocidad de corrosión mediante la prueba de cupones

Nota (\*): Buena resistencia a la corrosión < 5 mpy.

#### 4.4.2. ENSAYO DE POROSIDAD EN LA SOLDADURA

Se practica un corte con sierra en la sección transversal correspondiente al centro de la unión soldada y se observa la presencia de poros, si existen. Sólo se admitirán en la zona del alma.

| Soldadura | Porosidad<br>(% Área Transversal) | Observaciones                               |
|-----------|-----------------------------------|---|
| Patrón    | 15                                | Ver Condiciones de Fabricación de Soldadura |
| Formulado | 15                                | Ver Condiciones de Fabricación de Soldadura |

Tabla 41.- Resultado del análisis de porosidad de la soldadura exotérmica

#### 4.4.3. ESTRUCTURA METALGRÁFICA

Se practica un corte simétrico en la zona de la unión soldada. Examinada la zona de soldadura, la unión entre el metal fundido y el metal base deberá ser completa, sin fisuras ni otras discontinuidades.

### **Macrografías**

Se realizarán pulimentando la sección a ensayar y aplicando sobre ella un papel al gelatino-bromuro, o mediante un revelador de nitrato de plata o de amonio.

Con ellas se comprobará la carencia de discontinuidades en el acero de aportación y de incrustaciones de escoria o de arena; también el correcto centrado del molde y la buena composición y actuación de la carga aluminotérmica mediante la observación de la zona afectada por el calor de la zona soldadura. (Ver Anexo IV Y V)

### **Micrografías**

Se realizarán con un aumento no menor a 500.

Con ellas se determinará la estructura del cobre

## **4.4.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **Condiciones en la Fabricación de Soldaduras**

La obtención de la soldadura patrón es aquella que proviene de una carga aluminotérmica patrón.

La obtención de la soldadura es aquella que proviene de una carga aluminotérmica de nuestra formulación.

El molde donde fueron realizadas las pruebas de soldadura fue una adaptación de un modelo "Cable To Ground Rod (T)" a otro de modelo "Horizontal Splice" (ver Anexo I). Se tuvo que recurrir a esta adaptación por no tener en stock un modelo que permita trabajar pequeñas cantidades de carga aluminotérmica y hacer ajustes en la formulación de acuerdo a los resultados obtenidos en la práctica, donde el diseño del cordón de soldadura no tuvo la mínima área transversal y longitud de la sección de dicho cordón para el # de cable usado, permitiendo la entrada de un 20% de lo que normalmente establecen las hojas técnicas.

Se realizaron unos 5 ensayos de soldadura tanto para la patrón como la obtenida de nuestra carga aluminotérmica formulada, de las cuales para la

toma de macrografías se escogieron 2 en total siendo cada una de ellas las mejores soldaduras entre su grupo observadas visualmente.

### **Resultados de la Fabricación de las Soldaduras**

La interpretación de los resultados descritos a continuación definitivamente no está a un óptimo del 100% tanto de la muestra patrón como de nuestro producto formulado, debido a no haber usado un molde de grafito en óptimas condiciones para realizar ese tipo de empalme. Sin embargo, se puede rescatar principalmente en estas pruebas la actuación de la carga aluminotérmica formulada para esas condiciones, que en términos generales serían similares la de la carga aluminotérmica patrón.

De las pruebas de velocidad de corrosión el metal de aporte tiene buena resistencia a la corrosión y alta resistencia mecánica.

Al variar la longitud y el área de la sección transversal en el diseño del cordón de soldadura (Ver Anexo VI) se puede observar una mayor área soldada. Por lo tanto, la zona sin soldar, así como la porosidad de las soldaduras se corregirán con el uso del molde adecuado para este tipo de empalme.

Tomando en cuenta la zona soldada de la soldadura obtenida se puede observar una unión más completa con respecto a la soldadura patrón. Esto nos lleva a evaluar la buena composición y actuación de la carga aluminotérmica formulada, la carencia de discontinuidad y de incrustaciones de escoria del metal de aporte en relación con una adecuada temperatura de sobrecalentamiento alcanzada por el metal de aporte luego de la reacción en el crisol, variable que dependerá específicamente de la composición química del óxido de cobre.

Tomando en cuenta los resultados de los otros ensayos se puede rescatar que el correcto mezclado de los componentes en la carga aluminotérmica llevará a un desarrollo controlado de la reacción química el cual resultará en la fabricación de una buena soldadura.

| CUADRO COMPARATIVO           |                            |                            |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ENSAYOS                      | Soldadura metálica         |                            |
|                              | Patrón                     | Producto                   |
| Color                        | Naranja<br>Brillante Claro | Naranja<br>Brillante Claro |
| Velocidad de Corrosión (mpy) | 3.32                       | 2.28                       |
| Porosidad                    | √                          | √                          |
| Macrografía                  | √                          | √                          |

Tabla 42.- Cuadro comparativo de características principales de la soldadura exotérmica

## **5. DISEÑO DE PLANTA**

## 5.1. SELECCIÓN DE MEZCLADOR DE PARTÍCULAS

Se esta eligiendo un mezclador de doble cono debido a que en este se trabajan productos los cuales tienen una tendencia fácil a quebrarse este tipo de equipo minimiza el pulverizado de la partícula.

| Producto             | Densidad Aparente<br>kg/m <sup>3</sup> | Cantidad<br>kg. | Volumen<br>m <sup>3</sup> |
|----------------------|--|-----------------|---------------------------|
| Carga Aluminotérmica | 2000                                   | 50              | 0.025                     |

Tabla 43.- Características físicas de la carga aluminotérmica necesarias para el diseño del mezclador de doble cono

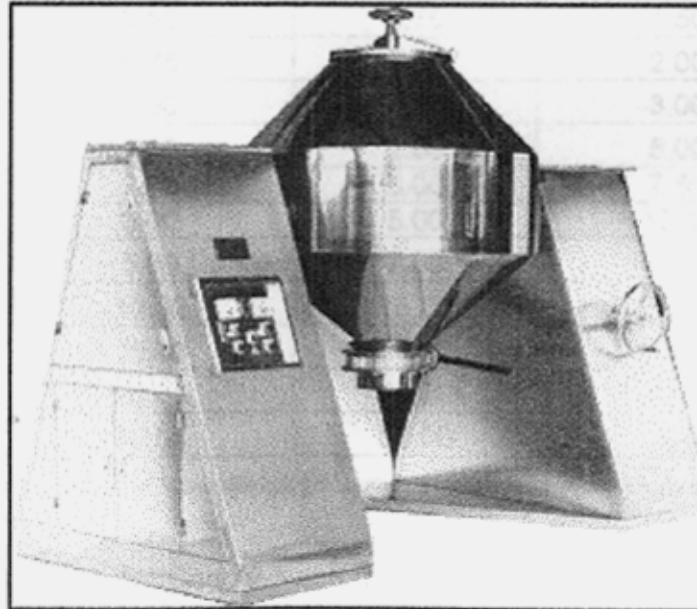


Gráfico 9.- Mezclador de Doble Cono



Eligiendo de la Tabla:

| Nº | Capacidad | Diámetro | Potencia HP según rango de densidad del la mezcla kg/m3 |            |             | Velocidad | Precio        |
|----|-----------|----------|---|------------|-------------|-----------|---------------|
|    | m3        | m        | 0 - 800   | 800 - 1200 | 1600 - 2000 | r.p.m.    | \$            |
| 1  | 0.028     | 0.45     | 0.25  | 0.25       | 0.33        | 30.0      | \$ 5,350.00   |
| 2  | 0.080     | 0.61     | 0.25  | 0.33       | 0.75        | 25.0      | \$ 7,642.86   |
| 3  | 0.133     | 0.76     | 0.33  | 0.50       | 1.00        | 20.0      | \$ 8,470.83   |
| 4  | 0.220     | 0.91     | 0.50  | 0.75       | 1.50        | 20.0      | \$ 9,341.27   |
| 5  | 0.340     | 1.07     | 0.75  | 1.00       | 2.00        | 20.0      | \$ 14,436.51  |
| 6  | 0.530     | 1.22     | 1.00  | 1.50       | 3.00        | 16.5      | \$ 17,310.74  |
| 7  | 0.760     | 1.37     | 1.50  | 2.00       | 5.00        | 16.5      | \$ 19,094.58  |
| 8  | 1.050     | 1.52     | 2.00  | 3.00       | 7.50        | 15.0      | \$ 26,380.67  |
| 9  | 1.300     | 1.67     | 3.00  | 5.00       | 10.00       | 13.0      | \$ 32,661.78  |
| 10 | 1.750     | 1.82     | 5.00  | 7.50       | 15.00       | 13.0      | \$ 43,967.78  |
| 11 | 3.020     | 2.22     | 10.00   | 15.00      | 25.00       | 10.0      | \$ 75,875.83  |
| 12 | 4.300     | 2.44     | 15.00   | 20.00      | 30.00       | 10.0      | \$ 108,035.13 |
| 13 | 6.150     | 2.75     | 20.00   | 30.00      | 50.00       | 9.0       | \$ 154,515.36 |
| 14 | 8.500     | 3.06     | 30.00   | 50.00      | 75.00       | 9.0       | \$ 177,964.84 |

Tabla 44.- Cuadro de características técnicas principales de mezcladores de doble cono disponibles en el mercado

De la Tabla se selecciona el Mezclador de Doble Cono # 1 con una potencia de 0.33 HP

$t_{\text{mezclado}} = 15 \text{ min. máx.}$

## 5.2. SELECCIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO

### DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN

En un proceso de oxidación se fijara un tiempo de operación para el cual variaran las características en la composición química del oxido de cobre

| t(min.) | % Cu <sub>2</sub> O | % CuO  |
|---------|---------------------|--------|
| 26      | 93.62%              | 6.38%  |
| 30      | 91.40%              | 8.60%  |
| 36      | 87.30%              | 12.70% |
| 40      | 82.68%              | 17.32% |
| 45      | 83.07%              | 16.93% |
| 50      | 81.39%              | 18.61% |

Tabla 45.- Variación de la composición del oxido de cobre procedente de maquinas de laminación, al calentarse a 450 °C.

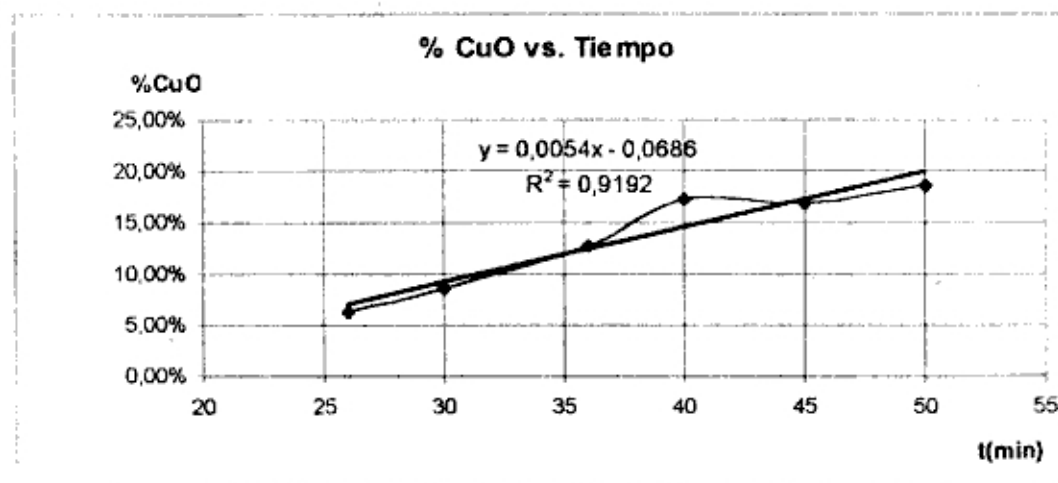
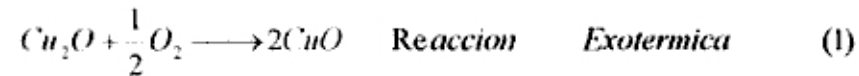


Gráfico 10.- Porcentaje de oxido de cobre obtenido versus tiempo

De la correlación obtenida para un porcentaje de 10.5% de CuO que requerimos obtener se tiene que el tiempo de operación en el horno es de 32.15 minutos y para un 3% se requiere 18.26 minutos

Tiempo de Operación [18.26; 32.15] minutos

Según la reacción química:



Según la practica para poder realizar esta reacción el sistema debe encontrarse entre los 400 - 500 °C por lo cual utilizaremos la temperatura típica de trabajo de un horno eléctrico  $T_{\text{prom}} = 450$  °C.

$T_{\text{operación}} = 35.00$  min.

Sea la ecuación  $\Delta H$  de la ecuación (1)

$$\Delta H = -35710 + 3.28T - 0.40 \times 10^{-3} T^2 - \frac{0.20 \times 10^5}{T} \quad \frac{\text{cal}}{\text{mol}} \quad (2)$$

Donde para hallar el Q necesario para realizar dicha reacción será igual a  $Q = H(T_{\text{prom}}) - H(T_0)$  donde la temperatura esta en unidades absolutas (K).

|                       | T (C) | T(K)   | -35710    | 3.28T   | -0.4*E10-T^2 | -20000/T |
|-----------------------|-------|--------|-----------|---------|--------------|----------|
| H(T <sub>prom</sub> ) | 450.0 | 723.15 | -35710.00 | 2371.93 | -209.18      | -27.66   |
| H(T <sub>0</sub> )    | 20.0  | 293.15 | -35710.00 | 961.53  | -34.37       | -68.22   |

Tabla 46 - Cálculo de entalpía de reacción del óxido de cobre

$$Q = 1276.16 \text{ cal/mol}$$

Se procesaran en este horno un aproximado de 40 Kg. De  $\text{Cu}_2\text{O}$  del cual sabemos que su peso molecular es 143.08 gr/mol entonces se tratara 279.56 moles de  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Q necesario para las 279.56 moles es:

$$Q(\text{Necesario}) = 356.76 \text{ kcal}$$

$$Q(\text{Necesario}) = 0.41 \text{ kw.h}$$

$$Q(\text{Necesario Tabla}) = 3.50 \text{ kw.h}$$

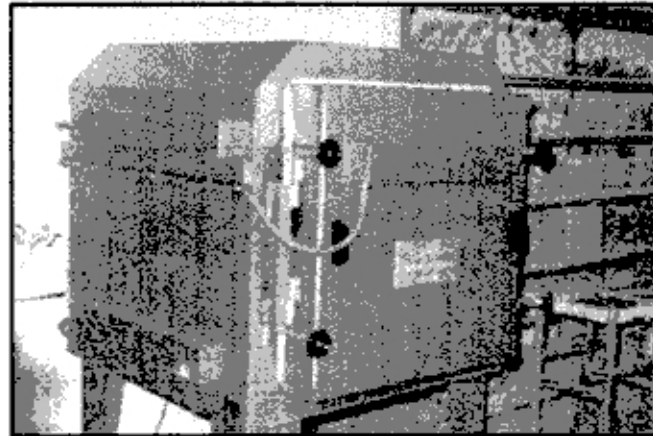


Grafico 11.- Horno Eléctrico

Seleccionamos el horno más adecuado con respecto a su capacidad (referencia catalogo de "Emison" España)

|    | Modelo | Dimensiones (Interior) |        |        | kw | Precio Euros | Precio \$    |
|----|--------|------------------------|--------|--------|----|--------------|--------------|
|    |        | A(cm.)                 | L(cm.) | H(cm.) |    |              |              |
| 1  | C-80   | 40                     | 50     | 40     | 6  | € 2.789.00   | \$ 3.207.35  |
| 2  | C-125  | 50                     | 50     | 50     | 10 | € 3.397.00   | \$ 3.906.55  |
| 3  | C-150  | 50                     | 60     | 50     | 12 | € 3.675.00   | \$ 4.226.25  |
| 4  | C-250  | 60                     | 64     | 65     | 16 | € 4.578.00   | \$ 5.264.70  |
| 5  | C-350  | 70                     | 70     | 72     | 21 | € 5.355.00   | \$ 6.158.25  |
| 6  | C-500  | 78                     | 80     | 80     | 24 | € 6.458.00   | \$ 7.426.70  |
| 7  | C-750  | 90                     | 91     | 92     | 30 | € 8.001.00   | \$ 9.201.15  |
| 8  | C-1000 | 90                     | 100    | 112    | 36 | € 9.398.00   | \$ 10.807.70 |
| 9  | C-1500 | 100                    | 115    | 135    | 50 | € 11.708.00  | \$ 13.464.20 |
| 10 | C-2000 | 100                    | 120    | 170    | 60 | € 13.965.00  | \$ 16.059.75 |

Tabla 47.- Modelos de hornos eléctricos de la compañía "Emison" de España

Asúmase que le producto posee una densidad aparente 2000 kg/m<sup>3</sup>; Volumen a Tratar = 0.02 m<sup>3</sup>

|    | Modelo | Dimensiones de Bandeja |        |        | Bandejas | Capacidad Máx. (m <sup>3</sup> ) |
|----|--------|------------------------|--------|--------|----------|----------------------------------|
|    |        | A(cm.)                 | L(cm.) | H(cm.) |          |                                  |
| 1  | C-80   | 40                     | 50     | 5      | 4        | 0.04                             |
| 2  | C-125  | 50                     | 50     | 5      | 5        | 0.06                             |
| 3  | C-150  | 50                     | 60     | 5      | 5        | 0.07                             |
| 4  | C-250  | 60                     | 64     | 5      | 6        | 0.11                             |
| 5  | C-350  | 70                     | 70     | 5      | 7        | 0.17                             |
| 6  | C-500  | 78                     | 80     | 5      | 8        | 0.24                             |
| 7  | C-750  | 90                     | 91     | 5      | 9        | 0.36                             |
| 8  | C-1000 | 90                     | 100    | 5      | 11       | 0.49                             |
| 9  | C-1500 | 100                    | 115    | 5      | 13       | 0.74                             |
| 10 | C-2000 | 100                    | 120    | 5      | 17       | 1.02                             |

Tabla 48 - Bandejas disponibles de acuerdo al modelo de horno "Emison"

De las Tablas 2 y 1 se seleccionará el Horno # 1 el C-80

### 5.3. DIAGRAMA DE FLUJO

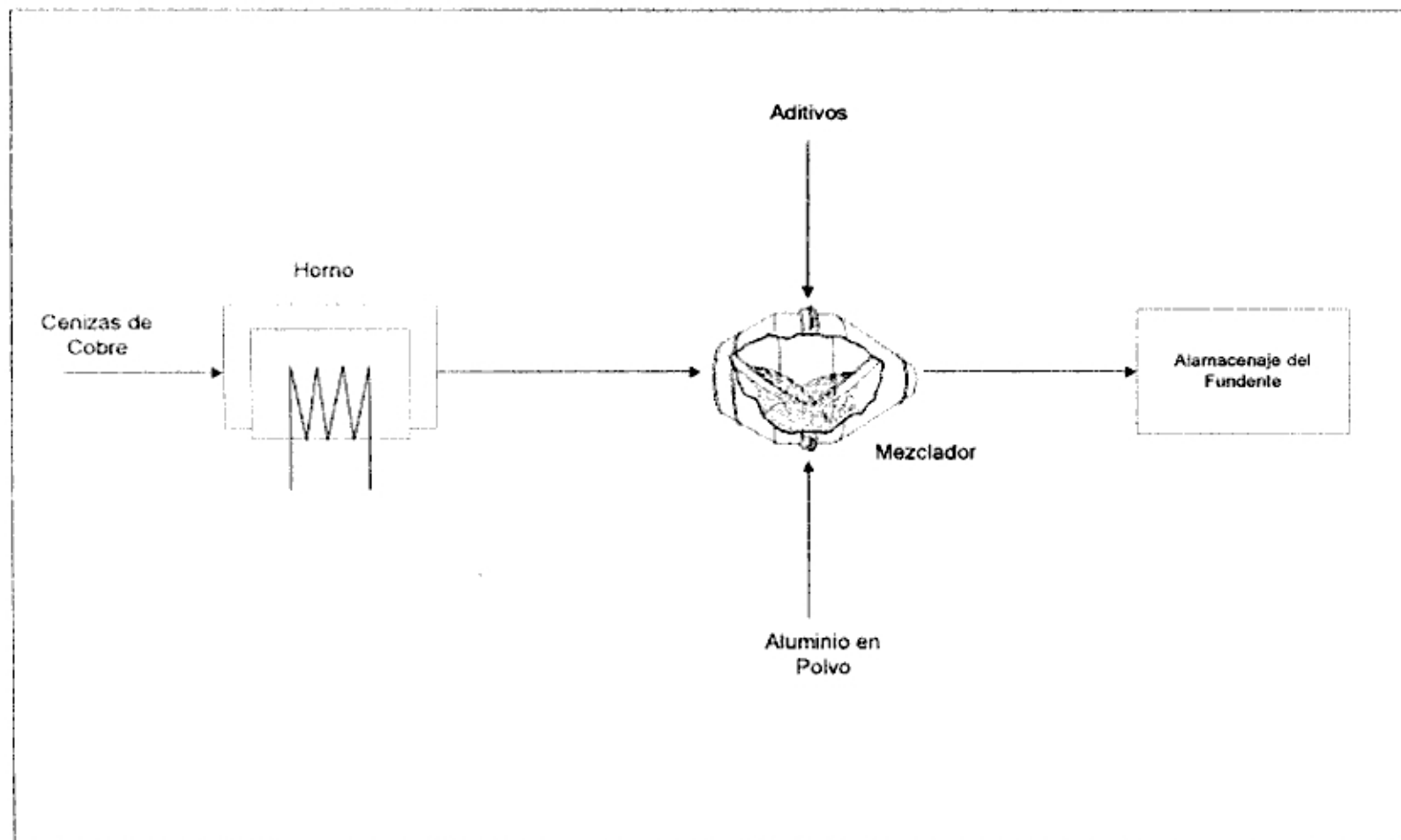


Grafico 12 - Diagrama de flujo de la planta de soldadura exotérmica

## **6. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO**

El estudio para el análisis de la factibilidad del proyecto se hizo mediante el método de Montecarlo asumiendo fluctuación a futuro de las siguientes variables:

| Variables                               | Valor Mínimo | Valor Máximo |
|---|--------------|--------------|
| Precio del Aluminio Granulado (\$/kg)   | 100%         | 130%         |
| Precio de CuO (\$/kg)                   | 95%          | 120%         |
| Precio del Aluminio en Polvo (\$/kg)    | 100%         | 130%         |
| Precio de Venta de la Soldadura (\$/kg) | 50%          | 100%         |

Tabla 49.- Variables de análisis de estudio económico del proyecto de planta

Se podrá ver a continuación el análisis de la Evaluación Económica y Financiera que demuestra que el proyecto es altamente factible de realizar con una retribución inversión a corto plazo.

#### Costos Fijos de Inversión (\$ del Año 0):

| Equipo  | Costo               |
|---|---------------------|
| Costo aprox. del Mezclador de Doble Cono                | \$ 5,500.00         |
| Costo aprox. del Horno Eléctrico                        | \$ 3,500.00         |
| Adecuamiento y construcción de área de trabajo          | \$ 10,000.00        |
| Tramites de patentes, registro de marca                 | \$ 1,500.00         |
| Supervisión de Ingeniería de puesta en marcha de planta | \$ 5,000.00         |
| Otros   | \$ 2,500.00         |
| <b>Total costo fijo de Inversión</b>                    | <b>\$ 28,000.00</b> |

Tabla 50.- Costos fijos de inversión en base al Año 0



**COSTOS VARIABLES (\$ DEL AÑO 0):**

**CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (kw.hr)**

| Elementos                    |  |                                       | ENERGIA<br>ELECTRICA DE LOS<br>EQUIPOS<br>(kw.hr / Batch) |                                      |   |
|------------------------------|--|---------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Mezclador de Doble Cono      |  |                                       | 0.06  |                                      |   |
| Horno Eléctrico              |  |                                       | 3.50  |                                      |   |
| Consumo Total de los equipos |  |                                       | 3.56  |                                      |   |
| ELEMENTOS                    | REQUERIMIENTOS<br>POR<br>BATCH<br>(1)<br>kw.hr | Costo<br>Unitario<br>(2)<br>\$/ kw.hr | Factor<br>(3)<br>(1) * (2)<br>\$/ Batch                   | Factor<br>(4)<br>(1)*(2)/50<br>\$/kg | Porcentaje<br>Acuerdo<br>al<br>Precio de<br>Venta |
| Costo de Electricidad        | 3.56   | \$ 0.11                               | \$ 0.38   | \$ 0.008                             | 0.027%  |

Observación: Un Batch es de 50 kg por DO

Tabla 51.- Consumo de energía eléctrica de la planta

**DATOS PARA EL ESTUDIO ECONOMICO**

|  |         |
|--|---------|
| Tasa de Inflación Anual                          | 2.00%   |
| Precio de Soldadura Exotérmica (Año 0) por \$/kg | \$28.00 |

**PRODUCCIÓN ANUAL DE SOLDADURA EXOTÉRMICA (kg) POR AÑO**

| Rubro \ Año     | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Demanda (kg)    | 1410.00 | 1500.00 | 1600.00 | 1690.00 | 1780.00 |
| Numero de Batch | 29      | 31      | 33      | 35      | 37      |

Tabla 52.- Numero de batch a realizar por demanda anual

|  |              |
|--|--------------|
| Gastos Administrativos (Con respecto a las ventas) | 15.00%       |
| Gastos por Ventas (Con respecto a las ventas)      | 10.00%       |
| % Reserva Legal (Con respecto a la utilidad Neta)  | 10.00%       |
| % Utilidad Retenida                                | 10.00%       |
| Factor de Costos Variables (Precio de Venta)       | 0.03%        |
| Inversión de Capital Fijo                          | \$ 28,000.00 |
| Tasa de Descuento Económico (TD)                   | 15.00%       |
| Tasa de Descuento Financiero (TD)                  | 15.00%       |

#### DATOS ADICIONALES PARA ESTUDIO FINANCIERO

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Préstamo (Estudio Financiero) | \$ 14,000.00 |
| Intereses (Anuales)           | 15.00%       |

#### PRECIOS DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO (AÑO 0) Estimado según Para-Rayos S.A.C. (\$ del Año 0 por kg)

| Rubro \ Año          | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Aluminio (Granulado) | \$ 3.50  | \$ 3.50  | \$ 3.50  | \$ 3.50  | \$ 3.50  |
| CuO (Granulado)      | \$ 2.00  | \$ 2.00  | \$ 2.00  | \$ 2.00  | \$ 2.00  |
| Aluminio (Polvo)     | \$ 11.00 | \$ 11.00 | \$ 11.00 | \$ 11.00 | \$ 11.00 |

Tabla 53.- Precios de materia prima y producto (Año 0) estimado según Para-Rayos S.A.C.

#### PRECIOS DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO (AÑO 0) (\$ del Año 0 por kg)

| Rubro \ Año          | 1        | 2        | 3        | 4       | 5        |
|----------------------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Aluminio (Granulado) | \$ 3.50  | \$ 3.50  | \$ 3.50  | \$ 3.50 | \$ 3.50  |
| CuO (Granulado)      | \$ 2.00  | \$ 2.00  | \$ 2.00  | \$ 2.00 | \$ 2.00  |
| Aluminio (Polvo)     | \$ 11.00 | \$ 11.00 | \$ 11.00 | \$ 1.00 | \$ 11.00 |
| Soldadura Exotérmica | \$ 28.00 | \$ 28.00 | \$ 28.00 | \$ 8.00 | \$ 28.00 |

Tabla 54.- Precios de materia prima de la soldadura exotérmica

#### VALOR DE VENTAS (\$ del Año 0)

| Rubro \ Año   | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ventas kg/AÑO | 1410.00      | 1500.00      | 1600.00      | 1690.00      | 1780.00      |
| Ventas kg/DC  | 3.86         | 4.11         | 4.38         | 4.63         | 4.88         |
| Precio \$/kg  | \$ 28.00     | \$ 28.00     | \$ 28.00     | \$ 28.00     | \$ 28.00     |
| \$/DC         | \$ 108.16    | \$ 115.07    | \$ 122.74    | \$ 129.64    | \$ 136.55    |
| \$/Año        | \$ 39,480.00 | \$ 42,000.00 | \$ 44,800.00 | \$ 47,320.00 | \$ 49,840.00 |

Tabla 55.- Valor de venta de la soldadura exotérmica formulada

**PROGRAMA DE PRODUCCION Y REQUERIMIENTOS**

| Rubro \ Año                    | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>VENTAS</b>                  |         |         |         |         |         |
| kg/año                         | 1410.00 | 1500.00 | 1600.00 | 1690.00 | 1780.00 |
| kg/DC                          | 3.86    | 4.11    | 4.38    | 4.63    | 4.88    |
| <b>INV. DE PROD. TERMINADO</b> |         |         |         |         |         |
| kg/DO                          | 4.65    | 4.95    | 5.28    | 5.58    | 5.87    |
| kg/año                         | 23.27   | 24.75   | 26.40   | 27.89   | 29.37   |
| <b>PRODUCCION</b>              |         |         |         |         |         |
| kg/año                         | 1433.27 | 1524.75 | 1626.40 | 1717.89 | 1809.37 |
| Numero de Batch                | 29.00   | 31.00   | 33.00   | 35.00   | 37.00   |
| kg/DO                          | 49.42   | 49.19   | 49.28   | 49.08   | 48.90   |
| <b>MATERIA PRIMA</b>           |         |         |         |         |         |
| Uso en Proceso                 |         |         |         |         |         |
| kg/DO                          | 50.41   | 50.17   | 50.27   | 50.06   | 49.88   |
| kg/año                         | 1461.93 | 1555.25 | 1658.93 | 1752.25 | 1845.56 |
| Inv. en el Año                 |         |         |         |         |         |
| kg/año                         | 50.41   | 50.17   | 50.27   | 50.06   | 49.88   |
| <b>COMPRAS</b>                 |         |         |         |         |         |
| kg/año                         | 1512.34 | 1605.42 | 1709.20 | 1802.31 | 1895.44 |

Tabla 56.- Programa de producción y requerimientos de la planta de soldadura exotérmica.

**PRODUCCION ANUAL  
(kg/DO)**

| Rubro \ Año          | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>PRODUCCION</b>    |       |       |       |       |       |
| Soldadura Exotérmica | 49.42 | 49.19 | 49.28 | 49.08 | 48.90 |
| <b>REQUERIDO</b>     |       |       |       |       |       |
| Aluminio (Granulado) | 9.39  | 9.84  | 9.86  | 9.82  | 9.78  |
| CuO (Granulado)      | 37.56 | 39.35 | 39.43 | 39.27 | 39.12 |
| Aluminio (Polvo)     | 2.47  | 2.46  | 2.46  | 2.45  | 2.45  |

Tabla 57.- Producción de la soldadura exotérmica por kg/DO

**COSTO DE PRODUCCION DE LA SOLDADURA EXOTERMICA  
(\$ del Año 0)**

| Rubro \ Año                       | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                  |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>MATERIA PRIMA</b>              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Aluminio (Granulado)              |                    |                    |                    |                    |                    |
| kg/DO                             | 9.39               | 9.84               | 9.86               | 9.82               | 9.78               |
| \$/kg                             | \$ 3.50            | \$ 3.50            | \$ 3.50            | \$ 3.50            | \$ 3.50            |
| \$/DO                             | \$ 32.87           | \$ 34.43           | \$ 34.50           | \$ 34.36           | \$ 34.23           |
| \$/Año                            | \$ 953.12          | \$ 1,067.33        | \$ 1,138.48        | \$ 1,202.52        | \$ 1,266.56        |
| CuO (Granulado)                   |                    |                    |                    |                    |                    |
| kg/DO                             | 37.56              | 39.35              | 39.43              | 39.27              | 39.12              |
| \$/kg                             | \$ 2.00            | \$ 2.00            | \$ 2.00            | \$ 2.00            | \$ 2.00            |
| \$/DO                             | \$ 75.12           | \$ 78.70           | \$ 78.86           | \$ 78.53           | \$ 78.24           |
| \$/Año                            | \$ 2,178.57        | \$ 2,439.60        | \$ 2,602.24        | \$ 2,748.62        | \$ 2,895.00        |
| Aluminio (Polvo)                  |                    |                    |                    |                    |                    |
| kg/DO                             | 2.47               | 2.46               | 2.46               | 2.45               | 2.45               |
| \$/kg                             | \$ 11.00           | \$ 11.00           | \$ 11.00           | \$ 11.00           | \$ 11.00           |
| \$/DO                             | \$ 27.18           | \$ 27.05           | \$ 27.11           | \$ 27.00           | \$ 26.90           |
| \$/Año                            | \$ 788.30          | \$ 838.61          | \$ 894.52          | \$ 944.84          | \$ 995.16          |
| <b>Total Materia Prima \$/Año</b> | <b>\$ 3,919.99</b> | <b>\$ 4,345.54</b> | <b>\$ 4,635.25</b> | <b>\$ 4,895.98</b> | <b>\$ 5,156.71</b> |
| <b>COSTOS VARIABLES</b>           |                    |                    |                    |                    |                    |
| kg/DO                             | 49.42              | 49.19              | 49.28              | 49.08              | 48.90              |
| \$/kg                             | \$ 0.008           | \$ 0.008           | \$ 0.008           | \$ 0.008           | \$ 0.008           |
| \$/DO                             | \$ 0.42            | \$ 0.41            | \$ 0.41            | \$ 0.41            | \$ 0.41            |
| \$/Año                            | \$ 12.04           | \$ 12.81           | \$ 13.66           | \$ 14.43           | \$ 15.20           |
| <b>COSTOS FIJOS</b>               |                    |                    |                    |                    |                    |
| Mano de Obra                      | \$ 833.33          | \$ 890.80          | \$ 948.28          | \$ 1,005.75        | \$ 1,063.22        |
| Mantenimiento                     | \$ 1,150.00        | \$ 1,150.00        | \$ 1,150.00        | \$ 1,150.00        | \$ 1,150.00        |
| Seguros                           | \$ 575.00          | \$ 575.00          | \$ 575.00          | \$ 575.00          | \$ 575.00          |
| <b>Total fijos</b>                | <b>\$ 2,558.33</b> | <b>\$ 2,615.80</b> | <b>\$ 2,673.28</b> | <b>\$ 2,730.75</b> | <b>\$ 2,788.22</b> |
| <b>COSTO DE SUPERINTENDENCIA</b>  |                    |                    |                    |                    |                    |
| \$/Año                            | \$ 392.00          | \$ 434.55          | \$ 463.52          | \$ 489.60          | \$ 515.67          |
| <b>COSTO DE PRODUCCION</b>        |                    |                    |                    |                    |                    |
| \$/Año                            | \$ 6,882.36        | \$ 7,408.71        | \$ 7,785.71        | \$ 8,130.76        | \$ 8,475.80        |
| \$/DO                             | \$ 237.32          | \$ 238.99          | \$ 235.93          | \$ 232.31          | \$ 229.08          |
| \$/kg                             | \$ 4.80            | \$ 4.86            | \$ 4.79            | \$ 4.73            | \$ 4.68            |

Tabla 58.- Costo de producción anual de la soldadura exotérmica

**CUADRO DE SERVICIO DE LA DEUDA**  
**(\$)**

| <b>Rubro \ Año</b>                    | <b>0</b>     | <b>1</b>     | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|---------------------------------------|--------------|--------------|----------|----------|----------|
| <b>MONEDA CORRIENTE</b>               |              |              |          |          |          |
| Deuda                                 | \$ 14,000.00 | \$ -         | \$ -     | \$ -     | \$ -     |
| Amortización                          |              | \$ 14,000.00 | \$ -     | \$ -     | \$ -     |
| Intereses                             |              | \$ 2,100.00  | \$ -     | \$ -     | \$ -     |
| Pago                                  |              | \$ 16,100.00 | \$ -     | \$ -     | \$ -     |
| <b>MONEDA CONST. AÑO 0</b>            |              |              |          |          |          |
| Amortización                          |              | \$ 13,725.49 | \$ -     | \$ -     | \$ -     |
| Intereses                             |              | \$ 2,058.82  | \$ -     | \$ -     | \$ -     |
| Pago                                  |              | \$ 15,784.31 | \$ -     | \$ -     | \$ -     |
| <b>AMORT. CORRIENTE-AMORT. CONST.</b> |              | \$ 274.51    | \$ -     | \$ -     | \$ -     |

Tabla 59 - Cuadro de servicio de la deuda debido al financiamiento del proyecto

**CAPITAL DE TRABAJO (\$ del Año 0)**

| Rubro \ Año                                   | 1                  | 2                 | 3                 | 4                  | 5                  |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>ACTIVO CIRCULANTE</b>                      |                    |                   |                   |                    |                    |
| <b>Inv. de Materia Prima 1DO</b>              |                    |                   |                   |                    |                    |
| kg/DO   | 50.41              | 50.17             | 50.27             | 50.06              | 49.88              |
| kg/Año  | 50.41              | 50.17             | 50.27             | 50.06              | 49.88              |
| \$/kg   | \$ 2.68            | \$ 2.79           | \$ 2.79           | \$ 2.79            | \$ 2.79            |
| \$/Año  | \$ 135.17          | \$ 140.18         | \$ 140.46         | \$ 139.89          | \$ 139.37          |
| <b>Inv. De Producto Terminado a 5 días</b>    |                    |                   |                   |                    |                    |
| kg/DC   | 3.86               | 4.11              | 4.38              | 4.63               | 4.88               |
| kg/DO   | 4.65               | 4.95              | 5.28              | 5.58               | 5.87               |
| kg/Año  | 23.27              | 24.75             | 26.40             | 27.89              | 29.37              |
| \$/kg   | \$ 4.80            | \$ 4.86           | \$ 4.79           | \$ 4.73            | \$ 4.68            |
| \$/Año  | \$ 111.73          | \$ 120.27         | \$ 126.39         | \$ 131.99          | \$ 137.59          |
| <b>Cuentas por Cobrar 15 días de Ventas</b>   |                    |                   |                   |                    |                    |
| kg/DC   | 3.86               | 4.11              | 4.38              | 4.63               | 4.88               |
| kg/DO   | 4.65               | 4.95              | 5.28              | 5.58               | 5.87               |
| kg/Año  | 69.80              | 74.26             | 79.21             | 83.66              | 88.12              |
| \$/kg   | \$ 28.00           | \$ 28.00          | \$ 28.00          | \$ 28.00           | \$ 28.00           |
| \$/Año  | \$ 1,954.46        | \$2,079.21        | \$2,217.82        | \$ 2,342.57        | \$ 2,467.33        |
| <b>Pagos Adelantados de M.P.</b>              |                    |                   |                   |                    |                    |
| kg/DO   | 50.41              | 50.17             | 50.27             | 50.06              | 49.88              |
| kg/Año  | 1,512.34           | 1,505.08          | 1,508.12          | 1,501.92           | 1,496.40           |
| \$/kg   | \$ 2.68            | \$ 2.79           | \$ 2.79           | \$ 2.79            | \$ 2.79            |
| \$/Año  | \$ 4,055.16        | \$4,205.37        | \$4,213.86        | \$ 4,196.55        | \$ 4,181.12        |
| <b>Total Activo Circulante</b>                | <b>\$ 6,256.51</b> | <b>\$6,545.02</b> | <b>\$6,698.54</b> | <b>\$ 6,811.01</b> | <b>\$ 6,925.41</b> |
| <b>PASIVO CIRCULANTE</b>                      |                    |                   |                   |                    |                    |
| <b>Cuentas por pagar de M.P.</b>              |                    |                   |                   |                    |                    |
| \$/Año  | 202.76             | 210.27            | 210.69            | 209.83             | 209.06             |
| <b>Cobros Adelantados (15 días de Ventas)</b> |                    |                   |                   |                    |                    |
| \$/Año  | \$ 1,954.46        | \$2,079.21        | \$2,217.82        | \$ 2,342.57        | \$ 2,467.33        |
| <b>Total Pasivo Circulante</b>                | <b>\$ 2,157.21</b> | <b>\$2,289.48</b> | <b>\$2,428.51</b> | <b>\$ 2,552.40</b> | <b>\$ 2,676.38</b> |
| <b>CAPITAL DE TRABAJO</b>                     |                    |                   |                   |                    |                    |
| \$/Año  | \$ 4,099.30        | \$4,255.55        | \$4,270.02        | \$ 4,258.60        | \$ 4,249.03        |
| <b>INCREMENTO</b>                             |                    |                   |                   |                    |                    |
| \$/Año  | \$ 4,099.30        | \$ 156.25         | \$ 14.47          | \$ (11.42)         | \$(4,258.60)       |

Tabla 60. - Capital de trabajo anual para la planta de soldadura exotérmica

**ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS - EVALUACION ECONOMICA**  
**(\$ del Año 0)**

| Rubro \ Año                      | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>INGRESOS</b>                  | \$39,480.00 | \$42,000.00 | \$44,800.00 | \$47,320.00 | \$49,840.00 |
| <b>EGRESOS</b>                   |             |             |             |             |             |
| Materia Prima                    | \$ 3,919.99 | \$ 4,345.54 | \$ 4,635.25 | \$ 4,895.98 | \$ 5,156.71 |
| Costos Variables                 | \$ 12.04    | \$ 12.81    | \$ 13.66    | \$ 14.43    | \$ 15.20    |
| Costos Fijos                     | \$ 2,558.33 | \$ 2,615.80 | \$ 2,673.28 | \$ 2,730.75 | \$ 2,788.22 |
| Costos de Superintendencia       | \$ 392.00   | \$ 434.55   | \$ 463.52   | \$ 489.60   | \$ 515.67   |
| <b>GASTOS DE PRODUCCION</b>      | \$ 6,882.36 | \$ 7,408.71 | \$ 7,785.71 | \$ 8,130.76 | \$ 8,475.80 |
| <b>UTILIDAD BRUTA</b>            | \$32,597.64 | \$34,591.29 | \$37,014.29 | \$39,189.24 | \$41,364.20 |
| Gastos Administrativos           | \$ 5,922.00 | \$ 6,300.00 | \$ 6,720.00 | \$ 7,098.00 | \$ 7,476.00 |
| Gastos de Ventas                 | \$ 3,948.00 | \$ 4,200.00 | \$ 4,480.00 | \$ 4,732.00 | \$ 4,984.00 |
| Gastos de Invest. y Desarrollo   | \$ 1,974.00 | \$ 2,100.00 | \$ 2,240.00 | \$ 2,366.00 | \$ 2,492.00 |
| <b>UTILIDAD DE OPERACIÓN</b>     | \$20,753.64 | \$21,991.29 | \$23,574.29 | \$24,993.24 | \$26,412.20 |
| Depreciación                     | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 |
| <b>RENTA NETA</b>                | \$18,953.64 | \$20,191.29 | \$21,774.29 | \$23,193.24 | \$24,612.20 |
| <b>IMPUESTO A LA RENTA (30%)</b> | \$ 5,686.09 | \$ 6,057.39 | \$ 6,532.29 | \$ 6,957.97 | \$ 7,383.66 |
| <b>UTILIDAD NETA</b>             | \$13,267.55 | \$14,133.90 | \$15,242.00 | \$16,235.27 | \$17,228.54 |
| Reserva Legal                    | \$ 1,326.75 | \$ 1,413.39 | \$ 1,524.20 | \$ 1,623.53 | \$ 1,722.85 |
| Utilidad Retenida                | \$ 1,326.75 | \$ 1,413.39 | \$ 1,524.20 | \$ 1,623.53 | \$ 1,722.85 |
| Dividendos                       | \$10,614.04 | \$11,307.12 | \$12,193.60 | \$12,988.22 | \$13,782.83 |

Tabla 61.- Estado de ganancias y pérdidas - evaluación económica

**FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA**  
 (\$ del Año 0)

| Rubro \ Año                       | 0             | 1            | 2            | 3            | 4            | 5             |
|-----------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>INVERSIONES</b>                |               |              |              |              |              |               |
| Capital Fijo Propio               | \$ 28,000.00  |              |              |              |              |               |
| Diferencial de Capital de Trabajo |               | \$ 4,099.30  | \$ 156.25    | \$ 14.47     | \$ (11.42)   | \$ (4,258.60) |
| <b>TOTAL INVERTIDO</b>            | \$ 28,000.00  | \$ 4,099.30  | \$ 156.25    | \$ 14.47     | \$ (11.42)   | \$ (4,258.60) |
| <b>UTILIDAD NETA</b>              |               | \$ 13,267.55 | \$ 14,133.90 | \$ 15,242.00 | \$ 16,235.27 | \$ 17,228.54  |
| <b>DEPRECIACION</b>               |               | \$ 1,800.00  | \$ 1,800.00  | \$ 1,800.00  | \$ 1,800.00  | \$ 1,800.00   |
| <b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>       | \$(28,000.00) | \$ 10,968.25 | \$ 15,777.65 | \$ 17,027.53 | \$ 18,046.69 | \$ 23,287.14  |
| Aportes                           | \$ 28,000.00  | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -          |
| Dividendos                        | \$ -          | \$ -         | \$ 10,614.04 | \$ 11,307.12 | \$ 12,193.60 | \$ 12,988.22  |
| Saldo de Caja                     | \$ -          | \$ 10,968.25 | \$ 5,163.61  | \$ 5,720.41  | \$ 5,853.09  | \$ 10,298.93  |
| Caja Residual                     | \$ -          | \$ 10,968.25 | \$ 16,131.86 | \$ 21,852.27 | \$ 27,705.36 | \$ 38,004.28  |

Tabla 62.- Flujo de caja proyectado - evaluación económica



**BALANCE GENERAL PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA**  
 (\$ del Año 0)

| Rubro \ Año                     | 0            | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>ACTIVO</b>                   |              |              |              |              |              |              |
| Caja - Banco                    | \$ -         | \$ 10,968.25 | \$ 16,131.86 | \$ 21,852.27 | \$ 27,705.36 | \$ 38,004.28 |
| Inversión en Materia Prima      | \$ -         | \$ 135.17    | \$ 140.18    | \$ 140.46    | \$ 139.89    | \$ -         |
| Inversión en Producto Terminado | \$ -         | \$ 111.73    | \$ 120.27    | \$ 126.39    | \$ 131.99    | \$ -         |
| Cuentas por Cobrar              | \$ -         | \$ 1,954.46  | \$ 2,079.21  | \$ 2,217.82  | \$ 2,342.57  | \$ -         |
| Pagos Adelantados               | \$ -         | \$ 4,055.16  | \$ 4,205.37  | \$ 4,213.86  | \$ 4,196.55  | \$ -         |
| Activo Neto                     | \$ 28,000.00 | \$ 26,200.00 | \$ 24,400.00 | \$ 22,600.00 | \$ 20,800.00 | \$ 19,000.00 |
| <b>TOTAL ACTIVO</b>             | \$ 28,000.00 | \$ 43,424.76 | \$ 47,076.89 | \$ 51,150.81 | \$ 55,316.36 | \$ 57,004.28 |
| <b>PASIVO</b>                   |              |              |              |              |              |              |
| <b>CORTO PLAZO</b>              |              |              |              |              |              |              |
| Cuentas por Pagar               | \$ -         | \$ 202.76    | \$ 210.27    | \$ 210.69    | \$ 209.83    | \$ -         |
| Cobros Adelantados              | \$ -         | \$ 1,954.46  | \$ 2,079.21  | \$ 2,217.82  | \$ 2,342.57  | \$ -         |
| Dividendos                      | \$ -         | \$ 10,614.04 | \$ 11,307.12 | \$ 12,193.60 | \$ 12,988.22 | \$ 13,782.83 |
| <b>PATRIMONIO</b>               |              |              |              |              |              |              |
| Capital Social                  | \$ 28,000.00 | \$ 28,000.00 | \$ 28,000.00 | \$ 28,000.00 | \$ 28,000.00 | \$ 28,000.00 |
| Reserva Legal de Acumulada      | \$ -         | \$ 1,326.75  | \$ 2,740.15  | \$ 4,264.35  | \$ 5,887.87  | \$ 7,610.73  |
| Utilidades Retenidas Acumulada  | \$ -         | \$ 1,326.75  | \$ 2,740.15  | \$ 4,264.35  | \$ 5,887.87  | \$ 7,610.73  |
| Perdidas Acumuladas             | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         |
| <b>TOTAL PASIVO</b>             | \$ 28,000.00 | \$ 43,424.76 | \$ 47,076.89 | \$ 51,150.81 | \$ 55,316.36 | \$ 57,004.28 |

Tabla 53 - Balance general proyectado - evaluación económica

**ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS - EVALUACION FINANCIERA**  
**(\$ del Año 0)**

| Rubro \ Año                      | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>INGRESOS</b>                  | \$39,480.00 | \$42,000.00 | \$44,800.00 | \$47,320.00 | \$49,840.00 |
| <b>EGRESOS</b>                   |             |             |             |             |             |
| Materia Prima                    | \$ 3,919.99 | \$ 4,345.54 | \$ 4,635.25 | \$ 4,895.98 | \$ 5,156.71 |
| Costos Variables                 | \$ 12.04    | \$ 12.81    | \$ 13.66    | \$ 14.43    | \$ 15.20    |
| Costos Fijos                     | \$ 2,558.33 | \$ 2,615.80 | \$ 2,673.28 | \$ 2,730.75 | \$ 2,788.22 |
| Costos de Superintendencia       | \$ 392.00   | \$ 434.55   | \$ 463.52   | \$ 489.60   | \$ 515.67   |
| <b>GASTOS DE PRODUCCION</b>      | \$ 6,882.36 | \$ 7,408.71 | \$ 7,785.71 | \$ 8,130.76 | \$ 8,475.80 |
| <b>UTILIDAD BRUTA</b>            | \$32,597.64 | \$34,591.29 | \$37,014.29 | \$39,189.24 | \$41,364.20 |
| Gastos Administrativos           | \$ 5,922.00 | \$ 6,300.00 | \$ 6,720.00 | \$ 7,098.00 | \$ 7,476.00 |
| Gastos de Ventas                 | \$ 3,948.00 | \$ 4,200.00 | \$ 4,480.00 | \$ 4,732.00 | \$ 4,984.00 |
| Gastos de Invest. y Desarrollo   | \$ 1,974.00 | \$ 2,100.00 | \$ 2,240.00 | \$ 2,366.00 | \$ 2,492.00 |
| <b>UTILIDAD DE OPERACIÓN</b>     | \$20,753.64 | \$21,991.29 | \$23,574.29 | \$24,993.24 | \$26,412.20 |
| Gastos Financieros               | \$ 2,058.82 | \$ -        | \$ -        | \$ -        | \$ -        |
| Depreciación                     | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 | \$ 1,800.00 |
| <b>RENTA NETA</b>                | \$16,894.82 | \$20,191.29 | \$21,774.29 | \$23,193.24 | \$24,612.20 |
| <b>IMPUESTO A LA RENTA (30%)</b> | \$ 5,068.45 | \$ 6,057.39 | \$ 6,532.29 | \$ 6,957.97 | \$ 7,383.66 |
| <b>UTILIDAD NETA</b>             | \$11,826.37 | \$14,133.90 | \$15,242.00 | \$16,235.27 | \$17,228.54 |
| Reserva Legal                    | \$ 1,182.64 | \$ 1,413.39 | \$ 1,524.20 | \$ 1,623.53 | \$ 1,722.85 |
| Utilidad Retenida                | \$ 118.26   | \$ 141.34   | \$ 152.42   | \$ 162.35   | \$ 172.29   |
| Dividendos                       | \$10,525.47 | \$12,579.17 | \$13,565.38 | \$14,449.39 | \$15,333.40 |

Tabla 64.- Estado de ganancias y pérdidas - evaluación financiera

**FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION FINANCIERA**  
**(\$ del Año 0)**

| Rubro \ Año                       | 0              | 1             | 2            | 3            | 4            | 5             |
|-----------------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>INVERSIONES</b>                |                |               |              |              |              |               |
| Capital Fijo Propio               | \$ 14,000.00   |               |              |              |              |               |
| Amortización de la Deuda          |                | \$ 13,725.49  | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -          |
| Diferencial de Capital de Trabajo |                | \$ 4,099.30   | \$ 156.25    | \$ 14.47     | \$ (11.42)   | \$ (4,258.60) |
| <b>TOTAL INVERTIDO</b>            | \$ 14,000.00   | \$ 17,824.79  | \$ 156.25    | \$ 14.47     | \$ (11.42)   | \$ (4,258.60) |
| <b>UTILIDAD NETA</b>              |                | \$ 11,826.37  | \$ 14,133.90 | \$ 15,242.00 | \$ 16,235.27 | \$ 17,228.54  |
| <b>DEPRECIACION</b>               |                | \$ 1,800.00   | \$ 1,800.00  | \$ 1,800.00  | \$ 1,800.00  | \$ 1,800.00   |
| <b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>       | \$ (14,000.00) | \$ (4,198.42) | \$ 15,777.65 | \$ 17,027.53 | \$ 18,046.69 | \$ 23,287.14  |
| Aportes                           | \$ 14,000.00   | \$ 4,198.42   | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -          |
| Dividendos                        | \$ -           | \$ -          | \$ 10,525.47 | \$ 12,579.17 | \$ 13,565.38 | \$ 14,449.39  |
| Saldo de Caja                     | \$ -           | \$ -          | \$ 5,252.18  | \$ 4,448.36  | \$ 4,481.31  | \$ 8,837.75   |
| Caja Residual                     | \$ -           | \$ -          | \$ 5,252.18  | \$ 9,700.54  | \$ 14,181.84 | \$ 23,019.59  |

Tabla 65.- Flujo de caja proyectado - evaluación financiera

**BALANCE GENERAL PROYECTADO - EVALUACION FINANCIERA**  
 (\$ del Año 0)

| Rubro \ Año                     | 0            | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>ACTIVO</b>                   |              |              |              |              |              |              |
| Caja - Banco                    | \$ -         | \$ -         | \$ 5,252.18  | \$ 9,700.54  | \$ 14,181.84 | \$ 23,019.59 |
| Inversión en Materia Prima      |              | \$ 135.17    | \$ 140.18    | \$ 140.46    | \$ 139.89    | \$ -         |
| Inversión en Producto Terminado |              | \$ 111.73    | \$ 120.27    | \$ 126.39    | \$ 131.99    | \$ -         |
| Cuentas por Cobrar              |              | \$ 1,954.46  | \$ 2,079.21  | \$ 2,217.82  | \$ 2,342.57  | \$ -         |
| Pagos Adelantados               |              | \$ 4,055.16  | \$ 4,205.37  | \$ 4,213.86  | \$ 4,196.55  | \$ -         |
| Activo Neto                     | \$ 28,000.00 | \$ 26,200.00 | \$ 24,400.00 | \$ 22,600.00 | \$ 20,800.00 | \$ 19,000.00 |
| <b>TOTAL ACTIVO</b>             | \$ 28,000.00 | \$ 32,456.51 | \$ 36,197.20 | \$ 38,999.07 | \$ 41,792.85 | \$ 42,019.59 |
| <b>PASIVO</b>                   |              |              |              |              |              |              |
| <b>CORTO PLAZO</b>              |              |              |              |              |              |              |
| Cuentas por Pagar               | \$ -         | \$ 202.76    | \$ 210.27    | \$ 210.69    | \$ 209.83    | \$ -         |
| Cobros Adelantados              | \$ -         | \$ 1,954.46  | \$ 2,079.21  | \$ 2,217.82  | \$ 2,342.57  | \$ -         |
| Amortización Deuda              | \$ 14,000.00 | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         |
| Dividendos                      | \$ -         | \$ 10,525.47 | \$ 12,579.17 | \$ 13,565.38 | \$ 14,449.39 | \$ 15,333.40 |
| <b>LARGO PLAZO</b>              |              |              |              |              |              |              |
| Deuda                           | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         | \$ -         |
| <b>PATRIMONIO</b>               |              |              |              |              |              |              |
| Capital Social                  | \$ 14,000.00 | \$ 18,198.42 | \$ 18,198.42 | \$ 18,198.42 | \$ 18,198.42 | \$ 18,198.42 |
| Reserva Legal de Acumulada      |              | \$ 1,182.64  | \$ 2,596.03  | \$ 4,120.23  | \$ 5,743.75  | \$ 7,466.61  |
| Utilidades Retenidas Acumuladas |              | \$ 118.26    | \$ 259.60    | \$ 412.02    | \$ 574.38    | \$ 746.66    |
| <b>EFFECTO DE INFLACION AC.</b> | \$ -         | \$ 274.51    | \$ 274.51    | \$ 274.51    | \$ 274.51    | \$ 274.51    |
| <b>TOTAL PASIVO</b>             | \$ 28,000.00 | \$ 32,456.51 | \$ 36,197.20 | \$ 38,999.07 | \$ 41,792.85 | \$ 42,019.59 |

Tabla 66.- Balance general proyectado - evaluación financiera

| <b>VPN Económico y Financiero</b>        | <b>0</b>       | <b>1</b>      | <b>2</b>     | <b>3</b>     | <b>4</b>     | <b>5</b>     |
|--|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Flujo Neto de Fondos (Económico)</b>  | \$ (28,000.00) | \$ 10,968.25  | \$ 15,777.65 | \$ 17,027.53 | \$ 18,046.69 | \$ 23,287.14 |
| <b>Flujo Neto de Fondos (Financiero)</b> | \$ (14,000.00) | \$ (4,198.42) | \$ 15,777.65 | \$ 17,027.53 | \$ 18,046.69 | \$ 23,287.14 |
| <b>VPN (Económico) Componentes</b>       | \$ (28,000.00) | \$ 9,537.61   | \$ 11,930.17 | \$ 11,195.88 | \$ 10,318.25 | \$ 11,577.83 |
| <b>VPN (Financiero) Componentes</b>      | \$ (14,000.00) | \$ (3,650.80) | \$ 11,930.17 | \$ 11,195.88 | \$ 10,318.25 | \$ 11,577.83 |
| <b>VPN (Económico)</b>                   | \$ 26,559.74   |               |              |              |              |              |
| <b>VPN (Financiero)</b>                  | \$ 27,371.33   |               |              |              |              |              |
| <b>TIR Económico</b>                     | 45.73%         |               |              |              |              |              |
| <b>TIR Financiero</b>                    | 55.50%         |               |              |              |              |              |

Tabla 67.- Cuadro resumen de análisis económico y financiero de acuerdo a los datos proyectados

### TIEMPO DE RECUPERO DE INVERSION (VPN ECONOMICO)

|                             | 0              | 1           | 2            | 3            | 4            | 5            |
|-----------------------------|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| VPN (Económico) Componentes | \$ (28,000.00) | \$ 9,537.61 | \$ 11,930.17 | \$ 11,195.88 | \$ 10,318.25 | \$ 11,577.83 |

Tiempo de Recupero VPN (Económico) = 268 días

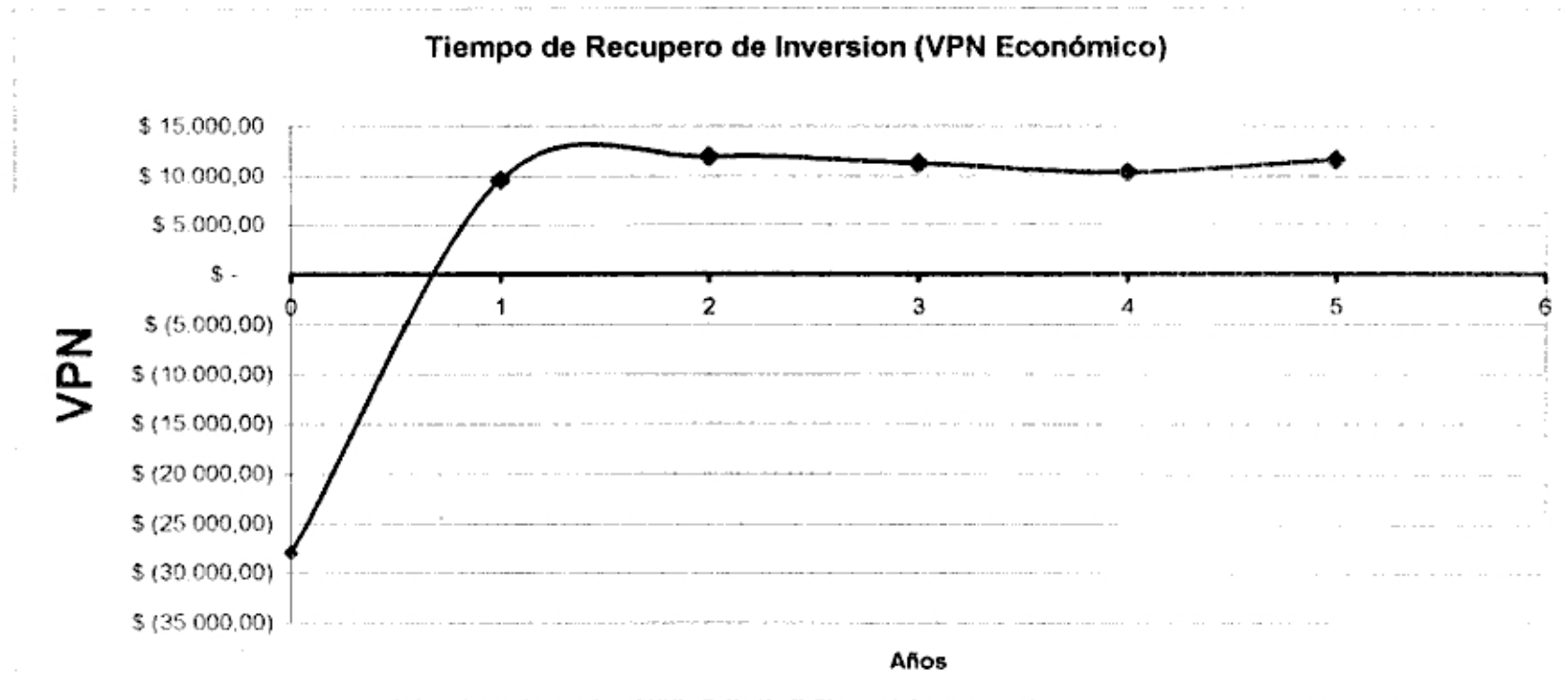


Grafico 13.- Tiempo de recuperacion de inversion VPN económico

### TIEMPO DE RECUPERO DE INVERSION (VPN FINANCIERO)

|                              | 0              | 1             | 2            | 3            | 4            | 5            |
|------------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| VPN (Financiero) Componentes | \$ (14,000.00) | \$ (3,650.80) | \$ 11,930.17 | \$ 11,195.88 | \$ 10,318.25 | \$ 11,577.83 |

Tiempo de Recupero VPN (Financiero)= Un año con 84 días

### Tiempo de Recupero de Inversión (VPN Financiero)

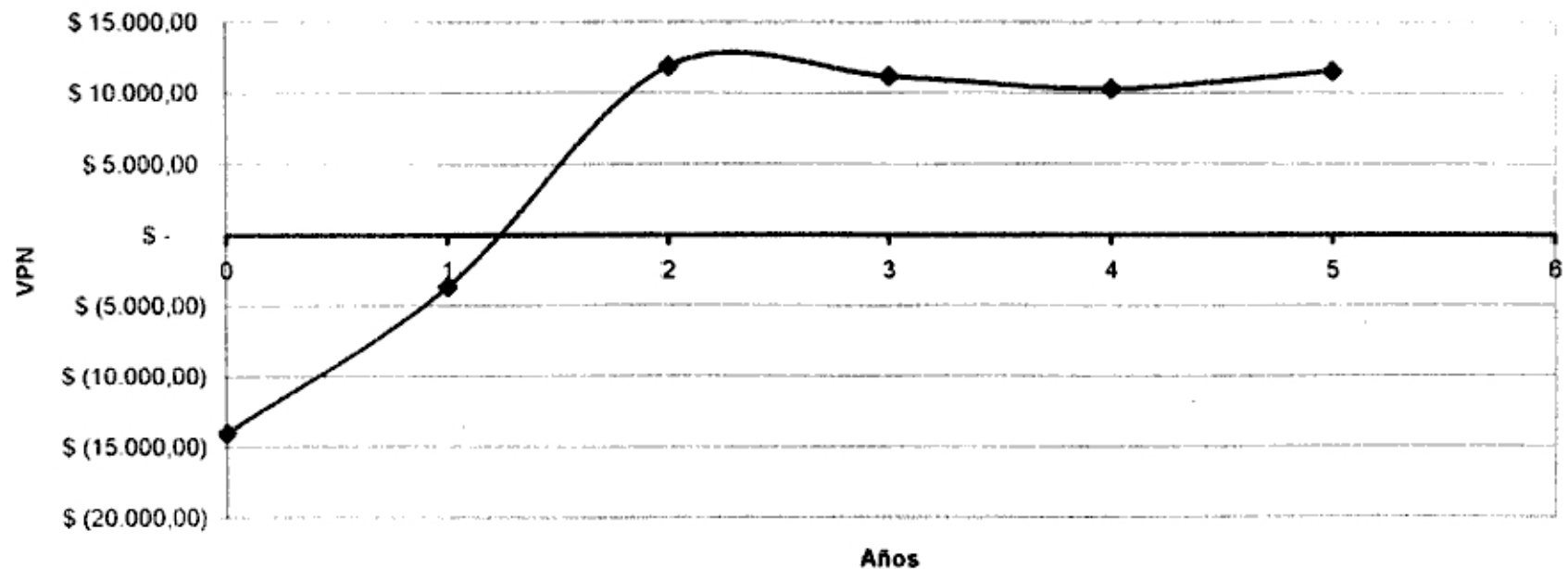


Gráfico 14.- Tiempo de recupero de inversión VPN financiero

## ANALISIS DE MONTECARLOS

| VARIABLES                                   | B min. | B máx. |
|---|--------|--------|
| 1.- Precio del Aluminio Granulado (\$/kg)   | 1.00   | 1.30   |
| 2.- Precio de CuO (\$/kg)                   | 0.95   | 1.20   |
| 3.- Precio del Aluminio en Polvo (\$/kg)    | 1.00   | 1.30   |
| 4.- Precio de Venta de la Soldadura (\$/kg) | 0.50   | 1.00   |

Tabla 68 - Variables seleccionadas para el análisis de Montecarlo



**Corrida de Datos Aleatorios Mediante el Método Montecarlos**

| <b>%</b> | <b>Aleatorio(1)</b> | <b>Aleatorio(2)</b> | <b>Aleatorio(3)</b> | <b>Aleatorio(4)</b> | <b>B1</b> | <b>B2</b> | <b>B3</b> | <b>B4</b> | <b>VPN (Económico)</b> | <b>VPN (Financiero)</b> |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|-------------------------|
| 0.00%    | 0.90                | 0.53                | 0.39                | 0.00                | 1.20      | 1.05      | 1.07      | 0.53      | \$ (9,211.88)          | \$ (8,400.28)           |
| 1.00%    | 0.96                | 0.96                | 0.23                | 0.02                | 1.24      | 1.16      | 1.04      | 0.57      | \$ (6,611.97)          | \$ (5,800.38)           |
| 2.00%    | 0.74                | 0.07                | 0.57                | 0.03                | 1.15      | 0.98      | 1.10      | 0.58      | \$ (4,421.05)          | \$ (3,609.46)           |
| 3.00%    | 0.63                | 0.97                | 0.42                | 0.06                | 1.12      | 1.16      | 1.07      | 0.62      | \$ (3,008.65)          | \$ (2,197.06)           |
| 4.00%    | 0.87                | 0.84                | 0.54                | 0.07                | 1.19      | 1.11      | 1.10      | 0.63      | \$ (2,015.46)          | \$ (1,203.87)           |
| 5.00%    | 0.07                | 0.16                | 0.10                | 0.05                | 1.01      | 0.99      | 1.02      | 0.61      | \$ (1,710.34)          | \$ (898.74)             |
| 6.00%    | 0.55                | 0.43                | 0.60                | 0.08                | 1.10      | 1.03      | 1.11      | 0.64      | \$ (585.29)            | \$ 226.31               |
| 7.00%    | 0.44                | 0.84                | 0.36                | 0.09                | 1.08      | 1.11      | 1.06      | 0.65      | \$ 69.14               | \$ 880.73               |
| 8.00%    | 0.74                | 0.06                | 0.57                | 0.09                | 1.15      | 0.98      | 1.10      | 0.65      | \$ 601.75              | \$ 1,413.35             |
| 9.00%    | 0.05                | 0.49                | 0.47                | 0.11                | 1.01      | 1.04      | 1.08      | 0.67      | \$ 1,600.41            | \$ 2,412.01             |
| 10.00%   | 0.16                | 0.42                | 0.90                | 0.12                | 1.03      | 1.03      | 1.21      | 0.68      | \$ 2,018.89            | \$ 2,830.49             |
| 11.00%   | 0.67                | 0.48                | 0.19                | 0.13                | 1.13      | 1.04      | 1.03      | 0.68      | \$ 2,579.80            | \$ 3,391.40             |
| 12.00%   | 0.54                | 0.64                | 0.66                | 0.15                | 1.10      | 1.07      | 1.12      | 0.69      | \$ 3,176.87            | \$ 3,988.47             |
| 13.00%   | 0.58                | 0.55                | 0.58                | 0.16                | 1.11      | 1.05      | 1.11      | 0.70      | \$ 3,682.73            | \$ 4,494.32             |
| 14.00%   | 0.80                | 0.70                | 0.67                | 0.18                | 1.17      | 1.08      | 1.13      | 0.71      | \$ 4,142.38            | \$ 4,953.97             |
| 14.10%   | 0.85                | 0.32                | 0.80                | 0.17                | 1.18      | 1.02      | 1.16      | 0.71      | \$ 4,168.88            | \$ 4,980.47             |
| 15.00%   | 0.01                | 0.06                | 0.23                | 0.16                | 1.00      | 0.98      | 1.04      | 0.70      | \$ 4,663.86            | \$ 5,475.45             |
| 16.00%   | 0.97                | 0.85                | 0.29                | 0.21                | 1.25      | 1.11      | 1.05      | 0.73      | \$ 4,837.50            | \$ 5,649.10             |
| 17.00%   | 0.07                | 0.29                | 0.00                | 0.18                | 1.01      | 1.01      | 1.00      | 0.71      | \$ 5,396.54            | \$ 6,208.14             |
| 18.00%   | 0.56                | 0.36                | 0.65                | 0.20                | 1.10      | 1.02      | 1.12      | 0.73      | \$ 5,724.03            | \$ 6,535.62             |
| 19.00%   | 0.38                | 0.27                | 0.16                | 0.20                | 1.06      | 1.01      | 1.03      | 0.72      | \$ 6,076.93            | \$ 6,888.53             |
| 20.00%   | 0.58                | 0.83                | 0.39                | 0.24                | 1.11      | 1.11      | 1.07      | 0.74      | \$ 6,509.46            | \$ 7,321.05             |

| %      | Aleatorio(1) | Aleatorio(2) | Aleatorio(3) | Aleatorio(4) | B1   | B2   | B3   | B4   | VPN (Económico) | VPN (Financiero) |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|------|------|-----------------|------------------|
| 21.00% | 0.66         | 0.91         | 0.27         | 0.26         | 1.12 | 1.13 | 1.04 | 0.75 | \$ 7,047.68     | \$ 7,859.27      |
| 22.00% | 0.36         | 0.76         | 0.03         | 0.25         | 1.06 | 1.09 | 1.00 | 0.75 | \$ 7,346.66     | \$ 8,158.25      |
| 23.00% | 0.19         | 0.30         | 0.61         | 0.25         | 1.03 | 1.01 | 1.11 | 0.75 | \$ 7,713.21     | \$ 8,524.81      |
| 24.00% | 0.39         | 0.58         | 0.60         | 0.27         | 1.07 | 1.06 | 1.11 | 0.76 | \$ 7,963.41     | \$ 8,775.00      |
| 25.00% | 0.08         | 0.04         | 0.15         | 0.25         | 1.01 | 0.97 | 1.02 | 0.75 | \$ 8,263.84     | \$ 9,075.44      |
| 26.00% | 0.71         | 0.53         | 0.58         | 0.29         | 1.14 | 1.05 | 1.11 | 0.77 | \$ 8,634.96     | \$ 9,446.55      |
| 27.00% | 0.22         | 0.38         | 0.40         | 0.28         | 1.03 | 1.02 | 1.07 | 0.77 | \$ 8,963.70     | \$ 9,775.30      |
| 28.00% | 0.31         | 0.30         | 0.81         | 0.31         | 1.05 | 1.01 | 1.17 | 0.78 | \$ 9,677.95     | \$ 10,489.54     |
| 29.00% | 0.60         | 0.52         | 0.60         | 0.33         | 1.11 | 1.04 | 1.11 | 0.79 | \$ 10,042.48    | \$ 10,854.07     |
| 30.00% | 0.73         | 0.22         | 0.21         | 0.32         | 1.15 | 1.00 | 1.03 | 0.78 | \$ 10,232.90    | \$ 11,044.50     |
| 31.00% | 0.88         | 0.17         | 0.49         | 0.34         | 1.19 | 1.00 | 1.09 | 0.79 | \$ 10,534.46    | \$ 11,346.06     |
| 32.00% | 0.67         | 0.89         | 0.28         | 0.37         | 1.13 | 1.13 | 1.05 | 0.80 | \$ 10,742.44    | \$ 11,554.03     |
| 33.00% | 0.15         | 0.89         | 0.94         | 0.38         | 1.02 | 1.13 | 1.23 | 0.81 | \$ 11,019.15    | \$ 11,830.74     |
| 34.00% | 0.53         | 0.09         | 0.32         | 0.35         | 1.09 | 0.98 | 1.05 | 0.79 | \$ 11,229.15    | \$ 12,040.75     |
| 35.00% | 0.11         | 0.59         | 0.65         | 0.37         | 1.02 | 1.06 | 1.12 | 0.80 | \$ 11,366.50    | \$ 12,178.10     |
| 36.00% | 0.45         | 0.33         | 0.62         | 0.37         | 1.08 | 1.02 | 1.12 | 0.80 | \$ 11,641.20    | \$ 12,452.80     |
| 37.00% | 0.97         | 0.98         | 0.56         | 0.44         | 1.25 | 1.17 | 1.10 | 0.83 | \$ 11,993.14    | \$ 12,804.73     |
| 38.00% | 0.31         | 0.56         | 0.43         | 0.40         | 1.05 | 1.05 | 1.07 | 0.81 | \$ 12,287.42    | \$ 13,099.01     |
| 39.00% | 0.91         | 0.77         | 0.58         | 0.43         | 1.21 | 1.09 | 1.10 | 0.83 | \$ 12,403.10    | \$ 13,214.70     |
| 40.00% | 0.76         | 0.93         | 1.00         | 0.47         | 1.15 | 1.14 | 1.28 | 0.84 | \$ 12,867.42    | \$ 13,679.02     |

| %      | Aleatorio(1) | Aleatorio(2) | Aleatorio(3) | Aleatorio(4) | B1   | B2   | B3   | B4   | VPN (Económico) | VPN (Financiero) |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|------|------|-----------------|------------------|
| 41.00% | 0.78         | 0.79         | 0.33         | 0.45         | 1.16 | 1.10 | 1.05 | 0.84 | \$ 13,183.97    | \$ 13,995.57     |
| 42.00% | 0.87         | 0.52         | 0.65         | 0.46         | 1.19 | 1.05 | 1.12 | 0.84 | \$ 13,447.67    | \$ 14,259.27     |
| 43.00% | 0.55         | 0.29         | 0.21         | 0.44         | 1.10 | 1.01 | 1.03 | 0.83 | \$ 13,755.95    | \$ 14,567.54     |
| 44.00% | 0.13         | 0.23         | 0.09         | 0.43         | 1.02 | 1.00 | 1.01 | 0.83 | \$ 13,936.73    | \$ 14,748.33     |
| 45.00% | 0.53         | 0.56         | 0.22         | 0.47         | 1.09 | 1.05 | 1.03 | 0.84 | \$ 14,246.31    | \$ 15,057.91     |
| 46.00% | 0.93         | 0.19         | 0.14         | 0.48         | 1.22 | 1.00 | 1.02 | 0.85 | \$ 14,572.52    | \$ 15,384.11     |
| 47.00% | 0.11         | 0.21         | 0.66         | 0.47         | 1.02 | 1.00 | 1.13 | 0.84 | \$ 14,779.12    | \$ 15,590.72     |
| 48.00% | 0.91         | 0.05         | 0.60         | 0.50         | 1.21 | 0.98 | 1.11 | 0.85 | \$ 15,064.26    | \$ 15,875.86     |
| 49.00% | 0.89         | 0.76         | 0.33         | 0.54         | 1.20 | 1.09 | 1.05 | 0.87 | \$ 15,383.36    | \$ 16,194.96     |
| 50.00% | 0.66         | 0.36         | 0.76         | 0.53         | 1.13 | 1.02 | 1.15 | 0.86 | \$ 15,579.31    | \$ 16,390.91     |
| 51.00% | 0.77         | 0.02         | 0.57         | 0.52         | 1.16 | 0.96 | 1.10 | 0.86 | \$ 15,921.88    | \$ 16,733.47     |
| 52.00% | 0.86         | 0.06         | 0.29         | 0.53         | 1.19 | 0.98 | 1.05 | 0.87 | \$ 16,180.07    | \$ 16,991.67     |
| 53.00% | 0.15         | 0.40         | 0.61         | 0.55         | 1.02 | 1.03 | 1.11 | 0.87 | \$ 16,537.44    | \$ 17,349.03     |
| 54.00% | 0.05         | 0.45         | 0.79         | 0.56         | 1.01 | 1.03 | 1.16 | 0.88 | \$ 16,741.36    | \$ 17,552.95     |
| 54.10% | 0.26         | 0.55         | 0.51         | 0.57         | 1.04 | 1.05 | 1.09 | 0.88 | \$ 16,760.67    | \$ 17,572.26     |
| 55.00% | 0.11         | 0.29         | 0.40         | 0.56         | 1.02 | 1.01 | 1.07 | 0.87 | \$ 17,029.78    | \$ 17,841.37     |
| 56.00% | 0.52         | 0.77         | 0.05         | 0.59         | 1.09 | 1.09 | 1.01 | 0.88 | \$ 17,145.69    | \$ 17,957.29     |
| 57.00% | 0.24         | 0.69         | 0.59         | 0.60         | 1.04 | 1.07 | 1.11 | 0.89 | \$ 17,437.96    | \$ 18,249.56     |
| 58.00% | 0.36         | 0.90         | 0.47         | 0.63         | 1.06 | 1.13 | 1.08 | 0.90 | \$ 17,640.29    | \$ 18,451.89     |
| 59.00% | 0.19         | 0.72         | 0.67         | 0.62         | 1.03 | 1.08 | 1.13 | 0.89 | \$ 17,825.92    | \$ 18,637.51     |
| 60.00% | 0.43         | 0.51         | 0.23         | 0.62         | 1.07 | 1.04 | 1.04 | 0.89 | \$ 18,124.93    | \$ 18,936.52     |

| %      | Aleatorio(1) | Aleatorio(2) | Aleatorio(3) | Aleatorio(4) | B1   | B2   | B3   | B4   | VPN (Económico) | VPN (Financiero) |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|------|------|-----------------|------------------|
| 61.00% | 0.81         | 0.20         | 0.10         | 0.62         | 1.17 | 1.00 | 1.02 | 0.89 | \$ 18,290.85    | \$ 19,102.45     |
| 62.00% | 0.21         | 0.21         | 0.42         | 0.62         | 1.03 | 1.00 | 1.07 | 0.89 | \$ 18,427.83    | \$ 19,239.42     |
| 63.00% | 0.56         | 0.99         | 0.36         | 0.69         | 1.10 | 1.18 | 1.06 | 0.92 | \$ 18,563.17    | \$ 19,374.76     |
| 64.00% | 0.05         | 0.91         | 0.49         | 0.67         | 1.01 | 1.13 | 1.09 | 0.91 | \$ 18,719.09    | \$ 19,530.69     |
| 65.00% | 0.83         | 0.64         | 0.07         | 0.67         | 1.18 | 1.07 | 1.01 | 0.91 | \$ 18,818.58    | \$ 19,630.17     |
| 66.00% | 0.38         | 0.49         | 0.74         | 0.67         | 1.06 | 1.04 | 1.15 | 0.91 | \$ 19,099.71    | \$ 19,911.30     |
| 67.00% | 0.04         | 0.63         | 0.45         | 0.67         | 1.01 | 1.06 | 1.08 | 0.91 | \$ 19,344.98    | \$ 20,156.57     |
| 68.00% | 0.00         | 0.79         | 0.87         | 0.71         | 1.00 | 1.10 | 1.19 | 0.92 | \$ 19,512.27    | \$ 20,323.86     |
| 69.00% | 0.51         | 0.24         | 0.11         | 0.68         | 1.09 | 1.01 | 1.02 | 0.91 | \$ 19,787.37    | \$ 20,598.96     |
| 70.00% | 0.06         | 0.08         | 0.41         | 0.68         | 1.01 | 0.98 | 1.07 | 0.91 | \$ 20,012.35    | \$ 20,823.94     |
| 71.00% | 0.36         | 0.11         | 0.73         | 0.70         | 1.06 | 0.99 | 1.14 | 0.92 | \$ 20,159.87    | \$ 20,971.47     |
| 72.00% | 0.42         | 0.07         | 0.45         | 0.70         | 1.07 | 0.98 | 1.08 | 0.92 | \$ 20,293.15    | \$ 21,104.74     |
| 73.00% | 0.50         | 0.98         | 0.45         | 0.78         | 1.09 | 1.17 | 1.08 | 0.94 | \$ 20,526.80    | \$ 21,338.40     |
| 74.00% | 0.07         | 0.31         | 0.67         | 0.73         | 1.01 | 1.01 | 1.13 | 0.93 | \$ 20,775.97    | \$ 21,587.56     |
| 75.00% | 0.30         | 0.77         | 0.01         | 0.76         | 1.05 | 1.09 | 1.00 | 0.94 | \$ 21,038.37    | \$ 21,849.96     |
| 76.00% | 0.41         | 0.77         | 0.02         | 0.77         | 1.07 | 1.09 | 1.00 | 0.94 | \$ 21,196.76    | \$ 22,008.36     |
| 77.00% | 0.52         | 0.47         | 0.59         | 0.77         | 1.09 | 1.04 | 1.11 | 0.94 | \$ 21,329.85    | \$ 22,141.44     |
| 78.00% | 0.80         | 0.33         | 0.97         | 0.80         | 1.17 | 1.02 | 1.25 | 0.95 | \$ 21,494.09    | \$ 22,305.69     |
| 79.00% | 0.61         | 0.78         | 0.16         | 0.81         | 1.11 | 1.10 | 1.03 | 0.95 | \$ 21,727.71    | \$ 22,539.30     |
| 80.00% | 0.75         | 0.66         | 0.88         | 0.83         | 1.15 | 1.07 | 1.20 | 0.96 | \$ 21,843.29    | \$ 22,654.89     |

| %      | Aleatorio(1) | Aleatorio(2) | Aleatorio(3) | Aleatorio(4) | B1   | B2   | B3   | B4   | VPN (Económico) | VPN (Financiero) |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|------|------|-----------------|------------------|
| 81.00% | 0.54         | 0.41         | 0.85         | 0.83         | 1.10 | 1.03 | 1.18 | 0.95 | \$ 22,253.38    | \$ 23,054.98     |
| 82.00% | 0.53         | 0.02         | 0.48         | 0.80         | 1.10 | 0.96 | 1.08 | 0.95 | \$ 22,441.67    | \$ 23,253.26     |
| 83.00% | 0.97         | 0.72         | 0.82         | 0.89         | 1.25 | 1.08 | 1.17 | 0.97 | \$ 22,607.65    | \$ 23,419.24     |
| 84.00% | 0.60         | 0.62         | 0.23         | 0.85         | 1.11 | 1.06 | 1.04 | 0.96 | \$ 22,809.50    | \$ 23,621.09     |
| 85.00% | 0.78         | 0.81         | 0.02         | 0.88         | 1.16 | 1.10 | 1.00 | 0.97 | \$ 23,095.01    | \$ 23,906.60     |
| 86.00% | 0.96         | 0.89         | 0.89         | 0.94         | 1.24 | 1.13 | 1.20 | 0.98 | \$ 23,154.00    | \$ 23,965.60     |
| 87.00% | 0.77         | 0.39         | 0.07         | 0.87         | 1.16 | 1.03 | 1.01 | 0.97 | \$ 23,307.86    | \$ 24,119.45     |
| 88.00% | 0.23         | 0.76         | 0.47         | 0.89         | 1.04 | 1.09 | 1.08 | 0.97 | \$ 23,517.84    | \$ 24,329.43     |
| 89.00% | 0.77         | 0.93         | 0.34         | 0.93         | 1.16 | 1.14 | 1.06 | 0.98 | \$ 23,622.73    | \$ 24,434.32     |
| 90.00% | 0.90         | 0.11         | 0.65         | 0.90         | 1.20 | 0.99 | 1.12 | 0.97 | \$ 23,815.23    | \$ 24,626.82     |
| 91.00% | 0.86         | 0.06         | 0.82         | 0.91         | 1.19 | 0.98 | 1.17 | 0.98 | \$ 23,992.09    | \$ 24,803.68     |
| 92.00% | 0.12         | 0.38         | 0.49         | 0.90         | 1.02 | 1.02 | 1.09 | 0.97 | \$ 24,225.26    | \$ 25,036.85     |
| 93.00% | 0.23         | 0.67         | 0.52         | 0.93         | 1.04 | 1.07 | 1.09 | 0.98 | \$ 24,433.70    | \$ 25,245.29     |
| 94.00% | 0.08         | 0.87         | 0.92         | 0.98         | 1.01 | 1.12 | 1.22 | 0.99 | \$ 24,637.58    | \$ 25,449.17     |
| 95.00% | 0.08         | 0.62         | 0.46         | 0.94         | 1.01 | 1.06 | 1.08 | 0.99 | \$ 24,799.24    | \$ 25,610.84     |
| 96.00% | 0.44         | 0.69         | 0.28         | 0.97         | 1.08 | 1.07 | 1.05 | 0.99 | \$ 25,005.90    | \$ 25,817.50     |
| 97.00% | 0.50         | 0.41         | 0.95         | 0.98         | 1.09 | 1.03 | 1.23 | 1.00 | \$ 25,199.87    | \$ 26,011.46     |
| 98.00% | 0.05         | 0.50         | 0.88         | 0.98         | 1.01 | 1.04 | 1.20 | 1.00 | \$ 25,424.57    | \$ 26,236.16     |
| 99.00% | 0.10         | 0.36         | 0.05         | 0.96         | 1.02 | 1.02 | 1.01 | 0.99 | \$ 25,644.17    | \$ 26,455.76     |
| 100.0% | 0.34         | 0.24         | 0.16         | 0.98         | 1.06 | 1.00 | 1.02 | 1.00 | \$ 25,958.51    | \$ 26,770.10     |

Tabla 69.- Cuadro resumen de análisis económico – financiero mediante el método de Montecarlo

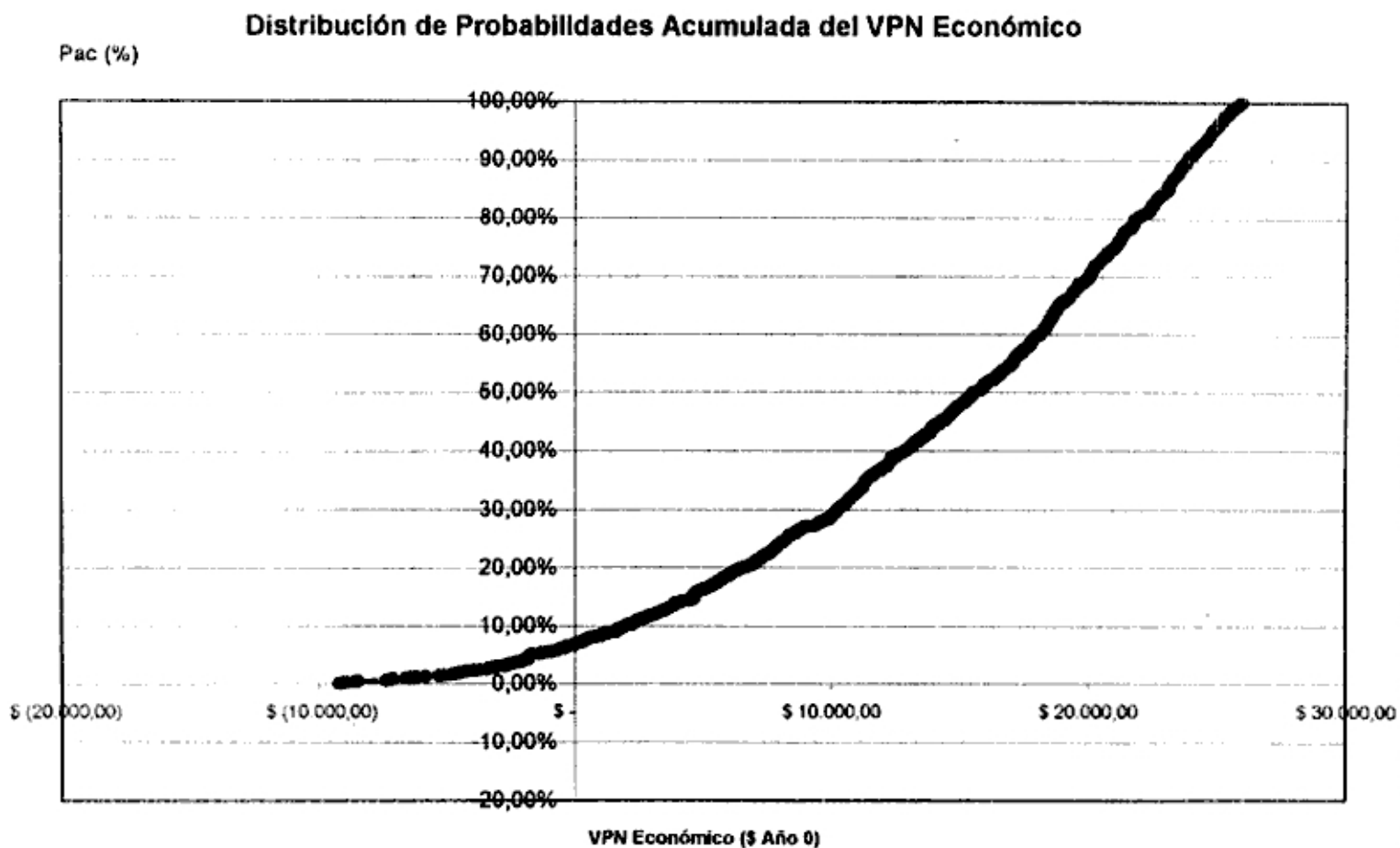


Gráfico 15.- Distribución de probabilidades acumuladas del VPN económico

Probabilidad de que el proyecto no sea rentable = 6.75%

### Distribución de Probabilidades Acumulada del VPN Financiero

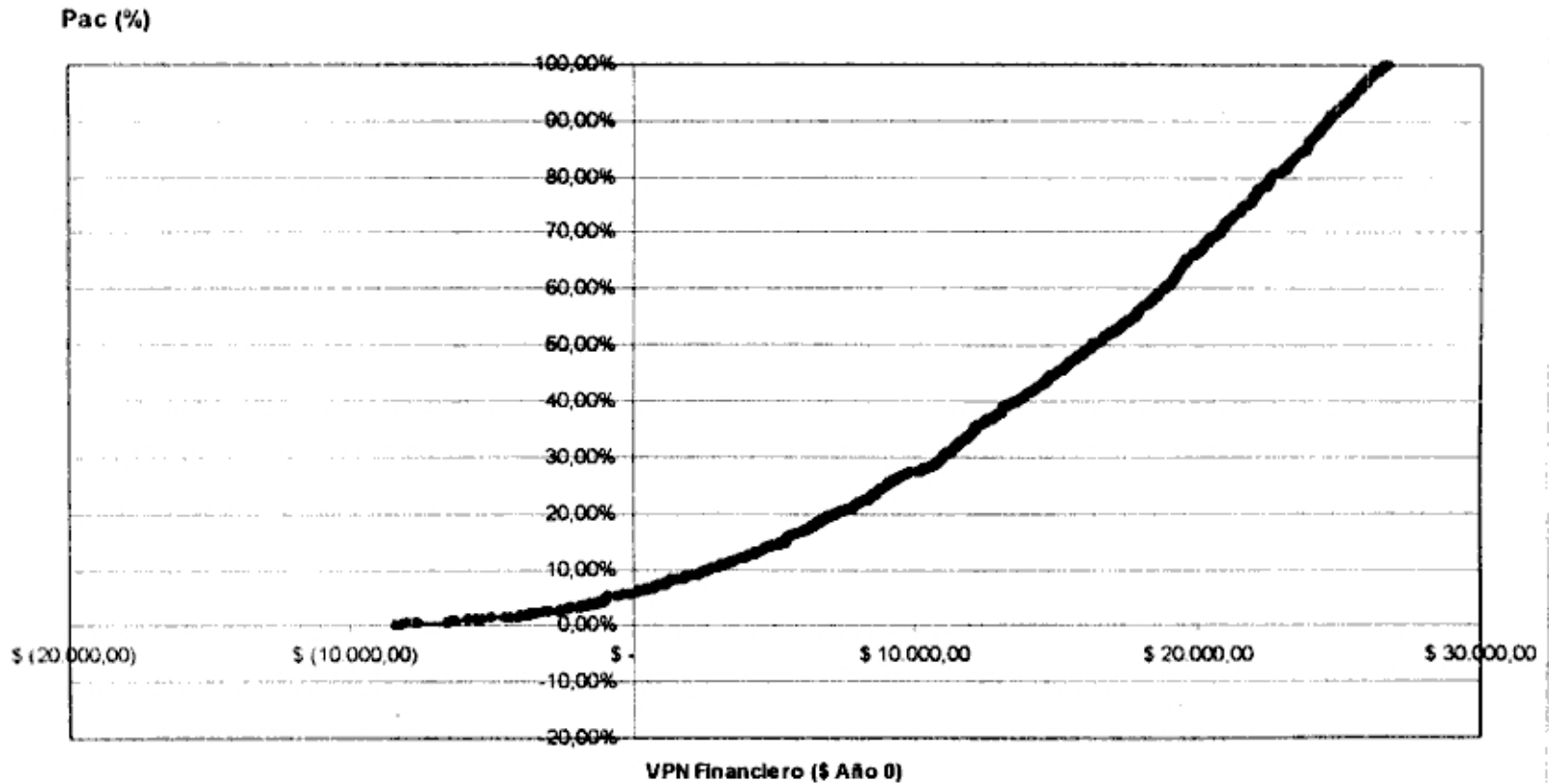


Grafico 16- Distribución de probabilidades acumuladas del VPN financiero

Probabilidad de que el proyecto no sea rentable =

**Análisis de Sensibilidad (VPN Económico)**

| B    | 1            | 2            | 3            | 4             |
|------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 0.50 |              |              |              | \$ (9,944.15) |
| 0.55 |              |              |              | \$ (6,291.13) |
| 0.60 |              |              |              | \$ (2,643.37) |
| 0.65 |              |              |              | \$ 1,004.39   |
| 0.70 |              |              |              | \$ 4,659.51   |
| 0.75 |              |              |              | \$ 8,307.79   |
| 0.80 |              |              |              | \$ 11,956.08  |
| 0.85 |              |              |              | \$ 15,604.37  |
| 0.90 |              |              |              | \$ 19,252.65  |
| 0.95 |              | \$ 26,928.93 |              | \$ 22,910.93  |
| 1.00 | \$ 26,559.74 | \$ 26,559.74 | \$ 26,559.74 | \$ 26,559.74  |
| 1.05 | \$ 26,398.21 | \$ 26,190.54 | \$ 26,431.28 |               |
| 1.10 | \$ 26,236.69 | \$ 25,821.35 | \$ 26,302.81 |               |
| 1.15 | \$ 26,075.17 | \$ 25,452.15 | \$ 26,174.35 |               |
| 1.20 | \$ 25,913.65 | \$ 25,082.96 | \$ 26,045.89 |               |
| 1.25 | \$ 25,752.12 |              | \$ 25,917.43 |               |
| 1.30 | \$ 25,590.60 |              | \$ 25,788.97 |               |

Tabla 70.- Análisis de sensibilidad de las variables VPN económico

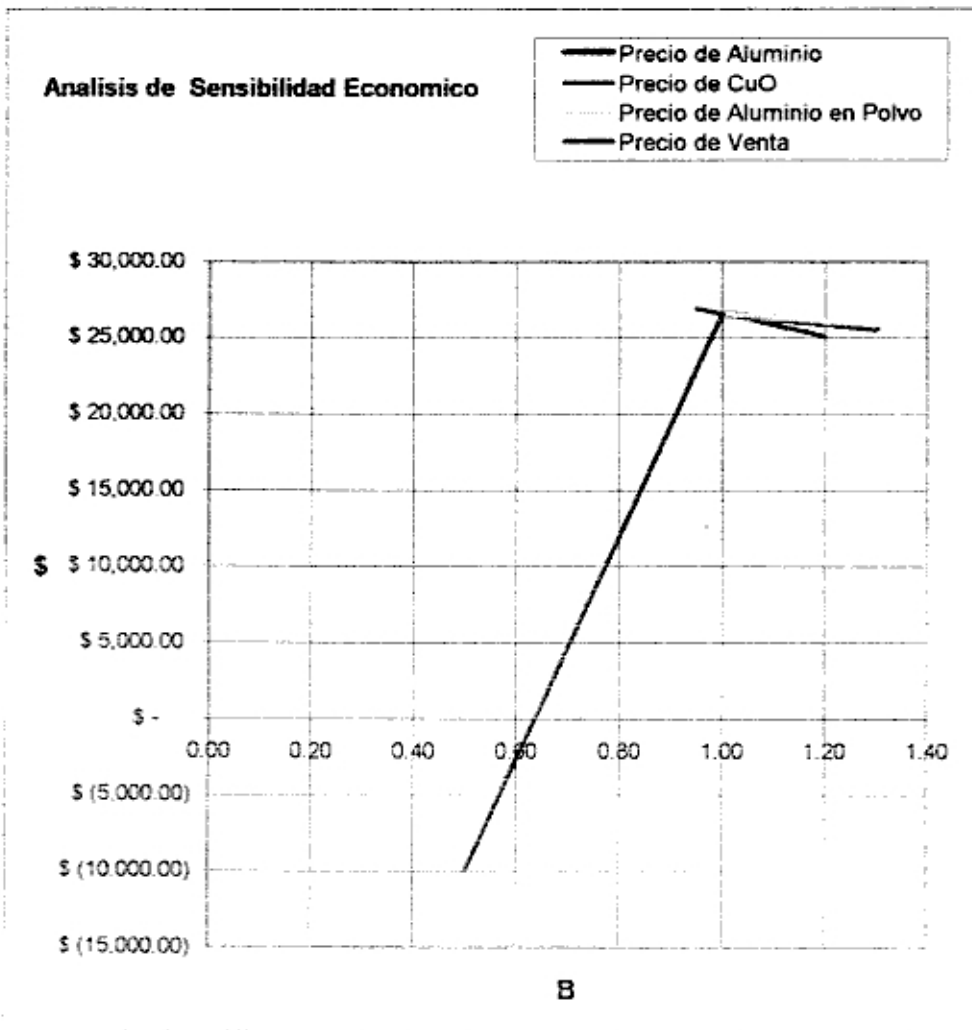


Gráfico 17.- Análisis de sensibilidad económico



### Análisis de Sensibilidad (VPN Financiero)

| B    | 1            | 2            | 3            | 4             |
|------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 0.50 |              |              |              | \$ (9,132.56) |
| 0.55 |              |              |              | \$ (5,479.54) |
| 0.60 |              |              |              | \$ (1,831.78) |
| 0.65 |              |              |              | \$ 1,815.98   |
| 0.70 |              |              |              | \$ 5,471.10   |
| 0.75 |              |              |              | \$ 9,119.39   |
| 0.80 |              |              |              | \$ 12,767.67  |
| 0.85 |              |              |              | \$ 16,415.96  |
| 0.90 |              |              |              | \$ 20,064.25  |
| 0.95 |              | \$ 27,740.53 |              | \$ 23,722.52  |
| 1.00 | \$ 27,371.33 | \$ 27,371.33 | \$ 27,371.33 | \$ 27,371.33  |
| 1.05 | \$ 27,209.81 | \$ 27,002.14 | \$ 27,242.87 |               |
| 1.10 | \$ 27,048.29 | \$ 26,632.94 | \$ 27,114.41 |               |
| 1.15 | \$ 26,886.76 | \$ 26,263.75 | \$ 26,985.95 |               |
| 1.20 | \$ 26,725.24 | \$ 25,894.55 | \$ 26,857.48 |               |
| 1.25 | \$ 26,563.72 |              | \$ 26,729.02 |               |
| 1.30 | \$ 26,402.19 |              | \$ 26,600.56 |               |

Tabla 71 - Análisis de sensibilidad de las variables VPN financiero

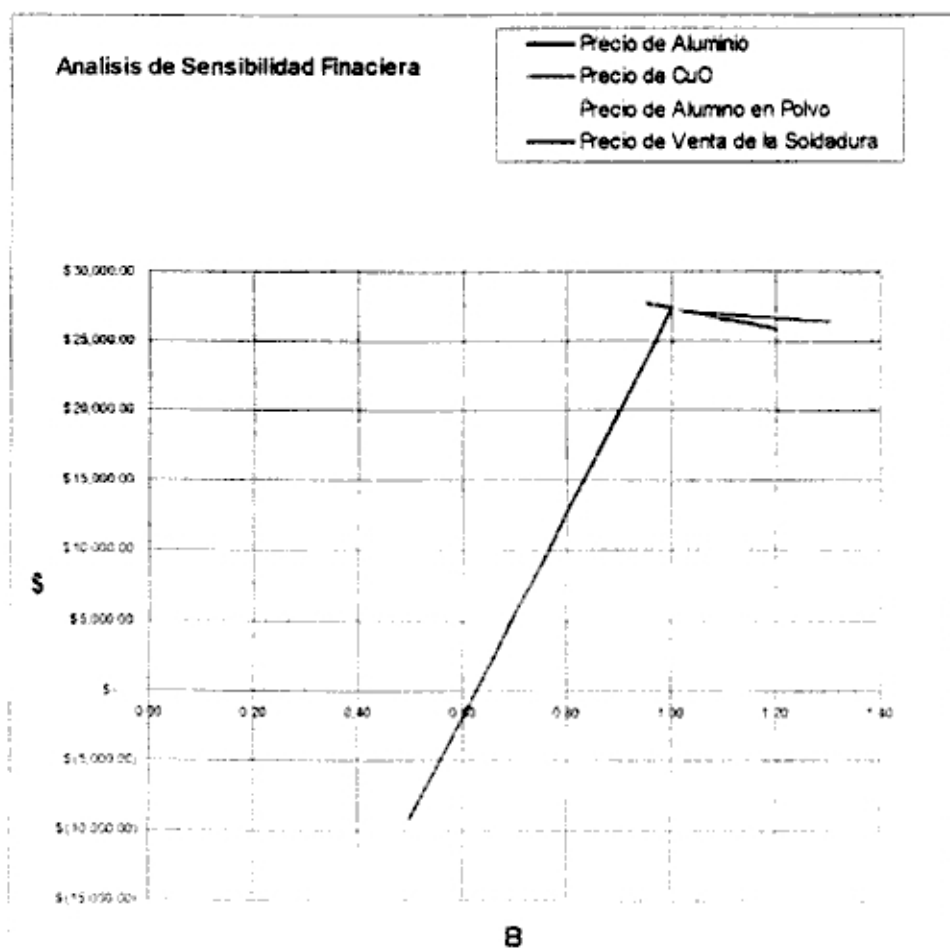


Gráfico 18 - Análisis de sensibilidad financiero

## **7. CONCLUSIONES FINALES**

## Desde el Punto de Vista Técnico

A. Es posible la producción de carga aluminotérmica para la fabricación de soldadura a través de la formulación obtenida en el trabajo de investigación cuyo procedimiento se estableció las siguientes condiciones de operación:

1. Para el óxido de cobre obtenido de la fundición y laminación de cobre, se requiere un tratamiento adicional el cual consiste en poner las cenizas del óxido de cobre en un horno a fin de adecuar y estandarizar el producto a fin de que cumpla las características fisicoquímicas adecuadas aplicables al uso de cargas aluminotérmicas (CuO debe estar entre 3 y 10.5% en peso)
2. La distribución del tamaño de partículas entre el óxido de cobre estandarizado y el aluminio deberá guardar cierta relación entre sus tamaños (Malla ASTM 60-140) a fin de obtener soldaduras de buena calidad sin fisuras ni discontinuidades.

B. Para la formulación de la Carga Aluminotérmica, la relación entre los componentes deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Se deberá mantener una relación aproximada en peso de óxido de cobre a Aluminio de 7:1 a fin de formar una aleación de buena resistencia mecánica, mínima porosidad, buena resistencia a la corrosión y alta conductividad (La aleación de cuproaluminio de 1.83% se obtiene de los ensayos experimentales, Tabla 34 formulación E2703).
2. El uso de un fundente a base de silicato de sodio en cantidades mínimas del 5% en peso, a fin de disminuir la temperatura de fusión de la escoria y facilitar la separación entre la escoria y la soldadura y a la vez permitir la formación de un recubrimiento gaseoso en el metal fundido que evita la oxidación de la soldadura.

C. En comparación con su producto sustituto (conectores) ofrece una mayor seguridad en su uso debido: Una alta resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y alta conductividad; Así como también su fácil uso y maniobrabilidad.

## Desde el Punto de Vista Económico

- A. Desde el punto de vista económico en la empresa Para – Rayos S.A.C. el proyecto es rentable bajo la condición de producirlo como un producto adicional dentro de la diversidad de productos fabricados en la empresa mas no como un proyecto independiente, ya que los márgenes de utilidad pronosticada no solventarian la realización de este proyecto. Por otro lado se puede apreciar que es un proyecto de bajo riesgo de inversión (<10% en factor de riesgo por VPN), por lo cual ofrece una buena posibilidad de inversión a corto plazo (% años) y con un periodo de recuperación de capital relativamente corto (aproximadamente un año).
- B. Adicionalmente debe tenerse en cuenta que le costo de producción de cargas aluminotérmicas para la fabricación de soldadura tiene un costo mas bajo que el costos de importación (40% mas bajo que le costos CIF), lo cual proporciona a la empresa mayores rangos de utilidad y precios de venta relativamente mas bajos que la competencia en el mercado nacional.

## **8. APORTES DE LA INVESTIGACIÓN**

- Establecimiento de una metodología de análisis para materiales pulvimetalúrgicos a través de la aplicación de los principios físicos, químicos y físico químico clásicos obteniendo la caracterización de los componentes y permitiendo a la vez tener una composición química referencial para la formulación en los procedimientos experimentales.
- Demostrar que en una forma económica se pueden realizar análisis químicos analíticos, los cuales ofrecen resultados equivalentes que los análisis químicos instrumentales, por lo cual se ofrece una gran alternativa a las empresas en ahorro de costos por investigación.
- Técnicas y fuentes alternativas en la obtención y formulación de óxido de cobre aplicables al uso en carga aluminotérmicas, estableciendo una técnica viable que considera la estandarización del óxido de cobre procedente de las cenizas de cobre producto del laminado de planchas, contribuyendo con ello al desarrollo en el campo de la pulvimetalurgia.
- Establecimiento de las operaciones unitarias en el proceso de manufactura de la carga aluminotérmica así mismo como el diseño de planta sin tener el uso de ningún diseño patrón por ser un producto de novedad en el mercado nacional.

## **10. BIBLIOGRAFIA**

1. P. Polukhin, "Metal Process Engineering" Mir Publishers-Moscow, Fourth printing 1977 capitulo 25, pág. 320
2. Peblke, Robert.D "Unit Processes of Extractive Metallurgy", Edit: American Elsevier Publishing Co. Inc. 1973 capitulo 5 pág. 113
3. Sax. N. Irving "Dangerous Properties of Industrial Materials", Edit: New York Reinhold 1965 capitulo pág. 1343
4. Lasheras Esteban, José Maria, Sánchez Marín Pizarro, "Materiales Industriales", Edit. Barcelona Cedel 1977 pág. 959
5. Morral, Jimeno, Molera "Metalurgia General" Edit. Reverte S.A. 1982 págs. (71-77,135-171,184-193)
6. Biswas, A. K, Davenport, W.G "Metalurgia Extractiva del Cobre", Edit: Mexico,d.f Limusa 1993 pág. 470, págs. (108-231)
7. Perry "Manual del Ingeniero Químico" Edit: Reverte 6 Edit. págs. (3.10-3.28,3.127-3.128,3.148-3.151,4.12-4.15)
8. Shaupy, Franz "Pulvimetalurgia - Cerámica de los Metales", Edit: Barcelona Reverte 1955 pág. 319, págs. (71-107,170-293)
9. Ishreve. R. Norris "Industria de los Procesos Químicos" págs. (582-587,594-606)



10. Welding Handbook, Vol. 2, "Welding Processes, Welding Termit" capítulo 29 , págs. (893-900)
  
11. Norma Itintec 350.001 Mayo 1970
  
12. Ray U. Brumblay, "Análisis Cualitativo", CIA. Editorial Continental México, 19 reimpresión, 1995, págs. (111, 117, 166).
  
13. Norma Itintec 331.328