

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**

**E.A.P. DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Instalación de una Planta Moderna de Anodizado para  
Perfiles de Aluminio**

**TESIS**

para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

**AUTOR**

Alejandro García Pérez

**ASESOR**

Alejandro Yarango Rojas

**Lima – Perú**

**2006**

A mis padres por su constante apoyo

## INDICE

	Pág.
1. RESUMEN .....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	7
3. GENERALIDADES.....	8
3.1 Historia del ALUMINIO.....	8
3.2 Proceso de Producción del Aluminio.....	8
3.2.1 Extracción de la Bauxita.....	8
3.2.2 Producción de Alúmina.....	8
3.2.3 Electrólisis de Aluminio.....	9
3.2.4 Propiedades del Aluminio.....	11
3.2.5 Usos del aluminio.....	11
3.2.6 El Aluminio en el mundo.....	12
3.3 El Aluminio en el Perú.....	14
3.4 Perfiles de Aluminio.....	14
3.5 Aleaciones más usadas para perfiles de Aluminio.....	16
3.5.1 AA 6061 ( Asociación de Aluminio 6061).....	16
3.5.2 AA 6063 ( Asociación de Aluminio 6063).....	16
3.6 Tratamiento Térmico.....	16
4. ESTUDIO DEL MERCADO DE PERFILES DE ALUMINIO EN EL PERU.....	18
4.1 Determinación del mercado de perfiles de aluminio.....	18
4.2 Distribución de la demanda Nacional .....	18
4.3 Precios FOB.....	20
4.4 Mercado de perfiles.....	20
5. DETERMINACION DE LA DEMANDA DE PERFILES ANODIZADOS .....	22
5.1 Análisis estadístico de los datos.....	22
5.2 Proyección al año 2010.....	23
6. CONSIDERACIONES TECNICAS SOBRE EL ANODIZADO.....	24
6.1 ¿Qué es el Anodizado?.....	24
6.2 Capa de óxido.....	25
6.3 Reacciones químicas durante este proceso.....	26
6.4 Comportamiento de la Capa de óxido.....	27
6.5 Poros en la capa de óxidos anódicos .....	29
7. ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE AFECTAN EL ANODIZADO.....	32
7.1 Material del perfil a anodizar aleación AA 6063.....	32
7.2 Parámetros del proceso de anodizado.....	33

7.3	Efectos de los parámetros de anodizado sobre las propiedades de la capa anódica.....	33
7.3.1	Concentración del ácido sulfúrico.....	34
7.3.2	Efecto de la temperatura del electrolito.....	34
7.3.3	El efecto del voltaje.....	34
7.3.4	Efecto de la densidad de corriente.....	35
7.3.5	Agitación.....	35
7.4	Algunos conceptos físicos.....	36
8.	DETERMINACIÓN DE LA CAPA ANODICA.....	37
9.	TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	38
9.1	Capacidad de la planta.....	38
9.2	Localización de la planta.....	39
9.2.1	Materias primas.....	39
9.2.2	Insumos.....	39
9.2.3	Mano de obra.....	40
9.2.4	Mercado .....	40
9.2.5	Transporte.....	40
9.2.6	Agua.....	40
9.2.7	Electricidad.....	40
9.2.8	Terreno.....	40
9.2.9	Clima.....	40
9.2.10	Restricciones legales.....	40
9.2.11	Tratamiento de aguas residuales .....	41
10.	TECNOLOGIA GENERAL.....	42
10.1	Pre-tratamiento de la superficie.....	42
10.2	Herramental (Electrodos, platinas, ganchos, accesorios, alambre).....	43
10.3	Desengrase.....	43
10.4	Decapado.....	44
10.5	Soda.....	44
10.6	Neutralizado.....	44
10.7	Anodizado.....	45
10.8	Coloreado.....	45
10.9	Sellado .....	46
10.10	Secado.....	46
11.	CONTROL DE CALIDAD DE LOS PERFILES ANODIZADOS.....	47
12.	METODOS DE ANALISIS DE LAS SOLUCIONES DE ANODIZADO.....	48
12.1	Determinación del desengrase.....	48
12.2	Determinación del decapante y aluminio.....	48

12.3	Determinación de la concentración de ácido sulfúrico y aluminio en los baños de anodizado.....	50
12.4	Determinación del sulfato de estaño en el baño de electro color.....	51
12.5	Control del PH en el sellado .....	52
12.6	Determinación de la soda cáustica.....	52
12.7	Determinación del neutralizado.....	53
13.	ESPECIFICACIÓN TECNICA DE LOS INSUMOS.....	55
13.1	Desengrase.....	55
13.2	Decapante.....	55
13.3	Aditivo para el decapado.....	56
13.4	Humectante no iónico.....	56
13.5	Sal de color.....	56
13.6	Estabilizador de color.....	57
13.7	Aditivo de sellado.....	57
13.8	Acido Sulfúrico Ind.....	57
13.9	Acido Nítrico industrial.....	58
13.10	Acido Acético Industrial.....	58
13.11	Amoniaco líquido 26°C Industrial.....	59
13.12	Soda cáustica Liquida 50% Ind.....	59
14.	INGENIERIA GENERAL.....	60
14.1	Equipos rectificadores.....	60
14.2	Agitación.....	64
14.3	Refrigeración.....	64
14.4	Herramental.....	65
14.5	Agua tratada.....	66
14.6	Calefacción.....	70
14.7	Instalación de los secadores.....	71
14.8	Proceso.....	72
14.9	Parámetros de operación.....	72
14.10.	Características de las tinas del proceso.....	73
14.11	Costo de los equipos para la planta de anodizado .....	75
14.12	Tratamiento de agua residual.....	76
14.12.1	Generalidades.....	76
14.12.2	Coagulación.....	77
14.12.3	Floculación.....	78
14.12.4	Desarrollo del proyecto.....	80
14.12.5	Descripción del procedimiento para tratar las aguas residuales.....	81

14.12.6	Determinación de los volúmenes de los recipientes.....	90
14.12.7	Costo de los equipos para la planta de tratamiento de aguas residuales.....	90
14.13	Determinación de los consumos.....	91
15.	INGENIERIA ECONOMICA.....	93
15.1	Estimación de la inversión.....	93
15.2	Capital fijo.....	94
15.3	Capital de trabajo.....	99
15.4	Estimación del costo de producción.....	99
15.5	Análisis económico.....	100
16.	CONCLUSIONES.....	104
17.	RECOMENDACIONES.....	105
18.	SEGURIDAD AMBIENTAL Y OCUPACIONAL.....	106
19.	BIBLIOGRAFÍA .....	107
20.	APENDICE.....	108

## 1. RESUMEN

La apertura de los mercados en el país trajo como consecuencia una caída de precios de los productos de aluminio. Es así que la empresa tienen que optimizar sus procesos, reducir costos en todos los ámbitos, para ser competitivo y tener capacidad de satisfacer las necesidades de los mercados internos y externos.

Además tendríamos que sumar las regulaciones legales recientes sobre insumos químicos, productos fiscalizados y residuos sólidos que generan toda actividad industrial, los cuales están clasificados en peligrosos y no peligrosos. Siendo los peligrosos los que más restricciones presentan para su disposición final con un alto costo.

El presente trabajo "INSTALACIÓN DE UNA PLANTA MODERNA DE ANODIZADO PARA PERFILES DE ALUMINIO". Contempla todas las inquietudes para ser una planta moderna con tecnología de punta y eficiente.

En los primeros capítulos se describe el aluminio, su obtención los países en el mundo que lo producen, las características del Aluminio, usos, los tratamientos tanto de conformación, homogenización, envejecido y protección como es el anodizado además vemos las diferentes aleaciones que se obtienen según el uso que se le quiera dar entre los que están las aleaciones usadas en la producción de perfiles.

Seguidamente se evalúa el potencial del mercado peruano en el consumo de perfiles y la forma como es cubierta. Por producción nacional e importación aquí se presenta una gráfica donde se puede apreciar de donde vienen los perfiles importados. Claro esta que tomamos como fuente la aduana marítima del callao.

Para determinar la demanda del los perfiles anodizados se realiza un análisis de los datos de los últimos 13 años tanto importación y producción nacional.

Dentro de los perfiles anodizados consideramos los perfiles coloreados de preferencia color negro

Una explicación de sobre lo que es el anodizado y estudios sobre los factores que afectan el mismo, Seguido de una formula practica para determinar el espesor de la capa anódica nos da una mayor respaldo teórico.

Además un amplio despliegue en la tecnología de anodizado nos proporciona herramientas suficientes en la toma de decisiones para la selección de los equipos sobre anodizado, agitación, refrigeración, control de corriente y electro coloreado, calefacción, sistemas de control de soluciones los métodos se análisis de cada baño, las especificaciones de los insumos para el proceso.

Con estas bases se determina las dimensiones de la planta para una capacidad de producción de: 1 465 333.24 m<sup>2</sup> ó 2 930.66 TM anuales.

Continuando con el proyecto se desarrolla la parte de ingeniería que abarca la planta de anodizado y la planta de tratamiento de aguas residuales. Logrando así que la planta sea integral y cumpla con las normativas vigentes.

En la estimación del consumo de energía se utiliza la potencia de los equipos, y en la estimación de agua, insumos químicos, combustible, se ha trabajado con índices de consumo en Kg/TM de perfiles anodizados.

La parte de ingeniería económica nos muestra la rentabilidad del proyecto. Para la inversión total de \$ 3 558 867,00.

A un precio de 2,00 \$/m<sup>2</sup> tenemos una utilidad de neta de 16.44%, mientras que la rentabilidad del capital aportado por la empresa es de 34.24%

En la parte final podemos encontrar la parte de las conclusiones, recomendaciones y seguridad ambiental y ocupacional.

## 2. INTRODUCCIÓN

Una de las características muy importante del Aluminio es su gran resistencia al medio ambiente. Por esta razón lo podemos encontrar en una gran variedad de productos que van desde la protección de alimentos, hasta equipos de precisión en naves espaciales, pasando por supuesto por la parte industrial, transporte e industria de la construcción.

El Aluminio por si solo es un elemento muy reactivo y su oxidación en el medio ambiente es rápido. Esta capa así formada es delgada y para que cumpla la función de protección debe ser preservada adecuadamente.

En una planta de fabricación de perfiles de aluminio es muy necesaria contar con una planta de anodizado que cubra sus necesidades y capacidad suficiente para cubrir la demanda interna y externa, puesto que el 70% de la producción de perfiles son requeridos con la protección que ofrece el anodizado

Y ante la creciente demanda, el ingreso de productos terminados por importación trajeron consigo la caída de los precios de los perfiles anodizados, a esto se suman las reglamentaciones de salud laboral, insumos y productos químicos fiscalizados, ley de los residuos sólidos, ley del medio ambiente. Etc. Teniendo el Perú una empresa: Aluminios PFK de la corporación Furukawa que fabrica perfiles con su respectiva planta de anodizado.

Nos vemos en la necesidad de enfrentar los nuevos retos con eficiencia y productividad por eso se desarrolla el presente trabajo "INSTALACIÓN DE UNA PLANTA MODERNA DE ANODIZADO PARA PERFILES DE ALUMINIO".

Para el desarrollo del mismo se contempla las nuevas perspectivas de la planta para exportar en donde uno de los requisitos del mercado es la longitud de (21 pies) 6.4 m,

Con un eficiente control de corriente en el proceso se logra la uniformidad de la capa de óxido y del color. Además podremos competir de igual a igual con los importadores con la ventaja de la facilidad de entrega al término de la distancia.

Un punto aparte requiere el diseño que se realiza para el tratamiento de aguas residuales de la planta de anodizado, con el fin de obtener los sólidos compactados para su fácil manejo y disposición final, de igual forma se obtiene agua clarificada en el rango de PH permitido que se puede reutilizar parcialmente.

### 3. GENERALIDADES

#### 3.1 Historia del ALUMINIO.

El Aluminio de símbolo Al, es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre. Su número atómico es 13 y se encuentra en el grupo 13 (IIIA) de la tabla periódica. El químico Danés Hans Christian Oersted aisló el aluminio por primera vez en 1825, por medio de un proceso químico que utilizaba una amalgama de potasio y cloruro de aluminio.

Entre 1827 y 1845, el químico alemán Friedrich Wöhler mejoró el proceso de Oersted utilizando potasio metálico y cloruro de aluminio. Wöhler fue el primero en medir la densidad del aluminio y demostrar su ligereza. En 1854, Henri Sainte-Claire Deville obtuvo el metal en Francia reduciendo cloruro de aluminio con sodio. Con el apoyo financiero de Napoleón III, Deville estableció una planta experimental a gran escala, y en la exposición de París de 1855 exhibió el aluminio puro.

El aluminio es un metal de color blanco plateado que en la naturaleza no se encuentra como un metal puro sino combinada con otros elementos formando compuestos como:

- Bauxita ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$  ó  $\text{Al}_3\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- Criollita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )
- Alunita ( $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ )
- Leucita ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ )

Actualmente el aluminio se extrae mediante electrólisis de la alúmina u óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que a su vez es extraída de la bauxita.

#### 3.2 Proceso de Producción del Aluminio

##### 3.2.1 Extracción de la Bauxita

La Bauxita es principalmente un óxido de aluminio hidratado ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$  ó  $\text{Al}_3\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y su forma común es como una masa terrosa amorfa, con una gama de colores que varía entre blanco sucio, grisáceo, café amarillo o café rojizo. Su extracción es principalmente por método de mina abierta.

##### 3.2.2 Producción de Alúmina

En una visita a la empresa VAW ALUMINIUM AG ELBERWERK ALUMINIUM OXIDE STADE GMBH En Alemania. Se puede observar el proceso bayer para la obtención de la Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). El proceso empieza con la recepción de los concentrados desde los barcos que provienen de Australia, Sudáfrica y otros países productores de bauxita. Luego pasa a una





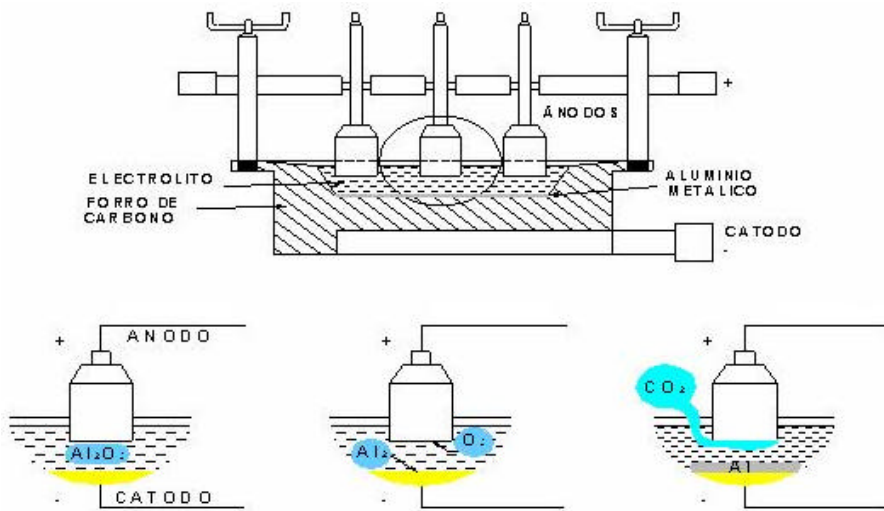


Fig. 1.- Esquema de obtención del Aluminio



Fig. 2.- Celdas Electrolíticas



Fig. 3.- Batería de celdas electrolíticas

4 TM de bauxita se requieren para producir 2 TM de alúmina, las cuales producirán 1 TM de aluminio.

Además son necesarios:

- Electroodos de Grafito = 600 Kg
- Criollita = 80 Kg
- Voltaje = 4,5 V
- Dimensiones de la celda = 3 x 8 x 0,7 m , conteniendo 8 bloques de grafito ( 200 celdas simples, en serie, cada una de 15 m<sup>3</sup>)
- Electricidad = 15 Mwh

### 3.2.4 Propiedades del Aluminio.

- El Aluminio es un metal plateado muy ligero.
- Su masa atómica es 26,9815
- Punto de fusión de 660 °C.
- Punto de ebullición de 2467 °C
- Densidad relativa de 2,7.
- Es un metal muy electropositivo (elementos químicos cuyos átomos ceden con facilidad electrones y adquieren, por tanto, carga positiva)
- Muy reactivo.- En un medio oxidante, en particular en el aire, se cubre de una densa película de óxido que lo protege contra la corrosión. Por esta razón, los materiales hechos de aluminio no se oxidan.
- El aluminio es resistente a la acción del ácido nítrico y a los ácidos orgánicos.
- Conductividad térmica: 209 w/m<sup>2</sup>K
- Conductividad eléctrica: 65 % a 20° C (IACS =100%)

### 3.2.5 Usos del aluminio

El uso del Aluminio es muy amplio cubriendo los diferentes campos de la industria que va desde la protección de alimentos en todo tipo de envases que llevan aluminio en finas capas llamado foil. La industria aeronáutica la mayor parte de los aeronaves son de aleaciones de aluminio, en la electrónica lo utilizan como componentes y disipadores de calor.

Actualmente tiene un gran desarrollo en la industria automotriz se usa en todas partes del vehículo, chasis, motor, enchape, marco de ventanas estructuras, aros carrocerías

En la industria de la construcción que es nuestro principal consumidor incluye por supuesto lo que es la carpintería de aluminio la fabricación de puertas, ventanas, paneles, estructuras, decoración

Esto en diferentes acabados de los cuales el principal es el perfil anodizado industrial y el anodizado color.

El Aluminio que se usa para moldeo son aleaciones específicas para obtener un producto determinado.

Entre las aleaciones del aluminio tienen importancia el Duraluminio, por su mayor resistencia mecánica y se le caracteriza por su composición química cuyo porcentaje en peso es: 3,4% a 4% de Cu, 0,5% de Mg, no más de 0,8% de Fe y 0,8% de Si.

El duraluminio se deforma bien y por sus propiedades mecánicas es próximo a algunas aleaciones de acero, aunque es 2,7 veces más ligero que este metal (la densidad del duraluminio es de 2,85 g/cm<sup>3</sup>).

Las propiedades mecánicas de esta aleación se mejoran después de su tratamiento térmico y deformación en estado frío. La resistencia a la rotura se eleva de entre 15 y 22 Kgf/mm<sup>2</sup> a 36-42 Kgf/mm<sup>2</sup> y la dureza aumenta de 50 - 60 Kgf/mm<sup>2</sup> a 90 -100 Kgf/mm<sup>2</sup>.

Con ello el alargamiento permanente de la aleación casi no varía y queda bastante alto (de 18 a 24%).

Puesto que el aluminio tiene gran afinidad química con el oxígeno, se emplea en la metalurgia como oxidante.

Muchas gemas (el rubí y el zafiro, por ejemplo) consisten principalmente en óxido de aluminio cristalino.

El crecimiento comercial del aluminio se da después de la segunda guerra Mundial.

### 3.2.6 El Aluminio en el mundo

Actualmente el aluminio es el segundo metal más utilizado después del hierro.

Producido comercialmente solo hace 150 años la producción anual de Aluminio 31 millones de TM. Comparado con 14,1 millones TM de Cobre, 6 millones TM de Plomo, 0,2 millones de TM de Estaño.

Evolución de la producción de Aluminio Primario en el Mundo

1885 Producción Anual 15 TM.

1900 Producción Anual 8 mil TM.

1913 Producción Anual 65 mil TM.

1920 Producción Anual 128 mil TM.

1938 Producción Anual 537 mil TM.

1946 Producción Anual 681 mil TM.

Actualidad Alrededor 24 millones TM.

Aluminio Reciclado 7 millones de TM.

Agrupando los principales países productores de aluminio en áreas tenemos:

Tabla1.- Países productores de Aluminio

Area		País
Area 1	Africa	Camerún, Egipto, Ghana, Mozambique, Nigeria, South Africa
Area 2	Norte América	Canadá, Estados Unidos de América
Area 3	Latino America	Argentina, Brasil, México (1/1973-12/2003), Surinam (1/1973-7/2001), Venezuela
Area 4	Asia Este	China*, Japón, Corea del Norte*, Corea del Sur*, Tadzhiistan
Area 5	Asia Sur	Azerbaijan*, Bahrain, India, Indonesia, Iran*, Turkey, Emiratos Arabes Unidos
Area 6A	Europa Oeste	Francia Alemania, Grecia, Islandia, Italia, Holanda, España, Suecia, Suiza, Reino Unido
Area 6B	Europa Este/Central	Bosnia y Herzegovina*, Croacia*, Hungría, Polonia*, Rumania*, Rusia Federación, Serbia y Montenegro, Slovakia, Slovenia, Ucrania
Area 7	Oceania	Australia, Nueva Zelandia

Fuente: International Aluminium Institute Statistical Report

Tabla 2.- Cantidad de aluminio producido por áreas

PRODUCCIÓN DE ALUMINIO PRIMARIO (MILES DE TONELADAS METRICAS)									
Periodo	Area 1: Africa	Area 2: Norte America	Area 3: Latino America	Area 4/5: Asia	Area 6A: Europa Oeste	Area 6B: Europa Este/Central	Area 7: Oceania	Total	Promedio diario
2001	1.369	5.222	1.991	2.234	3.885	3.728	2.122	20.551	56,3
2002	1.372	5.413	2.230	2.261	3.928	3.825	2.170	21.199	58,1
2003	1.428	5.495	2.275	2.475	4.068	3.996	2.198	21.935	60,1
2004	1.711	5.110	2.356	2.735	4.295	4.139	2.246	22.592	61,7
2005	1.752	5.382	2.391	3.100	4.352	4.194	2.252	23.423	64,2

Fuente: International Aluminium Institute Statistical Report

Graficando:

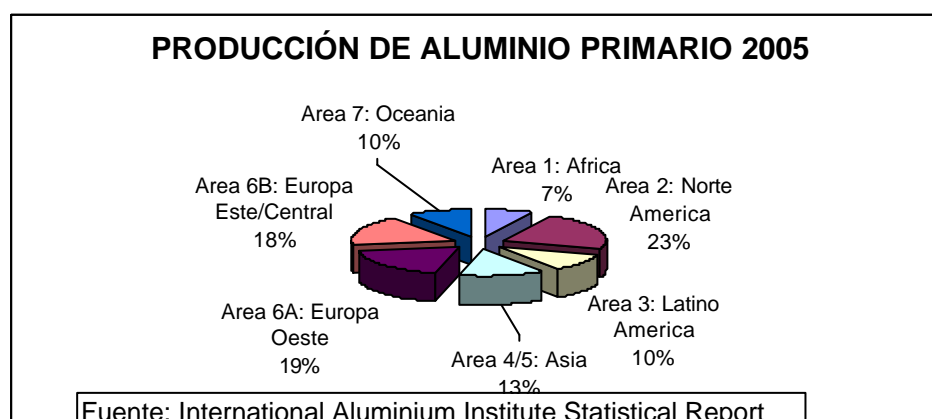


Fig. 4.- Producción de Aluminio Primario por áreas 2005

La adición de otros elementos da lugar a las diferentes aleaciones de aluminio las cuales se clasifican en series. Bajo la American National standards Institute (ANSI) estándar H35.1. La

Asociación de Aluminio (AA) en Washington DC, registra bajo la ANSI H35.1 lo referente a la designación y composición de aleaciones de aluminio y temple en Estados Unidos.

Así tenemos:

Serie 1000: Aluminio con un mínimo de pureza de 99%

Serie 2000: Aleado con cobre

Serie 3000: Aleado con Manganeseo

Serie 4000: Aleado con Silicio

Serie 5000: Aleado con Magnesio

Serie 6000: Aleado con Silicio-Magnesio

Serie 7000: Aleado con Zinc

Nosotros nos ocuparemos de las aleaciones para perfiles

### 3.3 El Aluminio en el Perú

En el país desde los años 50 se empezó la fabricación de perfiles de Aluminio anodizado con la fábrica de Aluminios y Metales FAM, luego surge la fábrica Metales industriales SA. Las cuales han cubierto el mercado nacional por un buen tiempo, con la apertura de nuestras fronteras y el fenómeno del libre mercado. La fábrica de Metinsa cerro sus puertas quedando solamente FAM el cual vende sus activos a la Vidriera 28 de Julio SA.

Actualmente Aluminios PFK cubre una gran parte del mercado interno en los distintos sectores desde la industria de alimentos, eléctrica, automotriz y otros, pero la gran mayoría esta en la industria de la construcción y carpintería de aluminio.

### 3.4 Perfiles de Aluminio

El sector de la construcción y el sector industrial usa una gran cantidad de aluminio en forma de perfiles aluminio que se obtienen por el proceso de extrusión principalmente de aleación AA 6063, en diferentes acabados superficiales.

El proceso de extrusión del aluminio consiste en forzar un lingote a alta temperatura 450° C - 500° C, en estado plástico por medio de una prensa hidráulica de gran potencia a través de una matriz para obtener la forma requerida

Existen prensas de diferente capacidad pudiendo encontrar de 1 250 TM hasta 10 000TM de presión, cada una de las cuales producen un tamaño máximo en el radio circunscrito de las piezas extruídas.



Fig.5 .- Esquema de extrusión

En la fabricación de perfiles de aluminio se utiliza la serie 6000 por las siguientes características.

- Tienen una moderada resistencia mecánica
- Muy buena resistencia a la corrosión
- Tratable térmicamente y forjado
- Las aleaciones de la serie AA 6000 (aluminio-magnesio-silicio) son altamente aplicables en construcciones estructurales marinas y equipos de proceso.
- El endurecimiento se obtiene por la precipitación de la fase  $Mg_2Si$ .
- En el proceso de fundición se agrega adicionalmente cromo, manganeso para el control de la estructura del grano.
- El cobre aumenta la resistencia mecánica pero esta limitada a pequeñas cantidades para minimizar los efectos en la resistencia a la corrosión.
- En general el nivel de resistencia a la corrosión decrece un poco según aumenta el contenido de cobre.

Tabla 3. - Características de la Serie AA6000

SERIE	CARACTERISTICAS
Serie 6000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena resistencia mecánica</li> <li>- Buena resistencia a la corrosión</li> <li>- Buena maquinabilidad</li> <li>- Buena soldabilidad</li> </ul>

### 3.5 Aleaciones más usadas para perfiles de Aluminio

### 3.5.1 AA 6061 (Asociación de Aluminio 6061)

#### Características:

- Composición química porcentaje en peso: 0,4% a 0,8% Si; 0,70% Fe como max; 0,15% Cu max; 0,15% Mn max; 0,80% a 1,20% Mg; 0,35% Cr max ; 0,25% Zn max; 0,15% Ti max, 0,05% max Otros; Remanente Al.
- Es la aleación para uso estructural
- Grupo Al-Si-Mg
- Fácil de extruir
- Tratable térmicamente
- Mediana Resistencia Mecánica
- Resistencia a la Corrosión
- Fácil de Soldar

### 3.5.2 AA 6063 (Asociación de Aluminio 6063)

#### Características:

- Composición química porcentaje en peso: 0,2% a 0,6% de Si; 0,35% Fe como max; 0,10% Cu max; 0,10% Mn max; 0,45% a 0,9% Mg; 0,10% Cr max; 0,10% Zn max; 0,10% Ti max, 0,05% max Otros; Remanente Al.
- Es la aleación más usual para extruir perfiles de uso arquitectónico
- Grupo Al-Si-Mg
- Fácil de extruir
- Tratable térmicamente
- Moderada Resistencia Mecánica
- Resistencia a la Corrosión
- Excelente Anodización
- Fácil de Soldar

### 3.6 Tratamiento Térmico

Las aleaciones para perfiles con el objetivo de mejorar sus propiedades químicas y mecánicas reciben diferentes tratamientos térmicos que van desde el momento de la preparación de la colada, la velocidad de enfriamiento en la solidificación del metal y el

Homogenizado de los lingotes que normalmente se realiza a 566°C por 6 horas luego recibe un enfriamiento brusco. Una vez que los perfiles toman forma final por el proceso de extrusión reciben el tratamiento térmico llamado envejecido.

Las diferentes condiciones de tratamiento térmico determinan sus características, un resumen de los tratamientos térmicos se muestra en la tabla 4

La propiedad mecánica de control es la dureza obtenida por precipitación de los elementos constituyentes.

Tabla 4. - Tratamiento térmicos Típicos

Estado de tratamiento		Tratamiento		Dureza
Símbolo	Denominación			
T4	Temple Maduración natural	Enfriamiento con aire a la salida de la matriz	Maduración natural durante 5 días	30 - 40 HB
1/2 D	Temple Maduración artificial	Enfriamiento con aire a la salida de la matriz	1-2 h. a 185 ± 3 °C	45 - 55 HB
T5	Temple Maduración artificial	Enfriamiento con aire a la salida de la matriz	8 h. a 175 ± 3 °C ó 5 h. a 185 ± 3 °C ó 1 h. a 210 ± 3 °C	60 - 70 HB
T6	Temple Maduración artificial	520 ± 5 °C Enfriar con agua		Para espesores >1/2", 60 - 70 HB
T8	Temple Deformación en frío Maduración artificial	520 ± 5 °C Enfriar con agua Deformación en frío		Enfriar al aire

Fuente: Tempers for Aluminum and Aluminum Alloy Products

#### 4. ESTUDIO DEL MERCADO DE PERFILES DE ALUMINIO EN EL PERU

##### 4.1 Determinación del mercado de perfiles de aluminio

Tabla 5.- Comportamiento del Mercado Peruano TM

Año	Importación	Nacional	Total
1993	3,22	2.133,95	2.137,17
1994	4,09	2.402,92	2.407,01
1995	0,04	3.179,70	3.179,74
1996	3,97	2.542,20	2.546,17
1997	52,90	894,96	947,86
1998	938,07	1.810,75	2.748,82
1999	2.307,35	861,58	3.168,93
2000	1.810,77	1.017,71	2.828,48
2001	1.386,02	991,71	2.377,73
2002	1.335,77	2.243,52	3.579,29
2003	1.638,92	2.286,10	3.925,02
2004	2.136,03	2.486,17	4.622,20
2005	4.174,43	2.400,00	6.574,43

Fuente: Sunat - Aduanas, Anuario Aluminios PFK

En los últimos 13 años se aprecia un crecimiento sostenido en el consumo de perfiles de aluminio lo cual es cubierto por producción nacional e importación.

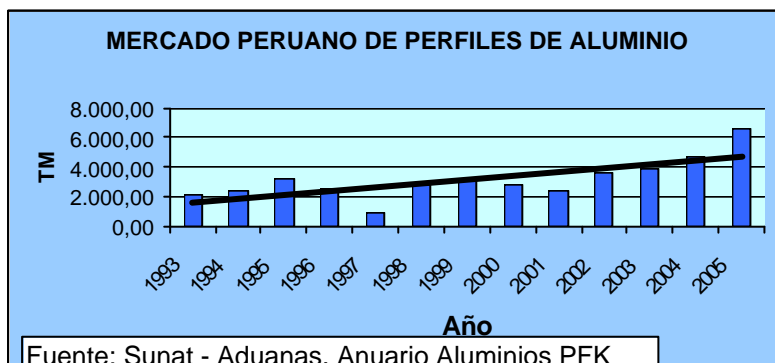


Fig 6.- Comportamiento del Mercado Nacional

##### 4.2 Distribución de la demanda Nacional

La demanda esta cubierto por producción nacional é importación.

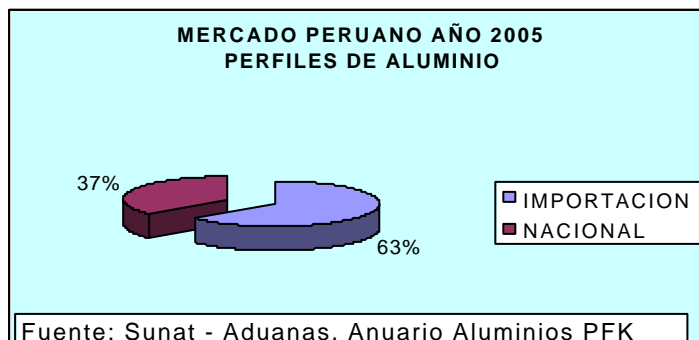


Fig 7.- Distribución del Mercado Nacional

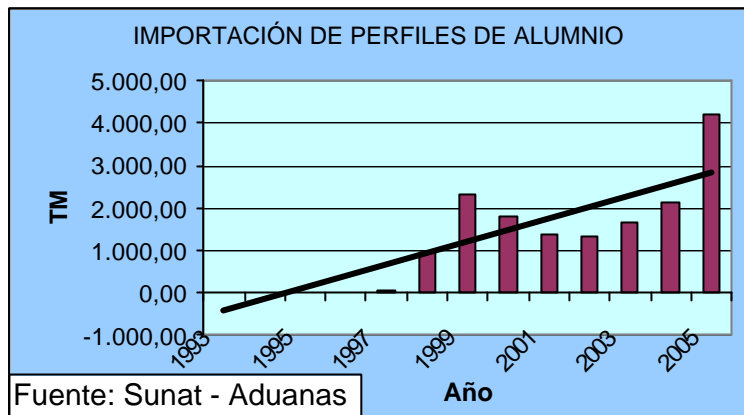


Fig 8.- Importación de perfiles

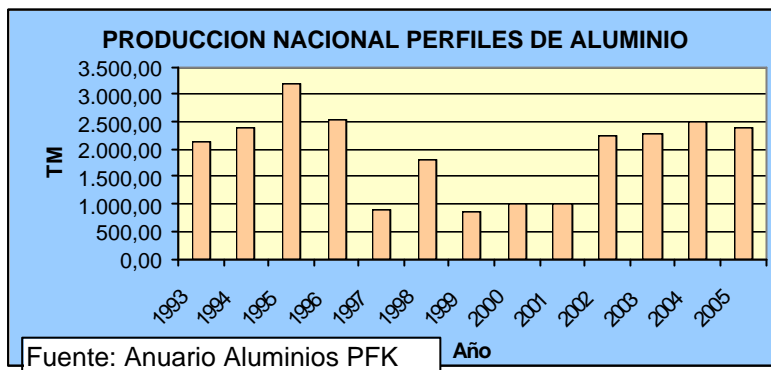


Fig 9 .- Producción Nacional de perfiles

Las Fig.8 y Fig. 9 explica el comportamiento de las importaciones y la producción nacional. En los últimos 13 años vemos que la importación ha crecido vertiginosamente mientras la producción nacional tiene un estancamiento.

Los países de los cuales se importó los perfiles en el año 2005, lo vemos en la Fig. 10.

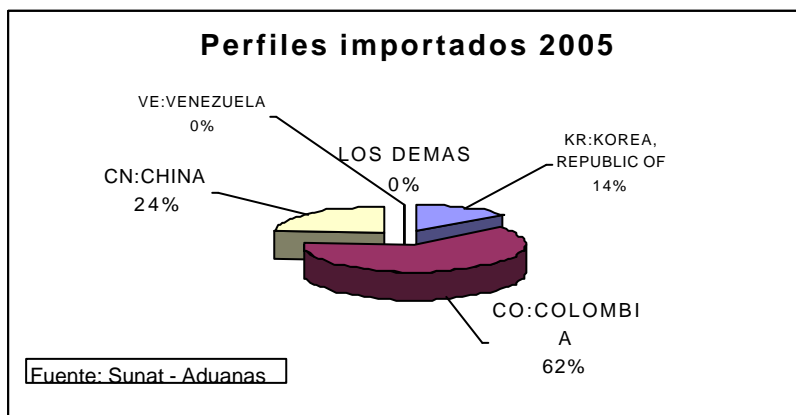


Fig 10.- Países de los cuales se importan Perfiles de Aluminio

#### 4.3 Precios FOB

Aleaciones de Aluminio bruto, esto es la materia prima para la producción nacional

País de Origen	FOB \$/Kg
BR:BRAZIL	1.90

Fuente: Sunat -Aduanas

Tabla 6.- FOB de Perfiles de aleaciones de Aluminio

País de Origen	FOB Promedio \$/Kg
KR:KOREA, REPUBLIC OF	2.72
CO:COLOMBIA	3.25
CN:CHINA	2.53
VE:VENEZUELA	2.56
EC:ECUADOR	3.39

Fuente:Sunat - Aduanas

#### 4.4 Mercado de perfiles

Los perfiles en el mercado se presentan en diferentes acabados superficiales

Los cuales se aprecian en la Fig. 11

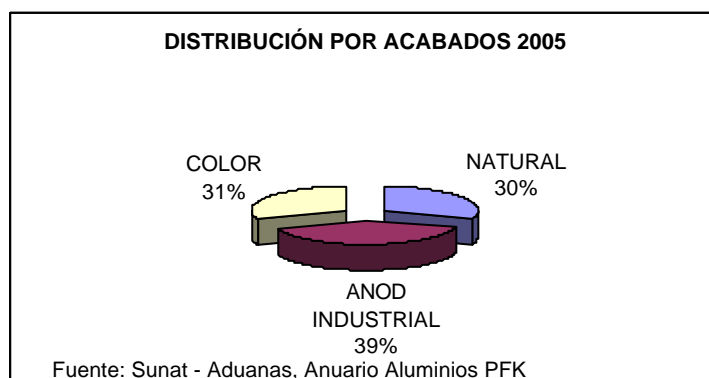


Fig 11.- Distribución de perfiles por acabado

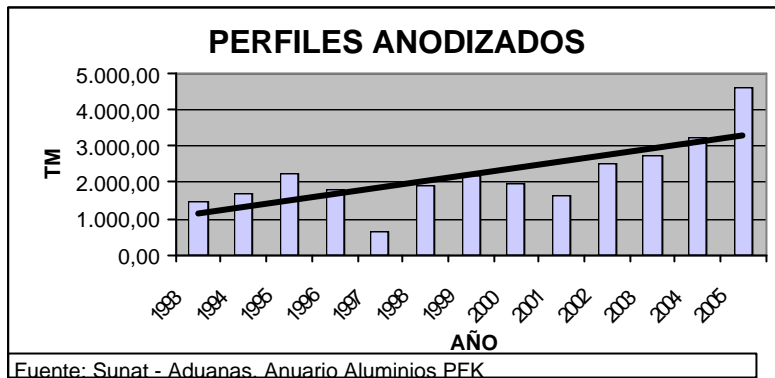


Fig 12.- Perfiles anodizados

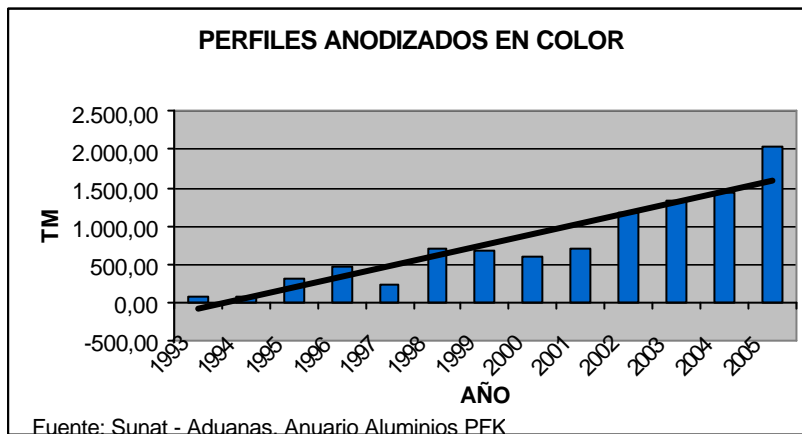


Fig 13.- Comportamiento del acabado color

Estos valores para la determinación de los acabados se obtuvieron del Anuario Aluminios PFK. En la Fig. 13 se aprecia el comportamiento particular del color negro durante el periodo 1993 al 2005

## 5. DETERMINACION DE LA DEMANDA DE PERFILES ANODIZADOS

### 5.1 Análisis estadístico de los datos

Tabla 7. - Tabulación de datos para el análisis estadístico

Item	Año	Total	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	1993	2.137,17	4.259.379,81	3.972.049,00	4.567.495,61
2	1994	2.407,01	4.799.577,94	3.976.036,00	5.793.697,14
3	1995	3.179,74	6.343.581,30	3.980.025,00	10.110.746,47
4	1996	2.546,17	5.082.155,32	3.984.016,00	6.482.981,67
5	1997	947,86	1.892.876,42	3.988.009,00	898.438,58
6	1998	2.748,82	5.492.142,36	3.992.004,00	7.556.011,39
7	1999	3.168,93	6.334.691,07	3.996.001,00	10.042.117,34
8	2000	2.828,48	5.656.960,00	4.000.000,00	8.000.299,11
9	2001	2.377,73	4.757.837,73	4.004.001,00	5.653.599,95
10	2002	3.579,29	7.165.738,58	4.008.004,00	12.811.316,90
11	2003	3.925,02	7.861.815,06	4.012.009,00	15.405.782,00
12	2004	4.622,20	9.262.888,80	4.016.016,00	21.364.732,84
13	2005	6.574,43	13.181.732,15	4.020.025,00	43.223.129,82
<b>Total</b>	<b>25987</b>	<b>41.042,85</b>	<b>82.091.376,54</b>	<b>51.948.195,00</b>	<b>151.910.348,84</b>

Desarrollamos las siguientes formulas para determinar la ecuación de regresión:

Factor de correlación:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{(\sum x^2 - (\sum x)^2)^{1/2} \cdot (\sum y^2 - (\sum y)^2)^{1/2}}$$

Ecuación de regresión:

$$y = b_0 + b_1 x$$

Donde:

$$b_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b_1 = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Reemplazando valores:

$$n = 13$$

$$b_1 = 256,69995$$

$$b_0 = -509.986,048$$

$$r = 0,73 \text{ Relación lineal}$$

Ecuación resultante:

$$y = -509.986,048 + 256,7X$$

## 5.2 Proyección al año 2010

Reemplazando valores en la ecuación encontrada tenemos

Para el año 2010  
El mercado será **5.980,95** TM

70% de los cuales es anodizado

por anodizar 4.186,67 TM

Teniendo la relación práctica 1TM = 500 m<sup>2</sup>

área a anodizar 2.093.333,20 m<sup>2</sup>

### **La planta cubrira el 70% de los perfiles anodizados**

Area por anodizar en la planta

1.465.333,24 m<sup>2</sup>  
ó 146.533.324,00 dm<sup>2</sup>  
en peso 2.930,66 TM

La dimensión de la planta será para cubrir 1 465 333,24m<sup>2</sup> o su equivalente de 2 930,66 TM anuales de perfiles anodizados.

## 6. CONSIDERACIONES TECNICAS SOBRE EL ANODIZADO

### 6.1 ¿Qué es el Anodizado?

Cuando escuchamos este termino, lo primero que se nos cruza por la cabeza es el coloreado del aluminio, pues algo de eso tiene, pero en si el proceso de anodizado es una forma de proteger el aluminio contra de los agentes atmosféricos. Luego del extruído y decapado, este material entra en contacto con el aire y forma por si solo una delgada película de oxido con un espesor mas o menos regular de 0,01 micrones denominada oxido de aluminio, esta tiene algunas mínimas propiedades protectoras.

Bien, el proceso de anodizado consiste en obtener de manera artificial películas de oxido de mucho mas espesor y con mejores características de protección que las capas naturales, estas se obtienen mediante procesos químicos y electrolíticos. Artificialmente se pueden obtener películas en las que el espesor es de 25 - 30 micrones en el tratamiento de protección o decoración y de casi 100 micrones con el procedimiento de endurecimiento superficial (Anodizado Duro).

En síntesis podemos decir que el proceso de anodizado consiste en formar artificialmente una capa de oxido de aluminio en la superficie del metal, este procedimiento llevado a cabo en un medio sulfúrico produce la oxidación del material desde la superficie hacia el interior, como dijimos anteriormente el material que produce la oxidación, es oxido de aluminio, muy característico por su excelente resistencia a los agentes químicos, alta dureza, baja conductividad eléctrica y estructura molecular porosa, esta ultima junto con las anteriores, es la que nos permite darle una excelente terminación, características que la hacen adecuada y valiosa a la hora de elegir un medio de protección para este metal.

Una capa de oxido también puede crecer en ciertos metales además del Aluminio, en metales como el Niobio, Tantalio, Titanio, Tungsteno, Zirconio. Siguiendo las características de lo que ocurre con el Aluminio. El espesor de esta capa y sus propiedades varían grandemente dependiendo del metal. Solamente con el Aluminio y tantalio (y recientemente el Niobio) existen capas de substancial importancia comercial y tecnológico como capacitores dieléctricos.

El Aluminio y aleaciones de Aluminio, único entre esos metales que además de la delgada barrera de óxido, en ciertos ácidos electrolíticos produce una densa capa de óxido, conteniendo una alta densidad de microscópicos poros.

Este revestimiento tiene diversas e importantes aplicaciones incluyendo el acabado para la arquitectura, la prevención de la corrosión de automotores y estructuras aeroespaciales, y

aislamiento eléctrico. En circunstancia esta capa porosa es a menudo el propósito del anodizado. El mismo principio mantiene para el crecimiento de las capas de óxido en otros metales.

En una celda de anodizado la pieza de aluminio es puesta como ánodo y es conectado al terminal positivo de una fuente de alimentación de corriente continua. El cátodo es conectado al terminal negativo de la fuente. El cátodo puede ser de planchas o barras de carbón, plomo, níquel, acero inoxidable, cualquier otro conductor eléctrico que sea inerte en el baño de anodizado. Cuando se cierre el circuito, los electrones son apartados desde el metal de terminal positivo permitiendo que los iones de la superficie del metal reaccionen con el agua para formar una capa de óxido en el metal. Los iones hidrogeno viajan por el baño hacia el cátodo donde forman hidrogeno gaseoso. Los baños electrolíticos son seleccionados tomando en cuenta que el óxido formado sea insoluble, o se disuelve mucho más lento que los depósitos. Entonces una adherente capa de oxido crece en la pieza de aluminio. La composición y mantenimiento del baño es de primordial importancia tanto como la capa barrera o los poros.

El óxido de aluminio es fuertemente soluble comúnmente en soluciones de: borato de amonio, fosfato, o composiciones tartrato.

El crecimiento de óxido y poros en electrolitos ácidos puede no solamente ser depositado, también puede ser disuelto.

El baño más ampliamente usado es el ácido sulfúrico diluido, típicamente alrededor de 1 molar ó 10 % en peso de concentración. Otros baños usados para aplicaciones particulares están hechos con ácido oxálico o ácido fosfórico

## 6.2 Capa de oxido

Los metales que pueden ser anodizados también reaccionan rápidamente con el oxígeno del aire. Así bajo ciertas condiciones ambientales la superficie es siempre cubierta con una delgada capa de óxido. Las características de esta película: estructura y composición depende de la exposición y medio ambiente. Pero el aluminio siempre tiene una capa de óxido de 2 – 3 nm de espesor (un nanómetro es una billonésima parte de un metro) seguido del metal.

La capa de óxido estabiliza la superficie contra las demás reacciones del medio ambiente y es un excelente aislador eléctrico. Cuando una pieza es cubierta con este óxido, es hecha en el ánodo de una celda electrolítica. Si una celda electrolítica contiene un borato como electrolito no fluye significativamente la corriente hasta que es incrementado el voltaje entre 1 y 2 voltios Este oxido sostiene un campo eléctrico (Voltaje /Espesor) debido a 1V/nm, un campo muy alto por cierto.

Es esta corriente eléctrica que oxida al agua para generar oxígeno. La generación no se ve. Esto ocurre porque los iones óxido se están moviendo en la dirección del electrolito al ánodo. En el cátodo la reacción es completada por la reducción de los iones hidrógeno a hidrógeno gaseoso.

La fig. 14 ilustra los diferentes componentes de una celda electrolítica.

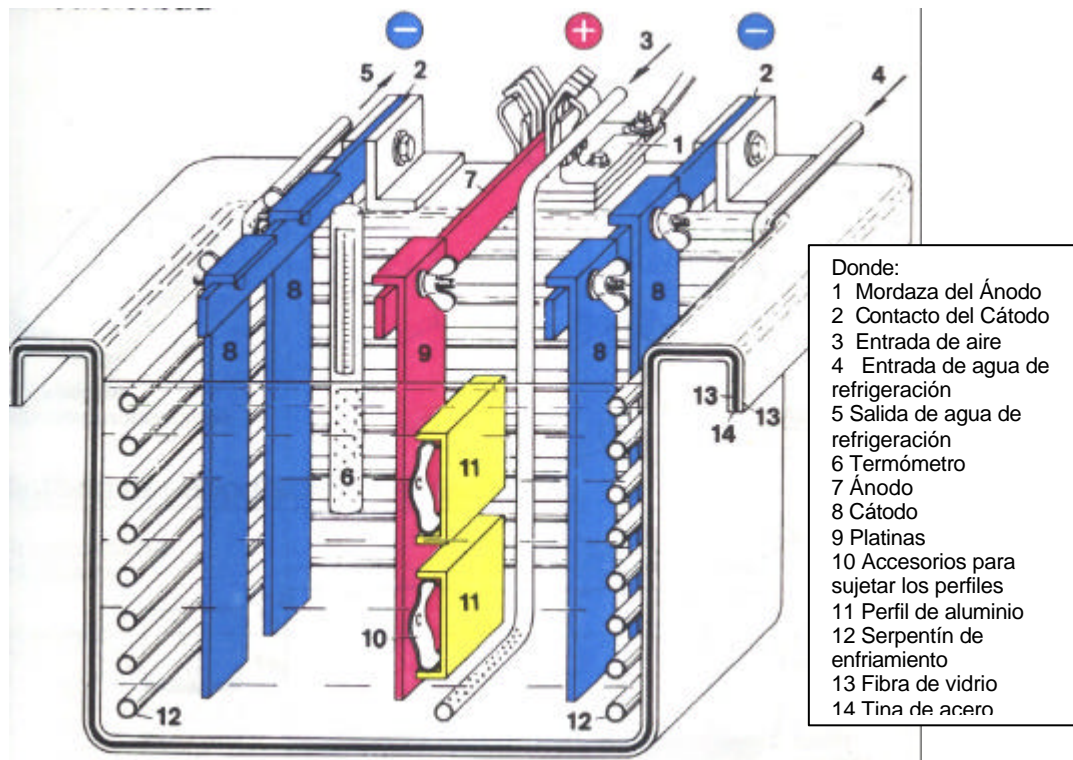
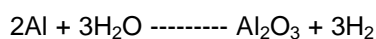


Fig. 14.- Celda electrolítica (Cortesía de Chemal Katschmareck GmbH)

### 6.3 Reacciones químicas durante este proceso.

La reacción total durante la anodización es:



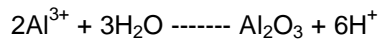
La reacción en el ánodo ocurre en la interfase metal/ oxido y oxido/electrolito

Los iones que hacen subir el oxido son móviles bajo condiciones de campos altos.

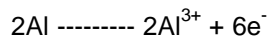
En la interfase metal/óxido los aniones Oxígeno se mueven hacia adentro para reaccionar con el metal



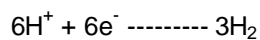
En la interfase oxido/electrolito los cationes aluminio se mueven hacia afuera para reaccionar con el agua.



En el caso de la disolución del aluminio en el electrolito durante la formación del poro en la película la reacción en el ánodo es:



La reacción en el cátodo es la formación del hidrógeno gaseoso



#### 6.4 Comportamiento de la Capa de Oxido

Factores como la temperatura, la concentración del electrolito, el material, el voltaje influyen en la formación de la capa anódica. Obteniendo para una relación espesor/voltaje a temperatura ambiente, el ratio espesor /voltaje es cerca de 1,2 nm/V, el espesor es muy uniforme a través de la superficie porque en cualquier lado la caída del voltaje debe ser lo mismo. Para cada composición del baño y temperatura hay un voltaje máximo que puede ser soportado para que la descomposición ocurra. A mayor dilución de la concentración del electrolito el voltaje de descomposición es alto y un átísimo voltaje es alcanzado en electrolitos acuosos cerca de 1000 V y la capa barrera es cerca de 1 micrón (millonésima de metro) de grosor de 300 a 500 veces más denso que el oxido nativo a temperatura del medio que lo rodea.

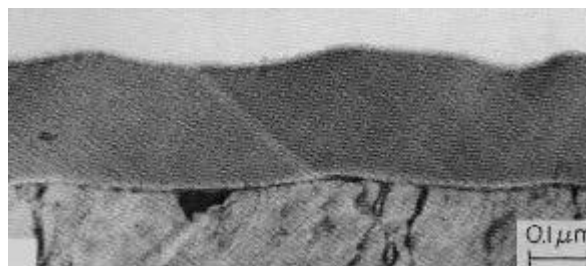


Fig. 15.- Capa amorfa formada naturalmente (cortesía de R.C. Furneaux, G.E. Thompson, and G.C. Wood, Corrosion Science, Vol. 18, p 853, 1978).

El oxido barrera depositado en aluminio limpio a temperatura ambiente tiene una estructura amorfa (no cristalina) aquella tiene su patrón de difracción de rayos x es una aureola difusa. la

Fig. 15, muestra una sección transversal de un crecimiento de óxido amorfo fijo a una densidad de corriente  $1,0 \text{ A/dm}^2$  en  $0,16 \text{ M}$  de tartrato de amonio a  $20^\circ\text{C}$  ( $68^\circ\text{F}$ ) a un voltaje de  $200\text{V}$ , el espesor del óxido es de  $220 \text{ nm}$  equivalente a  $1,1 \text{ nm/V}$  como es esperado para una estructura amorfa allí no se distingue rasgos estructurales.

La microfotografía en la Fig. 16 y la Fig.17. ha sido obtenida usando un microscopio de transmisión electrónica el cual puede mostrar muy bien detalles a muy alta resolución de

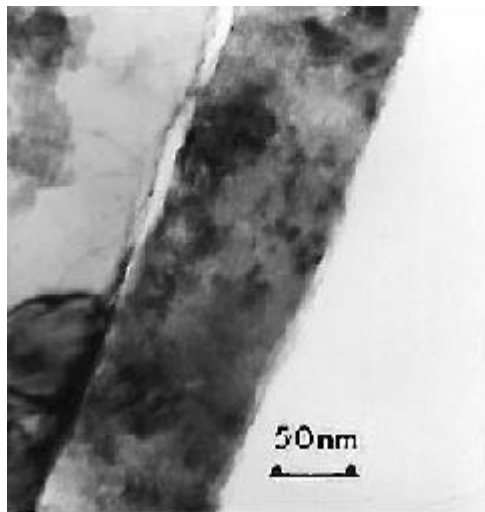


Fig. 16.- Capa anódica vista sección (cortesía de Alwitt and Takei)

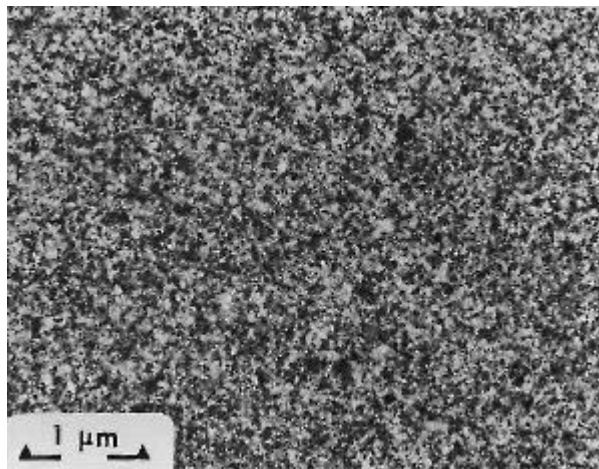


Fig. 17.- Capa anódica vista frontal (cortesía de Alwitt and Takei)

una capa anódica formada artificialmente, apreciamos una ordenada y sólida capa bien definida.

#### 6.5 Poros en la capa de óxidos anódicos

Los poros en oxido de aluminio crece en ácido sulfúrico diluido típicamente a 10 por ciento de concentración pero, también son comerciales, los procesos usando ácido fosfórico, ácido crómico, ácido oxálico y mezclas de ácidos inorgánicos y orgánicos. Un rasgo común de estos baños en anodizado es la habilidad a retener una alta concentración de aluminio en solución. Esto es esencial porque una gran fracción del aluminio que es oxidado no es retenida en la película, pero pasa a la solución. Por ejemplo, por anodizar en ácido sulfúrico, cerca de 60% del aluminio oxidado esta en la película y el remanente se encuentra en solución.

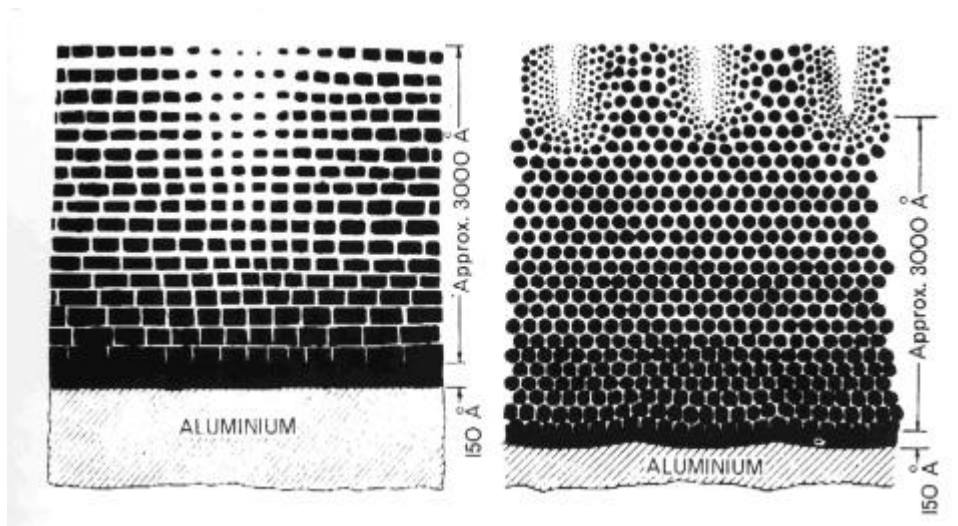


Fig.18.- Formación de los poros (cortesía Arthur W. Brace the technology of aluminium)

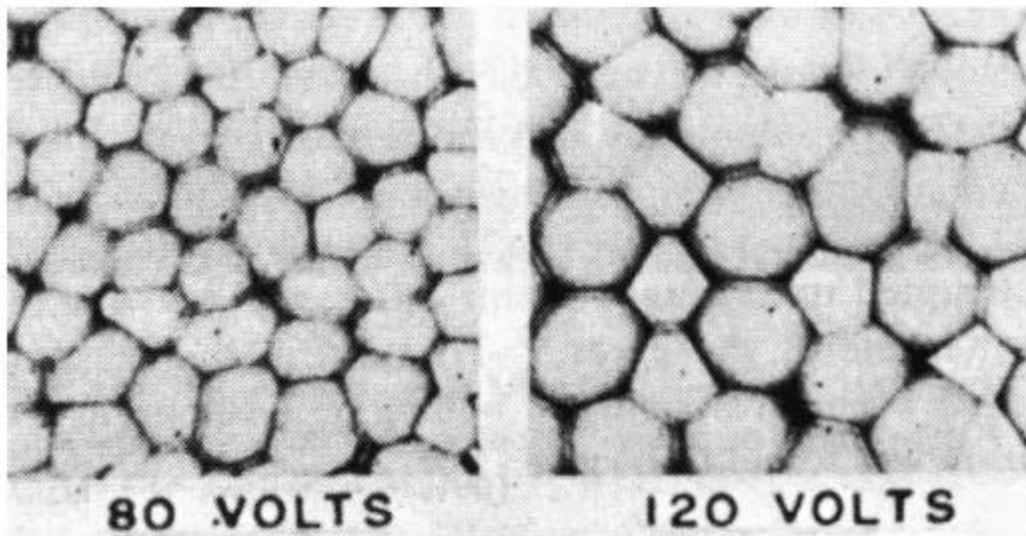


Fig. 19.- Vista de la capa anódica formada a diferentes voltajes (cortesía Arthur W. Brace the technology of aluminium)

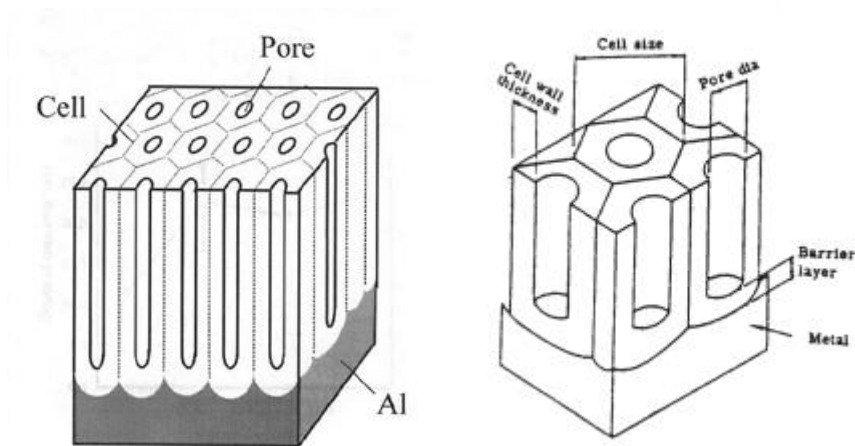


Fig.20.- Modelos de las celdas y poros en la capa anódica (cortesía Arthur W. Brace the technology of aluminium)

Un bosquejo idealizado de la estructura de la película se muestra en la Fig. 20 El oxido tiene una estructura celular con un poro central en cada celda. El bosquejo muestra celdas hexagonales uniformes, pero una anodización con malas condiciones produce películas con mayor desorden en la distribución de medidas de celdas y diámetros de poro e inclusive en la

capa barrera. Las dimensiones de las celdas y poros dependen de la composición del baño, temperatura y el voltaje, pero el resultado final es extremadamente una alta densidad de poros finos. El diámetro de la celda esta en el rango de 50 – 300 nm y el diámetro del poro es típicamente  $1/3$  a  $1/2$  del diámetro de la celda. La densidad de población de celdas es aproximadamente de 10 a más de 100 por  $\mu\text{m}^2$ , pero la proporción común es de 1000:1. Por ejemplo películas de espesores de 20 a 50  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m}$  = una millonésima parte un metro) con poros de 20 nm es típico para el crecimiento en ácido sulfúrico.

## 7. ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE AFECTAN EL ANODIZADO

### 7.1 Material del perfil a anodizar aleación AA 6063.

Composición química porcentaje en peso: 0,2% a 0,6% de Si; 0,35% Fe como max; 0,10% Cu max; 0,10% Mn max; 0,45% a 0,9% Mg; 0,10% Cr max; 0,10% Zn max; 0,10% Ti max, 0,05% max Otros; Remanente Al.

Manteniendo estos límites estrechos, los productores ofrecen las características de extrusión y un buen acabado superficial con una buena resistencia mecánica.

La aleación AA 6063 pertenece al sistema Al-Mg-Si-Fe. Magnesio y Silicio constituyen los mayores elementos aleantes.

Hierro esta presente como una impureza mayor controlada, mientras tanto todos los otros elementos son considerados como impurezas menores. El Magnesio y Silicio fácilmente combina en aluminio para formar el compuesto  $Mg_2Si$ .

El compuesto  $Mg_2Si$  contiene 63,4 % en peso de magnesio y 36,6% en peso de Silicio con una relación en peso de 1,71 a 1,0

Al momento de realizar la colada es muy importante mencionar que la temperatura influye en el tamaño de los granos, un enfriamiento lento al momento de solidificar produce granos grandes. Un enfriamiento rápido atrapa al magnesio y el silicio en solución produciendo una solución sólida supersaturada. Seguido de un tratamiento térmico llamado Homogenización. El calentamiento de los lingotes a la temperatura de homogenización causa cambios estructurales al material empezando la precipitación del  $Mg_2Si$  a los 135° C el homogenizado por seis horas a 566° C es lo mas común obteniendo una homogenización efectiva, reduce la micro-segregación.

La difusión de los elementos ocurre mucho más rápidamente a alta temperatura de homogenización que a baja temperatura. El Magnesio y el Silicio se difunden más rápidamente que el hierro.

Una vez extruido a las piezas se le da un tratamiento de envejecimiento artificial a 175 °C que promueve la separación de partículas de medidas sub-microscópicas desde la matriz para producir precipitación y el efecto de endurecimiento del material.

Influencia de los aleantes en el acabado. Al color propio del aluminio anodizado oxidado y aleaciones de aluminio es diferente según la pureza respectivamente su aleación.

Partes de magnesio más del 5% dan como resultado una sombra en la capa.

Manganeso a partir de 0,1 % dan un ligero color amarillo en la capa si las cantidades son mayores las cantidades se obscurecerán.

Silicio puede dar una capa de oxido un color ligeramente gris dependiendo en la forma que se encuentre en la aleación, si es en la solución hasta 1% en forma dura entonces la capa de oxido casi no tiene neblina.

En cantidades de más de 1% y si las soluciones no son duras dan una neblina gris.

El tipo de aleación con 3 – 6% de silicio es conocido como aleación de tono gris.

Cobre en cantidades aproximadas al 0.2% no tiene influencia significativa respecto al color, transparencia y dureza de la capa de oxido, en cantidades como es usual en las aleaciones (grupo Al, Cu, Mg) se obtiene sin embargo un apariencia no uniforme como manchas grises y marrones. Además aleaciones de cobre refuerzan la formación de corrosión pittings galvánico durante los procesos de Anodización.

Zinc como aleación no tiene influencia en la capa. Cantidades a partir del 2% , en caso de no ser combinado con otros elementos tienen muy pocas neblinas y casi ninguna diferencia de color.

## 7.2 Parámetros del proceso de anodizado.

Uno de los sueños de los anodizadores es producir una capa anódica en el menor tiempo posible (obviamente garantizando la calidad). Las autoridades de control de calidad para el anodizado QUALANOD (Norma Española para Anodizado). Tiene establecido los siguientes parámetros:

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -----	menor que	200 g/l
Al disuelto -----	menor que	20 g/l
Temperatura -----	inferior a	20 °C
Densidad de corriente -----	entre	1,4 y 1,8 A/ dm <sup>2</sup>

Estos rangos definidos, ó parámetros establecidos permiten identificar y asegurar la calidad del Aluminio Anodizado.

En la práctica muchas veces se tiene que trabajar fuera de aquellos parámetros, obteniendo resultados aceptables, cuando los efectos contrarios (tiempo de tratamiento, temperatura de anodizado, densidad de corriente y la intensidad del coloreado del material) son balanceados en relación el uno al otro.

## 7.3 Efectos de los parámetros de anodizado sobre las propiedades de la capa anódica.

Los siguientes parámetros son los más importantes que influyen en la capa:

- Concentración del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el electrolito
- Temperatura del electrolito
- Voltaje aplicado y/o densidad de corriente, resultado de los parámetros previos
- Eficiencia de la agitación y enfriamiento del electrolito

Estos parámetros contribuyen también en la determinación de otro factor importante que es el costo de energía.

La corriente eléctrica es costeada por Kw-h y su precio es muchas veces establecido por los valores de la potencia máxima y el tiempo de uso:

$$E \times I \times t = P$$

Donde:

E = Potencial (Voltios)

I = Intensidad de corriente (Amperios)

t = Tiempo (horas)

P = Potencia (Watts- hora)

Una densidad de corriente alta ó un alto rango de voltaje significan un alto costo de energía.

Para mantener la misma densidad de corriente, un rango de voltaje bajo requerimos una alta concentración de ácido, una alta temperatura o un tiempo largo de proceso para obtener el mismo espesor de óxido.

Largos tiempos de inmersión y/o temperaturas altas actualmente producen capas blandas.

#### 7.3.1 Concentración del ácido sulfúrico.

A pesar del hecho que la conductividad máxima es obtenida con 350 g/l de ácido sulfúrico, la concentración del ácido esta usualmente mantenida entre 150 y 250 g/l dado que los altos valores tienden a dar capas blandas.

La densidad de la capa anódica decrece y por lo tanto el peso y espesor también, según se aumenta la concentración de ácido.

#### 7.3.2 Efecto de la temperatura del electrolito.

Describimos el efecto de la temperatura brevemente de la siguiente manera:

A temperatura alta obtenemos

- Capas de menor densidad aparente ( peso específico), blando pero más brillante,
- Grandes dificultades para sellar los poros, porque la capa externa tiende a ser blanda y a desmoronarse,
- Más fácilmente capas coloreadas, pero grandes dificultades en reproducir el color si el método por absorción del tinte es usado y un coloreado rápido (de una forma más adecuada) si es usado el método electrolítico con sales de estaño, níquel y cobalto.

Mientras que a temperaturas bajas.

- Se produce capas duras con mejor resistencia a la abrasión, aunque se requiere alto voltaje para alcanzar la misma densidad de corriente.

#### 7.3.3 El efecto del Voltaje

El voltaje aplicado influye en la porosidad de la capa, dado que con un menor voltaje se obtiene pequeños pero numerosos poros y.

Voltajes altos dan pocos pero grandes poros por área de superficie

#### 7.3.4 Efecto de la densidad de corriente

Si la densidad de la corriente permanece constante, el espesor de la capa producida es directamente proporcional al tiempo.

La densidad de corriente es mantenida por un incremento progresivo en el voltaje, capaz de compensar el incremento de la resistencia causada por un incremento en la capa.

Los efectos de la densidad de corriente son:

A menor densidad de corriente ( $1,0A/dm^2$ ) da excelente brillo pero una menor velocidad de anodizado.

Una alta densidad de corriente:

- ?? Conduce a una formación rápida de capa, pero con gran riesgo de tener capa blanda y quemada.
- ?? Produce gran cantidad de calor a la interfase capa – electrolito y por lo tanto requiere un adecuado sistema de agitación y mezclado para el electrolito.
- ?? Mejora la resistencia a la abrasión con una adecuada agitación y enfriamiento.

#### 7.3.5 Agitación

La agitación es llevada a cabo principalmente para eliminar el calor producido sobre la superficie de la capa durante el proceso electroquímico.

Experiencias prácticas muestran que el mejor resultado es obtenido por choques de aire a través de una difusión especial que produce burbujas de diámetro muy pequeño (mejor sí es menor que 2 mm), Una simple agitación no es suficiente para mantener la solución a la temperatura correcta. Por lo tanto también es necesario instalar un sistema de enfriamiento con cambio de calor. La potencia de la cual de acuerdo a las indicaciones de Qualanod, debe ser:

$$I \times (E+3) \times 0,86 = \text{Kcal.} - \text{hr.}$$

Donde:

I = Intensidad de corriente (Amperios)

E= Potencial (Voltios)

0,86= factor de conversión

#### 7.4 Algunos conceptos físicos

La base electroquímica para la producción del óxido anódico es la ley de Faraday, según la cual la cantidad de metal depositado sobre el cátodo o disuelto por el ánodo soluble es proporcional a la carga eléctrica pasada i.e. 1 equiv –gr de Al metálico es convertido en 1equiv –gr de óxido de aluminio por 96 501 coulombs de electricidad ( 1Faraday) permitido para pasar a través del electrolito.

Recordando que la unidad de carga eléctrica es el coulomb correspondiendo a 1 A (medida de la intensidad de corriente) por 1 seg.

Por lo tanto es evidente que con una densidad de corriente constante, el espesor de la capa de óxido es proporcional al tiempo de anodizado y que el espesor del óxido depende del número de carga eléctrica pasada (coulomb) el cual es expresado como

$$(A/dm^2) \times \text{tiempo}$$

En resumen.

- ?? El espesor de la capa es proporcional a lo coulombs pasados. i.e a la densidad de corriente por tiempo.
- ?? El espesor de la capa no depende del voltaje.
- ?? En condiciones industriales, 4700 coulombs /dm<sup>2</sup> son necesarios para producir 25 μm en aleaciones AA1000, AA1100, AA5005, AA 5052 y AA 6063. Aproximadamente 5500 coulombs/dm<sup>2</sup> para aleaciones como AA 6061, AA 6082 y sobre 6300 Coulombs/dm<sup>2</sup> para aleaciones de alta densidad de cobre.
- ?? El número de coulombs es altamente influenciado por la condición del electrolito particularmente la temperatura la concentración del ácido y los parámetros que puedan influenciar la velocidad con la cual la capa de óxido es disuelta.

## 8. DETERMINACIÓN DE LA CAPA ANODICA

Las capas anódicas de óxido se designan por su espesor expresado en micrones (µm). El espesor requerido para un recubrimiento es de primordial importancia y siempre debe ser especificado.

La elección del espesor para una aplicación determinada se realiza de mutuo acuerdo entre el cliente y el anodizador, teniendo en cuenta la agresividad del medio, condiciones y servicio del material.

Es de uso común lo siguiente:

- ☞ ☞ Uso interiores decorativo 5 µm
- ☞ ☞ Para uso interior 10 µm
- ☞ ☞ Exteriores con limpieza frecuente 15 µm
- ☞ ☞ Interiores con rozamiento 20 µm
- ☞ ☞ Industrial o ambientes marinos 25 µm

Si la densidad de corriente es mantenida constante el espesor de capa dependerá directamente del tiempo de anodizado. Muchas expresiones matemáticas se han planteado para relacionar el espesor vs el tiempo. La bibliografía Arthur W. Brace, The technology of anodizing aluminium, muestra una relación obtenida para determinar el espesor de la capa anódica basada en la experiencia.

$$T \text{ (min)} = \frac{\text{Espesor (}\mu\text{m)} \times 340}{\text{Densidad de corriente ( A/m}^2\text{)}}$$

Ejm.

Capa Requerida		
Espesor		14 µm
Densidad de Corriente	1,5 A/dm <sup>2</sup>	150 A/m <sup>2</sup>
Tiempo		31,73 minutos

Esta relación nos permite estimar el tiempo necesario para alcanzar un espesor determinado, teniendo las otras variables controladas.

## 9. TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

### 9.1 Capacidad de la planta.

Del análisis de los datos del comportamiento del mercado peruano realizado líneas atrás y con la proyección de cubrir el 70% de la demanda, la planta debe tener la capacidad de producir 1465 333.24 m<sup>2</sup> de perfiles anodizados anuales. Este valor se considera para determinar los diferentes componentes de la planta.

Para procesos que requieren una preparación previa de acondicionamiento para producir se recomienda el trabajo continuo, en este caso la preparación previa de los baños es el calentamiento de los mismos hasta la temperatura de proceso de cada uno. Por eso se estima trabajar 16 horas diarias, 20 días al mes y 240 días al año.

Ante la globalización y la apertura del mercado con la presencia de importadores de productos terminados, trajo como consecuencia la caída de los precios de los perfiles a costa de bajar los espesores y la calidad de los acabados industriales.

Con el fin de ser competitivos en el mercado se propuso modernizar nuestra planta para optimizar el consumo de energía eléctrica, calorífica, insumos químicos y mano de obra. Sin perder la visión de ser los líderes en el mercado. Además de satisfacer las normas respecto a los sistemas de calidad, medio ambiente y salud ocupacional. Ofreciendo al personal un lugar seguro para el desarrollo de sus actividades.

El proyecto tiene como eje principal lo siguiente:

- ?? Agrupar cuatro tinas de anodizado en una sola planta dejando espacio para futuras tinas de proceso.
- ?? Dos tinas para electro color
- ?? Las tinas de proceso deben satisfacer el requerimiento de los clientes externos que solicitan perfiles anodizados con longitudes mayores a seis metros ejemplo 6,40 m
- ?? Las tinas serán de 8 metros útiles de longitud una profundidad de 2,5 m
- ?? Ventilación natural y extractores localizados. Reduciendo el número de personal que está expuesto a los vapores de los baños al mínimo.
- ?? La orientación de la planta será de Sur a Norte
- ?? Ubicando los servicios de planta en una zona cercana: Caldero, Compresora, Equipo de tratamiento de agua. Sistema de refrigeración, zona de insumos químicos y tratamiento de aguas residuales.
- ?? Puente grúa para las nuevas dimensiones
- ?? Zona para amarre y descarga independiente.

## 9.2 Localización de la planta

Factores que inciden en la ubicación de la planta

### 9.2.1 Materias primas

Nuestra materia prima son los perfiles de aluminio extruídos, nuestro objetivo es anodizar nuestra producción de perfiles.

Lo ideal es que los perfiles que salen de extrusión sean lo más rápidamente cubiertos con la capa protectora que se obtiene por el anodizado

### 9.2.2 Insumos

Para el proceso de anodizado utilizamos se distintos proveedores extranjeros y nacionales insumos de probada calidad. Siendo los siguientes:

Los insumos Importados tienen un programa estricto de abastecimiento considerando los tiempos de viaje y liberación aduanera de los productos.

Estos tienen nombres comerciales.

- ?? Desengrase
- ?? Decapante
- ?? Aditivo para el decapado
- ?? Humectante no iónico
- ?? Sal de color
- ?? Estabilizador de color
- ?? Aditivo de sellado

Los insumos Nacionales utilizados de uso industrial y son:

- ?? Acido Sulfúrico Ind
- ?? Acido Nítrico Ind
- ?? Acido Acético Ind
- ?? Hipoclorito de sodio 10% Ind
- ?? Amoniaco líquido 26°Be Ind
- ?? Sosa cáustica Liquida 50% Ind

Tanto los insumos Importados como los Nacionales deben cumplir nuestras especificaciones técnicas de calidad y seguridad.

### 9.2.3 Mano de obra

Debido a la ubicación de la planta es de fácil acceso al personal que labora en ella.

### 9.2.4 Mercado

La ruta que sigue nuestro producto es propicia para llegar a nuestros clientes sin mayores contratiempos

### 9.2.5 Transporte

Como se había mencionado antes la principal vía de comunicación es la carretera central y esto hace que el transporte tanto como de nuestro personal y nuestros productos sean dinámicos.

### 9.2.6 Agua

Al contar con un pozo de agua hace que asegure el abastecimiento de este principal insumo para el proceso

### 9.2.7 Electricidad

Somos considerados como clientes de gran consumo por eso se puede negociar las cantidades asignadas con la compañía suministradora.

### 9.2.8 Terreno

La planta esta ubicada en la carretera central Km 8,5 con un área de 35,000 m<sup>2</sup>

Lugar estratégico por sus vías de comunicación y disponibilidad de recursos.

### 9.2.9 Clima

Teniendo en cuenta que Lima es una ciudad que tiene una Humedad relativa de más de del 80%

Hace que los perfiles no logren secarse por si mismos al salir del sellado.

### 9.2.10 Restricciones legales

El país tiene una política de control de insumos que son derivados a la elaboración de drogas. Estos insumos son de uso masivo, en nuestro caso el ácido Sulfúrico y el amoniaco ind, requiere un seguimiento minucioso.

También existe una norma legal sobre los residuos sólidos que hay que tener presente por que al infringir estas normas podrían hasta cerrar la planta.

#### 9.2.10 Tratamiento de aguas residuales

Las disposiciones ambientales y lo reglamentaciones velan por una producción segura y que no dañe al medio ambiente.

Por lo que la planta contará con una planta de tratamiento de aguas residuales.

## 10. TECNOLOGIA GENERAL

### 10.1 Pre-tratamiento de la superficie.

Como el carácter metálico y la apariencia de la superficie del aluminio no será cambiado por la oxidación anódica, mucho depende del tratamiento previo de la superficie. Lijando se eliminan irregularidades en la superficie como rayaduras manchas por ejemplo.

Efectos especiales de la superficie se pueden tener por un tratamiento mecánico o químico en esto se puede mencionar: Gratado, Pulido mecánico, Pulido químico, Abrillantado químico, etc. Teniendo como referencia la norma DIN 17611 para el tratamiento de la superficie se detalla las diferentes denominaciones respecto al tratamiento recibido.

#### 10.1.1 E0.- Sin pre- tratamiento anodizado y sellado.

La oxidación anódica se efectúa después del desengrase y decapado (eliminación de la capa de óxido existente). La calidad de la superficie que existe en la fabricación se mantiene.

#### 10.1.2 E1.- Lijado, anodizado y sellado.

Por el lijado se obtiene una superficie relativamente uniforme y algo opaco. Eventuales fallas en la superficie se pueden eliminar.

#### 10.1.3 E2.- Escobillado, anodizado y sellado.

Por escobillado se obtiene una superficie uniforme y claro (contrario al E1) las rayas se pueden ver.

Este tratamiento permite la disminución de los insumos en anodizado en lo que respecta a la preparación de superficie por esto consideramos una Gratadora a la vez que nos permite ofrecer una nueva textura del perfil anodizado.

#### 10.1.4 E3.- Pulido, anodizado y sellado.

Por el pulido se obtiene una superficie brillante. Las fallas de la superficie se eliminan por partes y otras se pueden ver más claras.

#### 10.1.5 E4.- Lijado, escobillado, anodizado y sellado.

Por el lijado y escobillado se obtiene una superficie uniforme y clara

#### 10.1.6 E5.- Lijado, pulido, anodizado y sellado.

Por el lijado y pulido se obtiene una superficie brillante. Fallas superficiales son eliminados parcialmente.

#### 10.1.7 E6.- Tratamiento químico previo, anodizado y sellado.

Después del desengrase se obtiene una superficie satinada o mate por el tratamiento en soluciones especiales de decapado. Pequeñas raspaduras, rayaduras, que se obtienen en la fabricación no pueden ser eliminadas completamente. Corrosión que antes del decapado no se han visto o difícilmente se han visto podrán verse por este tratamiento.

Irregularidades en la composición como por ejemplo granos gruesos así como uniones o soldaduras pueden ser vistas por este tratamiento.

El tratamiento descrito según E0 – E6 se refiere aluminio y aleaciones de aluminio de calidad anodizado. Con materiales en calidad normal, fuera de esta norma se pueden hacer también pre-tratamientos para mejorar la superficie y aumentar la resistencia a la corrosión.

Perfiles así tratados no tienen la misma calidad respecto a la apariencia decorativa después de la oxidación anódica.

#### 10.2 Herramental (Electrodos, platinas, ganchos, accesorios, alambre)

Después del pre-tratamiento mecánico y antes del pre-tratamiento químico así como para las siguientes etapas: Desengrase, Decapado, Soda. Neutralizado, Anodizado, Coloreado y Sellado y Secado. Los perfiles a trabajar tienen que ser fijados a las platinas formando cargas que posteriormente pasan por todo el proceso de anodizado.

Por ser un proceso electroquímico aquí es muy importante las uniones para que aseguren una buena conducción de la corriente hacia los perfiles.

Los materiales para el herramental deben tener las siguientes características:

- ?? Buena dureza mecánica
- ?? Buen conductor de corriente eléctrica
- ?? Las piezas deben fijarse muy bien
- ?? Una fácil colocación y retiro de las piezas deben ser factibles sin dañar las piezas.

Para nuestro proceso los herramientas son de aluminio obteniendo muy buenos resultados . Una vez preparada las cargas inician el proceso.

Para los insumos químicos importados se considera los precios nacionalizados. En los siguientes puntos se describe cada uno de los procesos y los parámetros respectivos se dan más adelante en la Tabla 11.- Parámetros del proceso.

### 10.3 Desengrase

Este proceso consiste en retirar todos los residuos de grasa y aceites que pudiera haber recibido el perfil durante el trayecto desde la extrusión hasta la planta de anodizado. En los diferentes procesos mecánicos tales como estirado, corte, envejecido, huella de los operarios al transportar o fijar a las platinas etc.

Generalmente se realiza con una solución detergente ligeramente alcalina para mejorar su acción sobre las suciedades, la solución debe humedecer todas las partes del material

PH del desengrase debe estar entre 9 a 11 la temperatura entre 50 a 80°C

### 10.4 Decapado

Después de haber enjuagado las piezas generalmente se hace el decapado con soluciones de variadas formulaciones que van desde los decapados ácidos hasta los decapados alcalinos. Inclusive los decapados denominados largo tiempo.

Los decapantes son mezclas de hidróxido de sodio, carbonatos y aditivos. Los aditivos sirven para que las superficies del metal sea humedecido uniformemente y obtener un superficie uniforme. La soda cáustica disuelve el aluminio liberando hidrógeno y formando aluminato de sodio. El Aluminio aumenta constantemente, si el aluminato de sodio no puede ser mantenido en la solución entonces se forman las llamadas piedras (Hidratos de oxido de aluminio). Este hidrato de Aluminio se forma en el piso, las paredes y en los tubos de calentamiento, esta capa es bien dura y se retira con mucha dificultad.

Por eso buenos aditivos de decapado no permiten la formación de "piedras". Este baño debe ser controlado analíticamente para mantener uniformidad en el proceso.

### 10.5 Soda

Esta es una solución de soda cáustica de mayor concentración cuya función es dar un ataque profundo a los perfiles con el objetivo de desprender los elementos que no reaccionaron en el decapado, este ataque es de muy poco tiempo.

### 10.6 Neutralizado

Después de los procesos de decapado y soda los perfiles se cubren de una capa negra y esta se retira en el baño de neutralizado compuesta por una solución diluida de ácido nítrico por una simple inmersión a temperatura ambiente.

Posterior a este proceso son muy importantes los enjuagues

## 10.7 Anodizado

El anodizado se puede hacer en diferentes composiciones usando corriente continua o alterna. Dependiendo de las facilidades de poner en práctica se escoge un método. El método más usado es método de ácido Sulfúrico del 15 al 20%, con corriente continua. Teniendo tensiones entre 12 a 20 voltios, obteniendo una densidad de corriente de 1 a 2 A/dm<sup>2</sup>. La temperatura del baño debe estar entre 18 y 22 °C.

Si las piezas se sumergen en el baño de electrolito y funcionan como ánodos entonces después de poner corriente hay la siguiente reacción:

En el primer segundo después de conectar la corriente se forma una capa base delgadita, libre de poros dieléctricos la cual se llama capa barrera. Esta capa crece proporcionalmente respecto a la tensión hasta alcanzar un grosor de 0.02 μm. Esta capa barrera tiene un resistencia eléctrica sumamente alta. En las tensiones usuales del anodizado de entre 12 a 20 voltios debería a tensión constante, bajar rápidamente la densidad de corriente y debería parar el crecimiento de la capa, esto sin embargo no es el caso. El óxido de la capa barrera es pre-disuelta químicamente por el electrolito. Por la tensión de corriente continua viajan aniones que contienen Oxígeno (con carga eléctrica negativa) a las piezas que funcionan como ánodo y depositan ahí el Oxígeno. Por eso se transforma la capa barrera en una capa de poros finos en forma de alvéolos que por mm<sup>2</sup> contiene aproximadamente entre 600 millones a 1000 millones de poros. Importante es que los aniones con oxígeno pasen por los poros hasta el frente donde crece la capa barrera. Como se forma un estado de equilibrio entre la formación de la capa barrera y la transformación de la capa barrera, puede crecer más la capa de revestimiento de poros finos pero al mismo tiempo hay una disolución química por el electrolito. El grosor de la capa barrera por eso se queda lo mismo. Con el Oxido de Aluminio ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) comparado con el Aluminio transformado contiene una parte más alta en volumen, crece la capa de óxido, referente a la superficie original del aluminio aproximadamente 1/3 hacia fuera del metal y 2/3 hacia adentro del metal.

La capa de óxido consiste en óxido de aluminio y contiene de acuerdo a la composición del electrolito hasta importantes partes de sulfato (10 a 15 %), etc. El peso específico promedio es de 3.1, la dureza de la capa de óxido depende de la composición del material base y de las condiciones de oxidación. Se obtienen micro dureza de entre 250 a 300 Dureza Vickers (HV) . La dureza aumenta en dirección al metal base. En el anodizado duro este efecto no existe. Aquí se obtiene dureza de hasta aproximadamente 550 HV piezas de anodizado duro muy difícilmente pueden ser coloreadas o no se pueden colorear.

## 10.8 Coloreado

Nos referiremos al coloreado electrolítico que es de mucha importancia para nuestros productos por su gran resistencia al medio ambiente, y la luz solar.

El electrolito de estos baños contienen metales pesados como Níquel, Cobalto, Cobre o Estaño. Piezas coloreadas en estos baños tienen muy buena resistencia a la luz y mayor resistencia a la corrosión lo que es muy importante para la industria de la construcción. Como por ejemplo perfiles de ventanas y paneles de pared.

Las piezas a colorear deben ser enjuagadas intensamente después del anodizado y se colocan en el baño de color

Luego de una secuencia programada que es controlada por el equipo se estabiliza en 0.2 A/dm<sup>2</sup> se colocan pequeñas partículas de metal en el fondo de los poros.

La intensidad del color depende proporcionalmente de la cantidad de metal absorbida y del tiempo.

Un baño de color contiene:

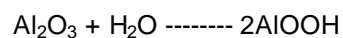
?? Estaño II	18 g/L
?? Acido Sulfúrico	18 g/L
?? Estabilizador de color	18 g/L

Siendo el estabilizador un aditivo que reduce la oxidación del Sn II a Sn IV

#### 10.9 Sellado

Después de un buen enjuague los perfiles entran al baño de sellado, que consiste en agua tratada por Osmosis inversa caliente. En esta etapa final se cierra la capa de óxido todavía abierta y porosa. La resistencia a la corrosión óptima así como la resistencia a la luz del coloreado se obtiene recién después de un buen sellado. El sellado se hace normalmente a temperatura de 96°C y en un tiempo de 3min /?m

Durante el proceso de sellado la capa de óxido de Aluminio es hidratada el óxido será transformado en bohemita mediante la siguiente reacción:



Como esta transformación esta combinada con un engrandecimiento del volumen llegando al deseado cerrado de los poros. El poder de absorción de la capa de óxido a colorantes es anulado, la reacción no solo pasa en los poros sino también en la superficie de la capa.

#### 10.10 Secado

Consiste en retirar el agua remanente de los perfiles con aire caliente, proporcionado por un quemador a gas, la temperatura de trabajo es aprox. a 50°C.

## 11. CONTROL DE CALIDAD DE LOS PERFILES ANODIZADOS

### 11.1 Medición del grosor de la capa anódica

El grosor de la capa anódica se mide rápida y fácilmente con instrumentos que trabajan con corriente parásita según la norma DIN 50984 ó su equivalente ASTM B244.

Este método esta basado en las corrientes Foucault, un oscilador envía una señal a una sonda, en cuyo interior se aloja una bobina en sintonía con el oscilador. Cuando la sonda en lugar de apoyarse sobre el metal desnudo, se apoya sobre un recubrimiento, se produce una señal que se interpreta en el instrumento de medida y es proporcional al espesor del recubrimiento medimos la capa anódica con el Medidor de capa anódica digital portátil ISOSCOPE MP10 (Fischer). Siguiendo método recomendado por la firma que suministrada el equipo. Es preciso disponer de patrones para el ajuste del cero, y el calibrado del aparato. Para el ajuste del cero se usa una pieza de la serie que sé esta midiendo. Sin haber sido sometida a la anodización. Como patrones de calibración se usan diversas laminas aislantes, normalmente de material plástico debidamente calibrados. La lectura es directa y en las unidades  $\mu\text{m}$  (micrones).

### 11.2 Medición de la calidad de sellado

La calidad de sellado se especifica por la medida de conductancia aparente según DIN 50949 ó ISO 2931-1988 Un recubrimiento anódico sobre aluminio puede representarse por un esquema eléctrico compuesto por un cierto número de resistencias Ohmicas y capacitivas, montados en serie y/o en paralelo por un circuito de corriente alterna.

El valor numérico de estas resistencias depende de las variables siguientes: Metal base (por ejemplo: composición, tamaño y distribución de compuestos ínter metálicos y estado superficial). Procedimiento de sellado (por ejemplo: vapor, agua caliente, sales de níquel o de cobalto impregnación en frío etc.). Espesor y densidad del recubrimiento anódico de oxido dependiendo del electrolito, etc. Procedimientos de coloración o pigmentación utilizados para colorear el recubrimiento anódico de oxido. Tiempo y condiciones de almacenamiento entre el sellado y su evaluación.

El equipo utilizado es el Anotest YD (fischer) que permite medir la admitancia en un intervalo de  $3 \mu\text{s}$  a  $300 \mu\text{s}$  con precisión suficiente. Este dispositivo mide con una frecuencia de  $1 \text{ Kz} \pm 10 \text{ Hz}$  y estar provisto de dos electrodos uno es un tornillo que asegura el contacto eléctrico con el metal base de la probeta y el otro es una sonda apropiada. Es una prueba es no destructiva y rápida.

Para la medición se sigue el método recomendado por la firma que suministra el equipo obteniendo una lectura directa en  $\mu\text{S}$ .( microsiemens).

## 12. METODOS DE ANALISIS DE LAS SOLUCIONES DE ANODIZADO

### 12.1 Determinación del desengrase

#### 12.1.1 Alcance

Este método cumple ampliamente el rango de concentraciones para soluciones de desengrase alcalinas.

#### 12.1.2 Resumen

Consiste en una neutralización con ácido nítrico 1N usando como indicador anaranjado de metilo, determinando la alcalinidad total.

#### 12.1.3 Interferencias

Los elementos presentes en la solución no interfieren

#### 12.1.4 Reactivos

##### 12.1.4.1 Acido Nítrico 1N

##### 12.1.4.2 Anaranjado de Metilo como indicador

##### 12.1.4.3 Procedimiento

Tomar una alícuota de la muestra de 25 mL y pasarlo a un frasco erlemeyer de 250 mL. Adicionar agua destilada 50 mL y como indicador Anaranjado de metilo. Agitar y titular con ácido nítrico (1N), hasta el cambio de color amarillo a rojo, considerar el volumen gastado como A.

##### 12.1.5 Cálculos

Calcular como sigue:

$$\text{Desengrase (g/L)} = 3,81 \times A$$

Donde:

A = Volumen de Acido Nítrico gastado en la titulación mL

Valor nominal de Desengrase en el baño.

30 - 50 g/L

### 12.2 Determinación del Decapante y Aluminio disuelto.

#### 12.2.1 Alcance

Este método cubre ampliamente los rangos para las soluciones de decapado alcalino.

## 12.2.2 Resumen

El método consiste en una serie de titulaciones con ácido sulfúrico. En la marcha sistemática que para este proceso se ha propuesto. Primero se mide la alcalinidad total, finalmente la cantidad de aluminio.

## 12.2.3 Interferencias

Los elementos presente no interfieren en el método.

## 12.2.4 Recomendación

Se debe tener mucho cuidado al identificar el punto final de las titulaciones.

## 12.2.5 Reactivos

### 12.2.5.1 Acido Sulfúrico 1,0 N

### 12.2.5.2 Solución Indicador Fenoltaleína

### 12.2.5.3 Solución Fluoruro de potasio al 50 %

### 12.2.5.4 Procedimiento.

#### Decapante

12.2.5.4.1 Tomar una alícuota de 10 mL de la muestra y pasarlo a un frasco erlemeyer de 250 mL que contenga 100 mL de agua destilada. Agregar 2 gotas de fenoltaleína y titular con ácido Sulfúrico 1.0 N considerar el volumen gastado como (A)

12.2.5.4.2 Adicionar 50 mL de solución de fluoruro de potasio 50% y titular con ácido sulfúrico hasta la decoloración considerar el volumen gastado como (B)

Cálculos para determinar el Decapante:

$$\text{Decapante (g/L)} = 3,55(3A-B)$$

Valor nominal de Decapante en el baño

$$50 - 80 \text{ g/L}$$

Cálculos determinar el Aluminio disuelto

$$\text{Aluminio g/l} = 1,24x B$$

Valor máximo permitido en el baño 40 g/L

## 12.3 Determinación de la concentración de Ácido Sulfúrico y Aluminio en los baños de anodizado

### 12.3.1 Alcance

Este método cubre los rangos en que las soluciones trabajan

### 12.3.2 Resumen

Este método consiste en tomar una alícuota de la muestra y titular con una solución de Hidróxido de sodio de concentración conocida. Usando como indicador Anaranjado de Metilo.

### 12.3.3 Interferencias

Los elementos presentes en la solución no interfieren.

### 12.3.4 Reactivos

#### 12.3.4.1 Solución de Hidróxido de Sodio 1,02N

Se prepara una solución cualquiera de soda (mayor que 1,02N). Luego se calcula su verdadera

Normalidad con 2,0 g. de Biftalato ácido de potasio en un frasco erlemeyer de 250 mL diluido en agua a 50 mL. Se titula con la soda previamente preparada agregando 2 gotas de solución indicador fenoltaleína, la variación de color desde incolora a rosa permanente indica el punto exacto de neutralización.

Cálculo de la Normalidad

$$N_{\text{NaOH}} = \frac{W_{\text{Biftalat}}}{0.2042 \text{ mL}_{\text{titulación}}}$$

Con la concentración exacta de la soda preparada anteriormente, se prepara la solución 1,02N, diluyendo con agua destilada.

#### 12.3.4.2 Indicador Anaranjado de metilo

### 12.3.5 Procedimiento

Tomar exactamente 5 mL de la muestra en un frasco erlemeyer de 250 mL. Añadir 30 mL de agua y 2 gotas de indicador Anaranjado de metilo, titular con la solución 1,02N de soda hasta que vire de rojo a amarillo permanente, considerar el volumen gastado. Como A.

Agregar 5 gotas de fenoltaleina y titular nuevamente considerar el volumen como B

12.3.6 Cálculos:

$$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{ g/L}) = \text{A mL NaOH (1,02N) gastados en la titulación.}$$
$$\text{Aluminio (g/L)} = \text{Bx 1,8}$$

12.4 Determinación del Sulfato de Estaño en el electro color

12.4.1 Alcance

Este método cubre con amplitud el rango de concentración en el cual se trabaja.

12.4.2 Resumen

El método consiste en una titulación inversa de una solución de Yodo, con Tíosulfato de sodio.

12.4.3 Reactivos

12.4.3.1 Solución de Yodo 0,1N

12.4.3.2 Solución de Almidón 1g/l

12.4.3.3 Solución de Tíosulfato sodio 0,1N

12.4.3.4 Acido clorhídrico (1:1)

12.4.3.5 Mármol granulado

12.4.4 Procedimiento

Iniciar con 50 mL de ácido clorhídrico (1:1) En un erlemeyer de 250 mL, adicionar paso a paso mármol granulado hasta se desprenda una moderada cantidad de gas. Adicionar exactamente con la pipeta 20 mL de solución de Yodo 0,1N, luego adicionar 10 mL de la solución muestra y titular con solución de Tiosulfato de sodio 0,1 N, usando solución de Almidón como indicador, hasta la decoloración, considerar el volumen gastado como A.

Cálculos:

$$\text{SnSO}_4 \text{ (g/L)} = 1,08 (20 - A)$$

Valor nominal de Sulfato de Estaño en el baño:

$$15 - 18 \text{ g/l}$$

Para el estabilizador de color se recomienda una relación de 1:1 con respecto al Sulfato de

Estaño.

Ácido total en el electrocolor

Diluir 20 ml de la muestra del baño con 20 mL de agua destilada y mezclarlo bien.

Luego titular con hidróxido de Sodio 1,0 N hasta un valor de PH = 2,1

Cálculos:

$$\text{Contenido de ácido libre g/L} = 2,8x \text{ mL de NaOH consumido}$$

#### 12.5 Control del PH en el sellado

Tomar una muestra del baño de sellado y dejarlo enfriar luego con el PH-metro previamente calibrado leer el PH de la muestra.

El PH del sellado debe mantenerse en 5,5 – 6,0

Haciendo las correcciones respectivas con Amoniaco o ácido Acético.

#### 12.6 Determinación de Soda Cáustica

##### 12.6.1 Alcance

Establecer el método de ensayo para determinar la concentración de la soda, en la sección de Anodizado

##### 12.6.2 Resumen

El método consiste en una serie de titulaciones con Ácido Clorhídrico 1,0 N. Primero se mide la alcalinidad total, luego la cantidad de aluminio disuelto.

### 12.6.3 Reactivos

#### 12.6.3.1 Acido Clorhídrico 1,0 N

#### 12.6.3.2 Fenoltaleína

#### 12.6.3.3 Solución Fluoruro de Potasio al 50 %

### 12.6.4 Procedimiento

Tomar una alícuota de 2 mL de la muestra y pasarlo a un frasco erlenmeyer de 250 mL que contenga 100 mL de agua destilada. Agregar 5 gotas de fenoltaleína y titular con Ácido Clorhídrico 1.0 N Hasta su decoloración, considerar el volumen gastado como (A)

Adicionar 10 mL de solución de fluoruro de Potasio 50% y titular con Ácido Clorhídrico hasta la decoloración considerar el volumen gastado como (B)

Cálculos:

$$\text{- Contenido de Soda Cáustica (NaOH) g/L} = (20 \times A) - (6,6 \times B)$$

Valor nominal en el baño 50 g/L

$$\text{- Contenido de Aluminio (Al) g/L} = 5 \times B$$

Valor máximo en el baño 40 g/L

### 12.7 Determinación del neutralizado

#### 12.7.1 Alcance

Establecer el método de ensayo para determinar la concentración del Acido Nítrico, en el baño de neutralizado de la sección de Anodizado.

#### 12.7.2 Resumen

El método consiste en una neutralización con Hidróxido de Sodio 1,0 N.

#### 12.7.3 Reactivos

##### 12.7.3.1 Materiales de laboratorio

##### 12.7.3.2 Hidróxido de sodio 1,0 N

##### 12.7.3.3 Fenoltaleína

#### 12.7.3 Procedimiento

Tomar una alícuota de 5 mL de la muestra y pasarlo a un frasco erlenmeyer de 250 mL que contenga 30 mL de agua destilada. Agregar 5gotas de fenoltaleína y titular con Hidróxido de sodio 1,0 N. Considerar el volumen gastado como (A).

Cálculos:

$$\text{HNO}_3 \text{ (g/L )} = 12,6 \times A$$

Valor nominal en el baño: 50 - 70 g/L

### 13. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LOS INSUMOS

#### 13.1 Desengrase

13.1.1 Nombre del producto: DESENGRASE

13.1.2 Propiedades:

Aspecto físico:	Polvo blanco.
Alcalinidad:	Ligera.

13.1.3 Debe satisfacer el insumo:

- Desengrase activo sobre el Aluminio.
- Agentes limpiadores biodegradables.
- Ligeramente Alcalino para ataque suave del aluminio.
- Retirar la grasa de la superficie de los perfiles.

13.1.4 Embalaje:

- Tambores cilíndricos, envases resistentes al medio ambiente y manipuleo.
- Cada uno debe tener identificación clara.

#### 13.2 Decapante

13.2.1 Nombre del producto: DECAPANTE

13.2.2 Propiedades:

Aspecto físico: Polvo altamente alcalino que actúa sobre la superficie del aluminio.

13.2.3 Debe satisfacer el insumo:

- Dar un tono mate al perfil.
- Evitar la formación de incrustaciones en los baños alcalinos.
- No debe formar compuestos duros.
- Facilitar la limpieza de las tinas.
- Facilitar la limpieza de los perfiles tubulares.

### 13.3 Aditivo para el decapado

#### 13.3.1 Nombre del producto: ELIMINADOR DE PIEDRA

#### 13.3.2 Propiedades:

Aspecto físico: Líquido que se usa como aditivo en el Desengrase y Decapante.

#### 13.3.3 Debe satisfacer el insumo:

- Evitar la formación de incrustaciones en los baños alcalinos.
- No debe formar compuestos duros.
- Facilitar la limpieza de las tinas.
- Facilitar la limpieza de los perfiles tubulares.

#### 13.3.4 Embalaje:

- Tambores cilíndricos, envases resistentes al medio ambiente y manipuleo.
- Cada uno debe estar con identificación clara.

### 13.4 Humectante no iónico

#### 13.4.1 Nombre del producto: HUMECTANTE

#### 13.4.2 Propiedades:

Aspecto físico: Líquido que se usa como aditivo en el Anodizado y Soda.

#### 13.4.3 Debe satisfacer el insumo:

Formar una capa de espuma en la superficie de los baños.

#### 13.4.4 Embalaje:

- Tambores cilíndricos, envases resistentes al medio ambiente y manipuleo.
- Cada uno debe estar con identificación clara.

### 13.5 Sal de color

#### 13.5.1 Nombre del producto: SAL DE COLOR

### 13.5.2 Propiedades:

Aspecto físico: Cristalino.

### 13.5.3 Debe satisfacer el insumo:

- Cristales finamente divididos.
- Fácilmente soluble en solución ácida.
- Debe ser apropiado para colorear aluminio electrolíticamente.

### 13.5.4 Embalaje:

- Tambores cilíndricos, envases resistentes al medio ambiente y manipuleo.
- Cada uno debe tener identificación clara.

## 13.6 Estabilizador de color

### 13.6.1 Nombre del producto: ESTABILIZADOR DE COLOR

### 13.6.2 Propiedades:

Aspecto físico: Líquido que se usa como aditivo en el electro color.

### 13.6.3 Debe satisfacer el insumo:

- Evitar la oxidación del estaño.

### 13.6.4 Embalaje:

- Tambores cilíndricos, envases resistentes al medio ambiente y manipuleo.
- Cada uno debe estar con identificación clara

## 13.7 Aditivo de sellado

### 13.7.1 Nombre del producto: ADITIVO DEL SELLADO

### 13.7.2 Propiedades:

Aspecto físico: Líquido

### 13.7.3 Debe satisfacer el insumo:

- Alargar la duración del baño.
- Facilitar la limpieza de los perfiles.
- Actuar como catalizador para el sellado.

Los insumos Nacionales utilizados de uso industrial son:

## 13.8 Acido Sulfúrico Ind

### 13.8.1 Nombre del producto: ACIDO SULFURICO INDUSTRIAL

### 13.8.2 Propiedades:

Fórmula :	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Aspecto físico:	Líquido transparente
Concentración:	mín. 96,0 %

### 13.8.3 Debe satisfacer el insumo:

- No debe contener impurezas.

### 13.8.4 Embalaje:

- Contenedores, envase resistente al medio ambiente y manipuleo
- Debe tener todos los precintos de seguridad inalterados e identificados.

## 13.9 Acido Nítrico industrial

### 13.9.1 Nombre del producto: ACIDO NITRICO INDUSTRIAL

### 13.9.2 Propiedades:

Fórmula:	HNO <sub>3</sub>
Aspecto físico:	Líquido transparente incoloro
Gravedad especifica 15°C/4°C	mín. 1,33
Concentración en % peso :	mín. 53 %

### 13.9.3 Debe satisfacer el insumo:

- No debe contener impurezas.

### 13.9.4 Embalaje:

- Contenedores, envase resistente al medio ambiente y manipuleo
- Debe tener todos los precintos de seguridad inalterados e identificados.

## 13.10 Acido Acético Industrial

### 13.10.1 Nombre del producto: ACIDO ACETICO INDUSTRIAL

### 13.10.2 Propiedades:

Fórmula:	CH <sub>3</sub> COOH
Aspecto físico:	Líquido incoloro
Gravedad especifica a 20°C/4°C	mín. 1,049
Concentración en % peso:	mín. 99,85 %

### 13.10.3 Debe satisfacer el insumo:

- No debe contener impurezas.

#### 13.10.4 Embalaje:

- Contenedores, envase resistente al medio ambiente y manipuleo.
- Debe tener todos los precintos de seguridad inalterados e identificados.

#### 13.11 Amoniaco líquido 26°C Industrial

##### 13.11.1 Nombre del producto: AMONIACO LÍQUIDO INDUSTRIAL

##### 13.11.2 Propiedades:

Fórmula:	NH <sub>3</sub>
Aspecto físico:	Líquido incoloro
Concentración en % peso:	mín. 30,00 % (26°Be)

##### 13.11.3 Debe satisfacer el insumo:

- No debe contener impurezas

##### 13.11.4 Embalaje:

- Contenedores, envase resistente al medio ambiente y manipuleo
- Debe tener todos los precintos de seguridad inalterados e identificados.

#### 13.12 Soda cáustica Líquida 50% Ind

##### 13.12.1 Nombre del producto: SODA CAUSTICA LIQUIDA 50%

##### 13.12.2 Propiedades:

Fórmula:	NaOH
Aspecto físico:	Solución clara y viscosa
Alcalinidad total como (NaOH):	mín. 48 %

##### 13.12.3 Debe satisfacer el insumo:

- No debe contener de impurezas

##### 13.12.4 Embalaje

- Camión cisterna
- Debe tener todos los precintos de seguridad inalterados.

Tanto los insumos Importados como los Nacionales deben cumplir nuestras especificaciones técnicas de control y seguridad.

## 14. INGENIERIA GENERAL

La producción de perfiles de Aluminio Anodizado depende de un amplio conocimiento de la tecnología de anodizado, el tipo correcto de equipo y un balance de capacidad de proceso combinada con una buena dirección de producción.

Esto implica una gran aplicación de la ingeniería Química desde suministros de aire comprimido, fuentes de energía, vapor. Insumos químicos, Etc. Aunado a instrumentos de control y equipos para el manejo del material durante proceso.

Para obtener óptimos resultados se aplicaran las actuales innovaciones en lo que respecta a anodizado, tratando de ahorrar en todos los campos del proceso.

Así se aplicaran lo siguiente:

### 14.1 Equipos rectificadores

Considerando los cálculos en consumo de corriente tenemos que tener presente.

Dependiendo de la tecnología que utilice el rectificador debe garantizar en su línea estandar 87% de eficiencia y en su línea automática 93%

Cuando se compra un rectificador de corriente se esta haciendo un contrato con la empresa proveedora de corriente eléctrica.

Un rectificador típico de 10 000 A 25 V CD trabajando 16 horas al día a razón de \$ 0.023 Kw-h consumirá \$ 33 120 de energía eléctrica en un año. Esta cantidad puede representar varias veces el costo inicial del rectificador, de acuerdo con esta cifra cada 1% de eficiencia ganada o perdida representa muchos dólares por año por rectificador.

Los parámetros afectan el costo de la energía.

?? Eficiencia.- la relación entre la potencia de entrada y de salida y la potencia de perdida en forma de calor

?? Factor de potencia .- El porcentaje de corriente fuera de fase que no hace ningún trabajo efectivo.

Las pérdidas de eficiencia son causadas por caídas de voltaje debido al flujo de la corriente a través de:

Regulador de voltaje, transformador, diodos, alambrado, ensolerado, fusibles y corrientes rotatorias (Eddy) en las laminaciones del autotransformador y transformador. El reducir las perdidas de voltaje, aumenta eficiencia, reducirá el calor generado y permitirá que todos los componentes trabajen a temperaturas reducidas y aumentara la duración de los mismos.

El regulador.-

Una vez que se ha escogido el medio de regulación no se puede hacer mucho para mejorar la eficiencia del mismo a menos que se cambie a otro sistema totalmente nuevo.

Enseguida se mencionan los tipos usuales de regulación que se emplean en electro deposición y anodizado. Debe pensarse seriamente en el tipo a escoger para optimizar la selección

Tabla 8.- Factores de pérdida de capacidad del rectificador

REGULADOR	PERDIDA	EFICIENCIA
THYRISTORES (SCR) en primario	1,5	99%
Reactor saturable	10% voltaje de línea	90%
Transformador de pasos	3,5%	95 –97%
Regulador continuo	3,5%	95 – 97%

Nota. La conversión de reactor saturable a thyristores es fácil y económica adicionalmente a la mayor ganancia en eficiencia habrá un 10% en el voltaje de salida.

#### 14.1.1 El transformador principal.-

Los transformadores generalmente se diseñan para una determinada elevación de temperatura dada sobre el ambiente. Los transformadores que trabajan a baja temperatura son eficientes, por que tienen un área grande de sección transversal en los conductores de cobre de los bobinados primario y secundario por lo que reduce la conversión de potencia en calor desperdiciando al doblar la asignación de corriente de un bobinado secundario por ejemplo Requiera más del doble del área de cobre para mantener la misma elevación de temperatura Las corrientes de Eddy en las laminaciones del transformador son causados por el campo magnético fluctuante de 60 ciclos.

Las laminaciones de grados eficientes como M –14, M – 10, M – 6 de acero silicio reducirán estas perdidas.

El tener sumo cuidado al armar las laminaciones mejora el acoplamiento magnético del transformador. Si se emplea aluminio como material para bobinar se debe usar una sección 1,64 veces mayor para igualar la conductividad del cobre. Un transformador grande bien diseñado tendrá una eficiencia mayor del 97% .

Los diodos.-

Esta parte del transformador puede ser la más eficiente dependiendo del voltaje de salida necesitado. Asumiendo una pérdida fija de 1 voltio, en esta parte de alta corriente el porcentaje de pérdida puede ser considerable.

Casi todos los rectificadores modernos usan diodos de silicio.

El equipo viejo en buenas condiciones que emplea selenio u otros materiales para la rectificación puede ser sometidos a diodos de silicio para una eficiencia óptima. Esto puede reducir las pérdidas en 50% o más, también aumentando la cantidad de diodos o usarlo de mayor capacidad disminuye la caída de voltaje.

Un diodo que pase 200 amp puede tener una caída de 1,2 voltios (240 w), al doblar la cantidad de diodos baja la corriente a través de cada uno a 100 amp con una pérdida de 1 voltio para una pérdida de 100 watt o 200 watt los dos. Una ventaja adicional es que cada diodo trabajara a temperatura reducida aumentando su capacidad para enfrentarse a sobrecargas accidentales o cortos circuitos.

Empleando los diodos de esta forma conservadora permite la eliminación de fusibles, reduciendo aún más la pérdida y los problemas de reemplazarlos, además de la cantidad de diodos empleados debe proveerse un área adecuada de radiadores de enfriamiento, así como medios adecuados de ventilación y enfriamiento para retirar el calor generado.

#### 14.1.2 Alambrado, Ensolerado y fusibles .-

Siempre que una corriente fluye por un conductor habrá una caída de tensión generalmente, las pequeñas pérdidas en los circuitos de control y alto voltaje son negligentes. Pero el Ensolerado (en aire entre el rectificador y el proceso) . Y la colocación de fusibles inapropiados en la parte de bajo voltaje y alta corriente pueden resultar grandes pérdidas.

La regla aceptada para el Ensolerado en aire entre el rectificador y el proceso usar 645 mm<sup>2</sup> de sección de cobre ( 1060 mm<sup>2</sup> aluminio) por cada 1000 amp bajo estas condiciones:

La resistencia del cobre causa una pérdida de 0,008 voltios por cada 30 cm de largo de la solera de cobre (0,0088 aluminio) bajo estas condiciones insignificantes para distancias cortas, para 60 metros de longitud de aluminio la pérdida es de 1,76 voltios o 1760 watt por cada 1000 amp debe tenerse cuidado de que el voltaje no caiga por debajo de lo requerido.

Cálculo los costos de la energía

$$E_{CC} \times I = P$$

Donde:

E = Potencial (Voltios), CC (corriente continua)

I = Intensidad de corriente (Amperios)

P = Potencia eléctrica (watts)

$$\text{Watt} / 1000 = \text{Kw (salida)}$$

Determinación del consumo eléctrico AC (Corriente Alterna)

$$\text{Kw} / \text{eficiencia \%} = \text{Entrada AC Kwh}$$

Estándar 87%

Automático 93%

$$\text{Kwh} \times (\text{costo promedio KWh}) \times (\text{hr /año}) = \text{Costo Energía}$$

#### 14.1.3 Panel para control de densidad de corriente. -

Una eficiente relación para el óptimo consumo de energía el proceso. Está entre el tablero de control o controlador de corriente y el rectificador.

Existe en el mercado tableros de control de alto rendimiento la cual viene con un PLC que controla los parámetros y muchas funciones más. Que facilitan el trabajo de los operadores y hacen que se pueda seleccionar parámetros a voluntad y sean reproducibles.

Entre las cuales encontramos diferentes factores con cual se puede trabajar, uno de ellos es el modo de densidad de corriente. Con solo fijar la densidad de corriente y la capa deseada el equipo se encarga de programar lo demás parámetros: tiempo área anodizada, corriente consumida. Controla el crecimiento de la capa anódica. Además cuenta con un contador de corriente interno que se utiliza para una dosificación de ácido automático manteniendo el baño en concentración constante durante la jornada de trabajo, también controla el sistema de refrigeración del baño.

Estimación de la cantidad y la capacidad de los rectificadores para cubrir el 70% del mercado al 2010.

Area por anodizar en la planta

	1.465.333,24 m <sup>2</sup>
ó	146.533.324,00 dm <sup>2</sup>
en peso	2.930,66 TM

## DIMENSION DE LOS RECTIFICADORES

Dias trabajados al mes	20,00
meses trabajados al año	12,00
Total días	240,00
horas por día	16,00
Area por hora	38.159,72 dm <sup>2</sup>
Area por media hora	<b>19.079,86 dm<sup>2</sup></b>

Tabla 9.- Selección de rectificadores

Rectificador	Area a 90 % dm <sup>2</sup>	Area por anodizar dm <sup>2</sup>	Número de rectificadores
6000	3.300,00	19.079,86	5,78
8000	4.500,00	19.079,86	4,24
10000	5.700,00	19.079,86	3,35

Del cuadro se determina que debe ser 4 rectificadores de 10 000 A cada uno.

### 14.2 Agitación

Es muy importante para retirar el calor generado durante el proceso de anodizado en la superficie de la pieza

La agitación frecuente es con aire la cual se aplicara para agitar los enjuagues y baños de preparación de los perfiles en los baños de anodizado, esto implica que el aire ingresa a mayor temperatura que la solución por lo tanto se vuelve un consumidor más del equipo de refrigeración. Para evitar esto se instala un sistema de agitación por eductores que aprovechan el retorno del ácido a la tina después de ser enfriado en el intercambiador de placas. este sistema es muy efectivo y mantiene la temperatura con muy poca variación.

La fuente de aire comprimido es un compresor tornillo de 22,8 Kw- h, para mantener la línea de aire en la planta con 100 psi, seguido de un secador frigorífico.

### 14.3 Refrigeración

El proceso de anodizado es un proceso exotérmico. Donde el calor es generado por la reacción a razón de 390 Kcal por cada molécula de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formado. Este calor debe ser retirado por el equipo de refrigeración para mantener una temperatura constante en el electrolito.

La Norma Qualanod (norma española para anodizado) indica una forma de determinar la capacidad de refrigeración.

$$I \times (E+3) \times 0,86 = \text{Kcal.} - \text{h.}$$

Donde:

I = Intensidad de corriente (Amperios)

E = Potencial (Voltaje)

0,86= factor de conversión

### DETERMINACIÓN DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

Consideraremos el conjunto siguiente:

2 tinas de anodizado y 1 de color

Anodizado	Rectificador	Voltaje	Kcal - h	
1	10.000	17,5	176.300	
2	10.000	17,5	176.300	
Electrocolor				
1	6.000	17,5	70.520	
Total			423.120	Kcal - h

Factor de conversión:

1 ton

3024 Kcal - h

Esto representa en toneladas de refrigeración

Para la unidad se requiere	140 tons
----------------------------	----------

Como tenemos dos unidades se requiere dos equipos de 140 tons.

El intercambio de calor será externo, quiere decir que el ácido es bombeado hacia un intercambiador de placas y retorna frío. Este sistema es muy eficiente y mantiene el baño con bastante agitación.

#### 14.4 Herramental

Se considera todo los accesorios para armar las cargas desde los electrodos, platinas, ganchos para tubos alambre y accesorios. Con el objetivo de bajar costos se utiliza accesorios para perfiles de alta rotación, se utiliza la máxima capacidad de los equipos.

14.4.1 Uso de abrazaderas para la sujeción de las platinas disminuyendo la renovación de los electrodos por desgaste solo se dará mantenimiento a las abrazaderas, los contactos y los ganchos. Los pernos de presión ya no salen de la abrazadera hasta terminar su vida útil.

14.4.2 Uso de platinas de sección cuadrada para accesorios de aluminio y platinas con 4 venas para sujetar los perfiles con los clamp (prensas de polipropileno). Aplicado ahora ha perfiles que requieren características específicas. No se utiliza alambre y no se requiere perforar los perfiles.



Fig. 21.- Vista de la forma de sujetar las platinas

Fig. 22.- Perfiles sujetos por accesorios

14.4.3 Para el transporte de las cargas de considera dos puentes grúas con una capacidad de carga de 1 000 Kg por polea con dos velocidades, robusta para medio ácido y alcalino.

#### 14.5 Agua tratada

Para la preparación de las soluciones tales como el anodizado, color, sellados, y algunos enjuagues se requiere se agua tratada libre de toda impureza.

Aquí se presenta una información sobre la purificación del agua.

El agua como  $H_2O$  es un compuesto puro no conductor de corriente eléctrica. Pero tiene una particularidad. Es un solvente universal, es decir puede captar, gases, líquidos, metales, por eso en la naturaleza no se encuentra puro.

En el ciclo natural del agua que recordamos: Sólido – Líquido - Gas. En cada cambio de fase el agua se presenta como un agente que no viene solo. Viene con todo lo que disolvió en su trayecto.

¿Te has preguntado como llega el agua a nuestros hogares?

¿Por que esperas que siempre sea limpia? En épocas de lluvias suele salir turbia.

Pues hagamos un viaje imaginario desde nuestros hogares ingresando por el caño pasamos a una tubería de ½" luego a una de 6" y 8" , pasando a una tubería troncal de distribución y al reservorio a donde es impulsado por un sistema de bombeo desde la troncal principal que sale de la planta de tratamiento de agua potable. Vemos inmensas lagunas con agua lista para la distribución hay clorinadores. Filtros, Tanques de sedimentación con precipitantes, Los Clarificadores, Pozos de sedimentación por gravedad. Llegamos a la bocatoma y encontramos al Río Habrador (si hablara no te quedarían ganas de tomar agua), en este río antes había camarones y truchas hoy son historia

Este camino que hemos seguido nos da una idea de cómo se "limpia" el agua.

Pero hay procesos industriales como el nuestro, equipos médicos de precisión, como los equipos de hemodiálisis que requieren agua purificada.

Existen varios métodos de purificación del agua, aquí le mencionamos un resumen

1) Filtración.- Se usa como un pre-tratamiento el agua pasa a través de un filtro de terminada porosidad y a una determinada presión. El filtro retiene las partículas y el agua pasa a través de él.

2) Adsorción.- El carbón activado liga al cloro y materiales orgánicos en el agua de alimentación inmovilizándola y removiendo estas impurezas.

3) Destilación.- Es el proceso en que el agua es calentada hasta estado gaseoso y luego condensado en un recipiente separado.

4) Oxidación Ultravioleta (UV).- Luz UV (menor de 280 nm) pasa a través del agua destruyendo bacterias virus, y trazas de material orgánico.

5) Desmineralización.- Remueve los iones minerales por intercambio iónico con resinas sintéticas. Las resinas catiónicas remueven los iones cargados positivamente; las resinas anionicas remueven los iones cargados negativamente.

6) Ultrafiltración.- Usado para remover pirogenos y bacterias, bajo presiones. El agua es forzada a través de una membrana con un poro menor que 0,005 µm, las partículas son retenidas y el agua sola pasa.

7) Osmosis Inversa.- Una presión externa es aplicada en el lado de la alimentación, la membrana semipermeable permite el paso del agua sin sales. Y el agua concentrada es drenada como subproducto.

### **¿QUE ES LA PRESION OSMOTICA?**

El fenómeno de osmosis representa la respuesta de un sistema discontinuo cuando dos recipientes con soluciones a diferentes concentraciones se ponen en contacto por medio de una membrana semipermeable. El flujo "osmótico" se origina del recipiente de la solución diluida al recipiente de la solución concentrada.

Es un proceso espontáneo para llevar al sistema a su estado de equilibrio, ello ocurre cuando el flujo osmótico eleva una columna de líquido sobre la solución concentrada cuyo peso produce la Presión Osmótica de equilibrio.

Cualquiera de nosotros puede interpretar la osmosis como la originada por un efecto de succión de una solución concentrada hacia una solución diluida, tal efecto de succión no se produce mecánicamente como se absorbe el jugo de naranja con la boca; Sino que se trata de un efecto de succión por una diferencia de energías químicas.

La segunda ley de la termodinámica asegura que este proceso es irreversible, en vista de que para reintegrar el sistema a su estado inicial tiene la necesidad de realizar un trabajo mecánico neto.

Esta labor mecánica se realizará en la solución concentrada de tal manera que el flujo del solvente ocurre en dirección opuesta al flujo osmótico original, para que tal cosa ocurra es obligatorio que la presión aplicada tenga un valor mayor a la diferencia de presión osmótica entre los recipientes a esto se llama **“OSMOSIS INVERSA”**

Seleccionamos un equipo de Osmosis Inversa por las siguientes ventajas:

- a) Disminución de las contaminaciones por arrastre de las soluciones de proceso en anodizado
- b) Mayor duración de las soluciones de proceso.
- c) Disminuye el consumo de agua en los enjuagues.
- d) Se obtiene perfiles limpios.
- e) Se evita la formación de aureolas en los perfiles por la evaporación del agua
- f) Disminuyo el tiempo que utiliza el personal de embalaje en limpiar los perfiles
- g) Disminuye el tiempo de entrega del producto al cliente
- h) Disminuye del consumo de ácido clorhídrico en la planta (producto fiscalizado por el ministerio de la producción)
- i) Eliminación de los riesgos por quemaduras con Ácido Clorhídrico (Ya no se utilizara para tratar el agua)
- j) Disminución de tiempos de preparación de soluciones.
- k) Mayor cantidad de horas disponibles para producción.
- l) Disponibilidad de agua tratada las 24 horas del día.

#### **EQUIPO OSMOSIS INVERSA**

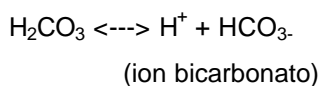
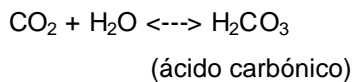
El equipo ha sido seleccionado tomando en cuenta nuestra necesidad de la planta y las características de nuestro proceso.



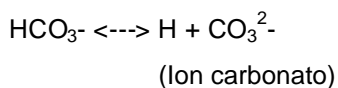
Fig 23.- Equipo de Osmosis Inversa

Se ha puesto bastante énfasis en las propiedades del agua pura por lo que nuestro equipo esta preparado, para controlar la reacción, que hace aumentar la conductividad del agua.

Estas reacciones gobiernan la química de CO<sub>2</sub> y el agua:



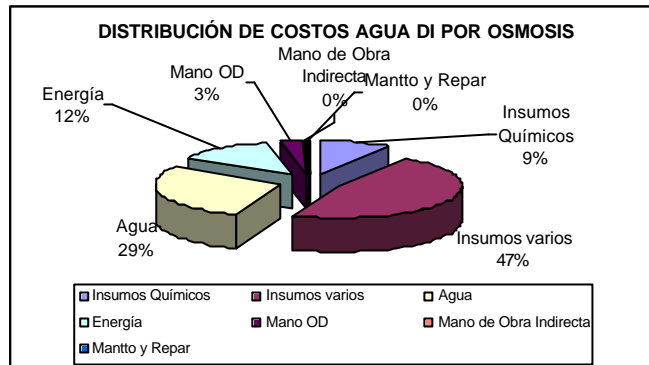
Donde:  $\text{PK}_a = 6.38$



Donde  $\text{PK}_a = 10,37$

Un dosificador de soda cáustica antes del segundo equipo de osmosis nos regula el PH del agua a la salida del equipo y disminuye el CO<sub>2</sub>. Bajando aún más la conductividad.

Nuestra agua tratada se almacena en tres grandes tanques de 10 000 L de capacidad, para el uso respectivo. Las líneas de conducción a los puntos de uso están tendidas en un material adecuado hasta el lugar requerido.



Fuente: Cortesía de Aluminios PFK

Fig. 23.- a) Distribución de costos Osmosis Inversa

En la fig. 23.- a) Se puede apreciar los diferentes costos en la producción de agua tratada por el equipo de osmosis Inversa.

#### 14.6 Calefacción

El calor requerido para llevar las soluciones a temperatura de operación se determina Aplicando la ecuación de calor par cada uno de los baños.

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Está ecuación en unidades consistente obtenemos Kcal.

En la tabla 10 se muestra la cantidad de calor necesario para acondicionar los baños a la temperatura de operación, cabe recordar que la mayor demanda de vapor se da en el proceso de calentamiento de los baños, mientras que durante la el proceso el consumo de vapor es mínima, solo para el mantenimiento.

Este calor se requiere en un tiempo de nueve horas, por lo que en 1 hora se requiere 1 293 888 Kcal. Sí esto representa el 60% del combustible utilizado para generar el vapor se tiene que producir en la combustión 2 15 64 480 Kcal.

Un caldero de 9 600 lb/h con residual 6 satisface esta cantidad de calor.

Tabla 10.- Calor necesario para acondicionar los baños

		<b>Volumen útil m<sup>3</sup></b>	<b>Calor Requerido Kcal</b>
<b>CARGA</b>			
1	<b>DESENGRASE</b>	33,12	1.391.040,00
2	ENJUAGUE	16,56	
<b>DECAPADO</b>			
3		36,80	2.281.600,00
4	ENJUAGUE	16,56	
5	ENJUAGUE	16,56	
<b>SODA</b>			
6		22,82	730.112,00
7	ENJUAGUE	16,56	
8	ENJUAGUE	16,56	
<b>NÍTRICO</b>			
9		16,56	
10	ENJUAGUE	16,56	
11	ENJUAGUE	33,12	
<b>ANODIZADO 1</b>			
12		20,24	
13	<b>ANODIZADO 2</b>	20,24	
<b>ANODIZADO 3</b>			
14		20,24	
15	<b>ANODIZADO 4</b>	20,24	
<b>ENJUAGUE</b>			
16		16,56	
17	ENJUAGUE	33,12	
<b>ELECTROCOLOR 1</b>			
18		20,24	
19	<b>ELECTROCOLOR 2</b>	20,24	
<b>ENJUAGUE</b>			
20		16,56	
21	ENJUAGUE	16,56	
<b>SELLADO 1</b>			
22		22,08	1.810.560,00
<b>SELLADO 2</b>			
23		22,08	1.810.560,00
<b>SELLADO 3</b>			
24		22,08	1.810.560,00
<b>SELLADO 4</b>			
25		22,08	1.810.560,00
<b>Secador 1</b>			
26		33,12	
27	<b>Secador 2</b>	33,12	
<b>DESCARGA</b>			

Total Kcal 11.644.992,00

BTU 46.218.973,25

#### 14.7 Instalación de los secadores

Uno de los grandes inconvenientes es que cuando los perfiles salen del sellado se demoran en secar y permanece buen tiempo para que se evapore el agua. Los perfiles eran colocados en mesas inclinadas para facilitar su escurrimiento. Con el objetivo es que los perfiles salgan limpios y secos para evitar la humedad del área y el personal no moje los guantes y a su vez dure más. Se coloca un secador de aire caliente suministrado por un quemador a gas los perfiles se obtienen secos en 15 minutos, facilitando el trabajo para la sección de Embalaje, apreciablemente.

La fuente de calor es un quemador a GLP, tiene recirculación interna manteniendo la temperatura en 50°C.

14.8 Proceso

Se establece el siguiente diagrama de flujo para el proceso de anodizado.

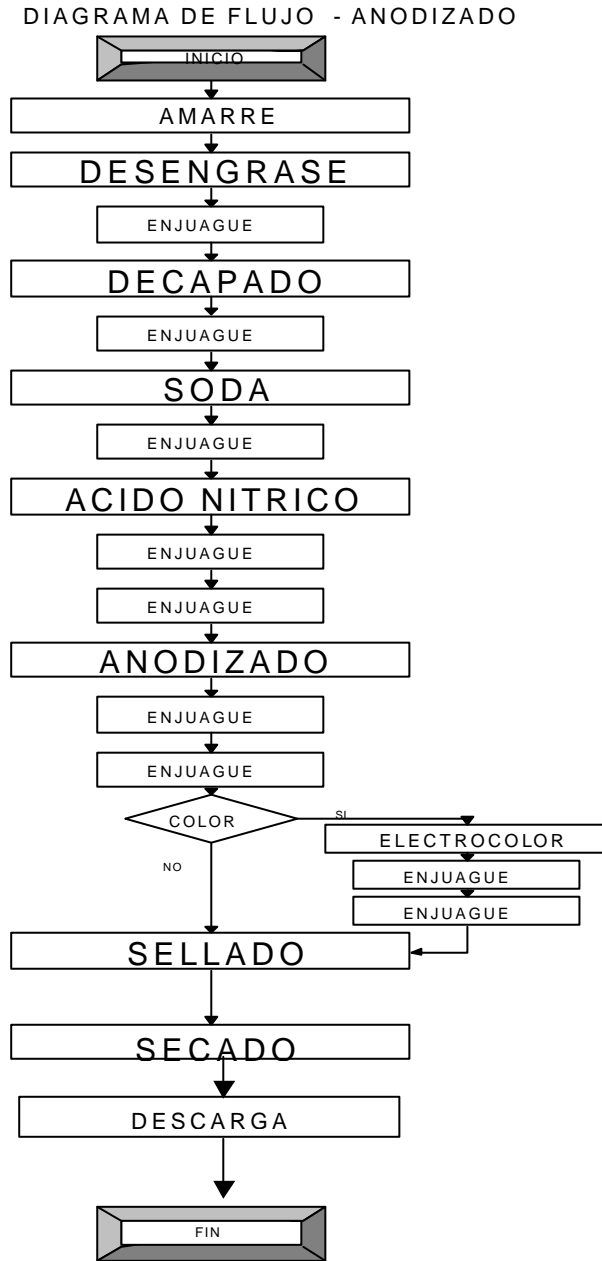


Fig 24.- Diagrama de flujo del proceso de anodizado

14.9 Los parámetros de operación se listan a continuación.

Tabla 11.-Parametros del proceso

BAÑOS	DESCRIPCION	PARAMETROS
Desengrase	Desengrase Eliminador de Piedra Temperatura Tiempo	30 - 50 g/l Aprox 2 g/l 40°-60°C 5 - 15 min
Decapado	Decapante Eliminador de Piedra Humectante Temperatura Tiempo Aluminio	50 - g/l Aprox 2 g/l Aprox 0.3 - 2.0 g/l 55° - 70°C 10 - 20 min 40 g/l max
Soda	Soda cáustica Decapante Humectante Temperatura Tiempo Aluminio	50 - g/l Aprox 2 g/l Aprox 0.3 - 2.0 g/l 50° - 55°C 3 - 8 min 40 g/l max
Nítrico	Acido Nítrico Temperatura	50 - 70 g/l Ambiente
Anodizado	Acido sulfúrico Aluminio Temperatura Densidad de corriente Voltaje Humectante Tiempo	170 - 180 g/l Max 22 g/l 18° - 22° C 1.5 A/dm <sup>2</sup> Aprox 17.5 V Aprox 0.3 - 2.0 g/l 30 - 45 min
Electrocolor	Sal de color Acido Sulfúrico Estabilizador de color Temperatura Densidad de corriente Voltaje Tiempo	9.8 - 14 g/l 12 - 24 g/l 9.8 - 14.0 g/l Ambiente Aprox 0.8 - 1.3 A/dm <sup>2</sup> Aprox 17.5 V Aprox Acab 03      13 mim
Sellado	Aditivo de sellado PH Temperatura Tiempo	1 - 3 g/l 5.6 - 6.0 A Pto ebullición 3 min / ? m
Secador	Temperatura Tiempo	50 °C 15 min

14.10 Características de las tinas del proceso

Tabla 12.- Dimensiones de las tinas de proceso

	DIMENSIONES INTERNAS			Volumen	EXTERNAS
	LARGO	ANCHO	ALTURA	útil	ANCHO
	m	m	m	m <sup>3</sup>	m
					2
	<b>CARGA</b>				
1	<b>DESENGRASE</b>				
2	8,00	1,80	2,5	33,12	2,10
	ENJUAGUE				1,20
	8,00	0,90	2,5	16,56	0,65
3	<b>DECAPADO</b>				
4	8,00	2,00	2,5	36,80	2,30
	ENJUAGUE				1,20
5	8,00	0,90	2,5	16,56	1,20
	ENJUAGUE				0,65
6	<b>SODA</b>				
7	8,00	1,24	2,5	22,82	1,54
	ENJUAGUE				1,20
8	8,00	0,90	2,5	16,56	1,20
	ENJUAGUE				0,65
9	<b>NITRICO</b>				
10	8,00	0,90	2,5	16,56	1,20
	ENJUAGUE				1,20
11	8,00	1,80	2,5	33,12	2,10
	ENJUAGUE				0,65
12	<b>ANODIZADO 1</b>				
13	8,00	1,10	2,5	20,24	1,40
	<b>ANODIZADO 2</b>				0,65
	8,00	1,10	2,5	20,24	1,40
14	<b>ANODIZADO 3</b>				
15	8,00	1,10	2,5	20,24	1,40
	<b>ANODIZADO 4</b>				0,65
	8,00	1,10	2,5	20,24	1,40
16	ENJUAGUE				1,20
17	8,00	0,90	2,5	16,56	1,20
	ENJUAGUE				0,65
	8,00	1,80	2,5	33,12	2,10
18	<b>ELECTROCOLOR 1</b>				0,65
	8,00	1,10	2,5	20,24	1,40
	<b>ELECTROCOLOR 2</b>				0,65
19	8,00	1,10	2,5	20,24	1,40
	ENJUAGUE				0,65
20	8,00	0,90	2,5	16,56	1,20
21	8,00	0,90	2,5	16,56	1,20
	ENJUAGUE				0,65
22	<b>SELLADO 1</b>				
23	8,00	1,20	2,5	22,08	1,50
	<b>SELLADO 2</b>				1,50
24	8,00	1,20	2,5	22,08	1,50
	<b>SELLADO 3</b>				1,50
25	8,00	1,20	2,5	22,08	1,50
	<b>SELLADO 4</b>				1,50
	ENJUAGUE				0,65
26	<b>Secador 1</b>				
27	8,00	1,80	2,5	33,12	2,10
	<b>Secador 2</b>				2,10
	<b>DESCARGA</b>				3,00
	Longitud total				52,89

Seguidamente listamos las características de cada uno de las tinas de proceso

Tabla 13.- Características y costo de las tinas de proceso

	CARGA	Características de las tinas			Precio \$
		Material	Revestimiento	Aislamiento	
1	<b>DESENGRASE</b>	Acero inox 304	-----	Lana de vidrio, chapa fierro	12.500,00
2	ENJUAGUE	Fierro negro	-----	-----	8.500,00
3	<b>DECAPADO</b>	Fierro negro	-----	Lana de vidrio, chapa fierro	15.000,00
4	ENJUAGUE	Fierro negro	-----	-----	8.500,00
5	ENJUAGUE	Fierro negro	-----	-----	8.500,00
6	<b>SODA</b>	Fierro negro	-----	Lana de vidrio, chapa fierro	15.000,00
7	ENJUAGUE	Fierro negro	-----	-----	8.500,00
8	ENJUAGUE	Fierro negro	-----	-----	8.500,00
9	<b>NEUTRALIZADO</b>	Acero inox 316L	-----	-----	12.500,00
10	ENJUAGUE	Acero inox 316L	-----	-----	12.500,00
11	ENJUAGUE	Acero inox 316L	-----	-----	12.500,00
12	<b>ANODIZADO 1</b>	Acero inox 316L	Fibra de vidrio	-----	15.000,00
13	<b>ANODIZADO 2</b>	Acero inox 316L	Fibra de vidrio	-----	15.000,00
14	<b>ANODIZADO 3</b>	Acero inox 316L	Fibra de vidrio	-----	15.000,00
15	<b>ANODIZADO 4</b>	Acero inox 316L	Fibra de vidrio	-----	15.000,00
16	ENJUAGUE	Acero inox 316L	-----	-----	12.500,00
17	ENJUAGUE	Acero inox 316L	-----	-----	12.500,00
18	<b>ELECTROCOLOR 1</b>	Acero inox 316L	Fibra de vidrio	-----	15.000,00
19	<b>ELECTROCOLOR 2</b>	Acero inox 316L	Fibra de vidrio	-----	15.000,00
20	ENJUAGUE	Acero inox 316L	-----	-----	12.500,00
21	ENJUAGUE	Acero inox 316L	-----	-----	12.500,00
22	<b>SELLADO 1</b>	Acero inox 316L	-----	Lana de vidrio, chapa inox 316L	18.000,00
23	<b>SELLADO 2</b>	Acero inox 316L	-----	Lana de vidrio, chapa inox 316L	18.000,00
24	<b>SELLADO 3</b>	Acero inox 316L	-----	Lana de vidrio, chapa inox 316L	18.000,00
25	<b>SELLADO 4</b>	Acero inox 316L	-----	Lana de vidrio, chapa inox 316L	18.000,00
26	<b>Secador 1</b>	Aluminio	-----	Lana de vidrio, chapa fierro	8.500,00
27	<b>Secador 2</b>	Aluminio	-----	Lana de vidrio, chapa fierro	8.500,00
	<b>DESCARGA</b>				

COSTO DE LAS TINAS

351.500,00

14.11 Costos de los equipos para la planta de anodizado

Tabla 14.- a) Equipos planta anodizado

Equipo	\$/ Unid	Cantidad	Total
Rectificador 10 000 A 25 V	51.000	4	204.000
Rectificador para color 6 000 A 25V	62.000	1	62.000
Rectificador para color 5 000 A 25V	5.000	1	5.000
Equipo de enfriamiento 140 ton. Intercambiador placa	58.000	2	116.000
Puente grua, movimiento de cargas x 1000Kg	15.000	2	30.000
Equipo de tratamiento de agua Osmosis inversa 40m3/dia	38.000	1	38.000
Compresor de tornillo y secador frigorífico 5HP	30.000	1	30.000
Equipo de calefacción Caldero 9 600 lb/Hr	50.000	1	50.000
Gratadora	68.000	1	68.000
Herramental para anodizado	50.000	1	50.000
Tinas de proceso	351.500	1	351.500
<b>Total</b>			<b>1.004.500</b>

Tabla 14.- b) Equipos complementarios

Equipo	Capacidad	Material	Costo (\$)
Tanques de almacenamiento petróleo	10 000 gal	Fierro negro	8.000
Tanque de almacenamiento acido sulfúrico Ind.	12 TM	Acero Inox 316	12.000
Tanque de almacenamiento soda cáustica al 50%	15 TM	Fierro negro	9.000
Tanque de almacenamiento acido nítrico	8 TM	Acero Inox 316	12.000
<b>Equipo para laboratorio</b>			
Balanza analítica	200g		4.000
Medidor de capa anodica	?m		3.500
Medidor de sellado	?s		3.000
Material de vidrio			2.500
Otros			
<b>Total</b>			<b>54.000</b>

## 14.12 Tratamiento de agua residual

La planta de tratamiento diseñada tiene como objetivo obtener agua clarificada y lodos que sean considerados como no peligrosos según la reglamentación de los residuos sólidos para una adecuada disposición final.

Con esta planta estamos satisfaciendo las reglamentaciones sobre el medio ambiente, participando activamente en la preservación de la naturaleza y dando a nuestro personal mayor seguridad en el ambiente de trabajo.

### 14.12.1 Generalidades.

Los estudios se realizan para tratar los efluentes de la planta Anodizado los cuales son soluciones ácidas y alcalinas y como principal componente tenemos la presencia de Aluminio disuelto, producto de la disolución superficial de los perfiles en los diferentes procesos. Utilizaremos las soluciones que ya cumplieron su periodo de uso, también se realizará una neutralización o lavado del lodo generado en el decajado.

Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar las siguientes operaciones:

- ?? Almacenamiento de las soluciones usadas en el proceso de anodizado de perfiles
- ?? Acidificación
- ?? Neutralización
- ?? Coagulación,
- ?? Floculación
- ?? Decantación
- ?? Filtrado
- ?? Almacenamiento

Después de acidificar la muestra empieza la neutralización y esto lleva a la coagulación cuyo fundamento teórico se describe a continuación

#### 14.12.2 Coagulación.

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo o precipitado.

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio. Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

##### 14.12.2.1 Neutralización de la carga del coloide.

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga.

Se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ión coagulante. Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Ba y Mg, bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el Na, monovalente; y, a su vez, el Fe y Al, trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes.

Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ión cloruro, Cl<sup>-</sup>, monovalente, el sulfato, (SO<sub>4</sub>)<sup>-2</sup>, divalente, y el fosfato, (PO<sub>4</sub>)<sup>-3</sup>, trivalente.

##### 14.12.2.2 Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido.

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación:

a) pH.-

EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta.

Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

?? Cal viva.

?? Cal apagada.

?? Carbonato sódico.

?? Sosa Cáustica.

?? Ácidos minerales.

b) Agitación rápida de la mezcla

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado.

Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1sg).

#### 14.12.3 Floculación.

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto:

- a) Por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana). En este caso se habla de Floculación pericinética o por convección natural. Es muy lenta.
- b) Por el movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina Floculación ortocinética o por convección forzada.

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación.

Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculo (flóculo más pesado y voluminoso).

Hay diversos factores que influyen en la floculación:

- a) Coagulación previa lo más perfecta posible.
- b) Agitación lenta y homogénea.

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.

- c) Temperatura del agua.

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos.

Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

- d) Características del agua.

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

- e) Tipos de floculantes Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

?? Minerales: por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.

?? Orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña.

Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- ?? Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- ?? Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- ?? Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

La selección del polielectrolito adecuado se hace mediante ensayos de la jarra en el laboratorio.

En general, la acción de los polielectrolitos puede dividirse en tres categorías:

En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Puesto que las partículas del agua residual están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrolitos catiónicos.

La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.

La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulación formación de puentes, que resulta al utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular. Además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas.

#### 14.12.4 Desarrollo del proyecto

Conociendo las características de los efluentes de la planta de anodizado consideramos lo siguiente:

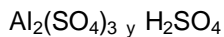
- ?? Los productos elaborados
- ?? Cantidad de aluminio disuelto
- ?? El sistema de fabricación
- ?? Los esquemas del proceso
- ?? El régimen de trabajo
- ?? Volumen de líquidos residuales

Es importante resaltar que todas las soluciones tienen como principal constituyente los compuestos de aluminio producto de las reacciones en los baños de preparación de la superficie del perfil y el proceso de anodizado.

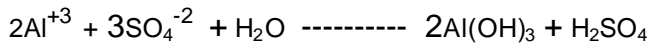
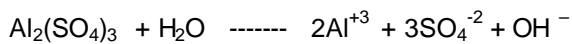
Así podemos encontrar en las soluciones alcalinas las siguientes reacciones.



Y en las soluciones ácidas los compuestos formados por la disolución del aluminio y el óxido de aluminio



La disolución del sulfato de aluminio trae como consecuencia, la hidrólisis del mismo:



Lo mismo ocurre con el ácido sulfúrico



Por esta razón las soluciones de sulfato de aluminio presentan un PH ácido.

#### 14.12.5 Descripción del procedimiento para tratar las aguas residuales

##### 14.12.5.1 Identificación de efluentes:

1. Las soluciones del proceso usadas por ser más concentradas se almacenan en tanques independientes los cuales se utilizarán para regular el PH en primera instancia.
2. Los efluentes líquidos provenientes de los enjuagues
3. Los lodos que se obtienen en el decapante aportan alcalinidad y deben ser neutralizados.

##### 14.12.5.2 Ecuilibración

Los tres efluentes llegan a un tanque de regulación primaria, luego previa homogenización son bombeados hacia un tanque de acidificación con ácido sulfúrico usado, agitado fuertemente regulando el PH a menor que 2.

#### 14.12.5.3 Neutralización

Para lograr la mayor precipitación del hidróxido de aluminio se neutraliza con solución soda cáustica usada, también entra en esta etapa el lodo obtenido en el decapante con una agitación rigurosa y lechada de cal. Para mejorar la velocidad de sedimentación agregamos un polielectrolito spectra flocc 880 solución al 0,1% peso volumen.

Llevando la solución a PH 5,0 – 7,5 donde el hidróxido de aluminio logra una mayor precipitación. Regulando con ácido sulfúrico y soda cáustica.

#### 14.12.5.4 Decantación.

En este decantador se logra separar la gran cantidad de sólidos y coloides formados por la presencia del hidróxido de aluminio.

Aquí se separa el líquido clarificado para su almacenamiento y posterior disposición.

Los lodos van a un filtro prensa.

#### 14.12.5.5 Filtración de los lodos

Los lodos son filtrados en un filtro prensa y compactados para manipularlo con seguridad.

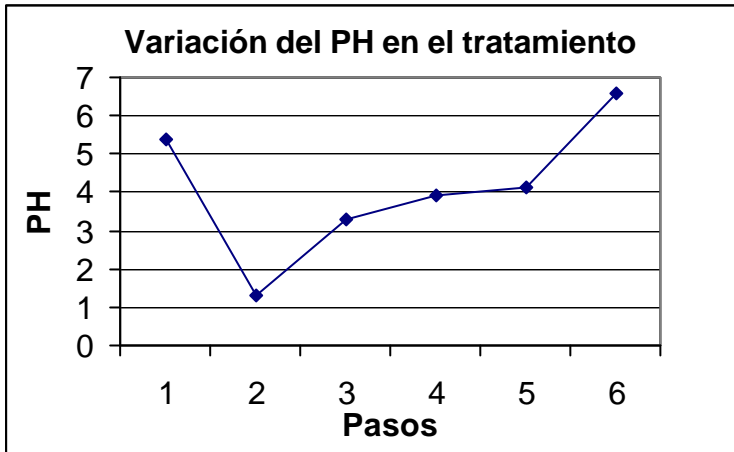
#### 14.12.5.6 Datos experimentales

Se realiza pruebas de laboratorio con el objetivo de obtener los datos que se requieren para el diseño de los principales equipos en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Obteniendo lo siguiente:

En la fig 24 se muestra el comportamiento del PH en los procesos previos a la decantación siempre teniendo en cuenta que la máxima precipitación del hidróxido de aluminio esta en el rango de PH de 5,0 a 7,5.

Donde: Paso 1 es la muestra puntual en un momento del día. Paso 2 significa la acidificación del efluente con ácido sulfúrico. Paso 3 neutralización previa con soda cáustica usada. Paso 4 es la adición de los lodos del decapante para su neutralización soda cáustica paso 5 y 6 se regula el PH con hidróxido de calcio.

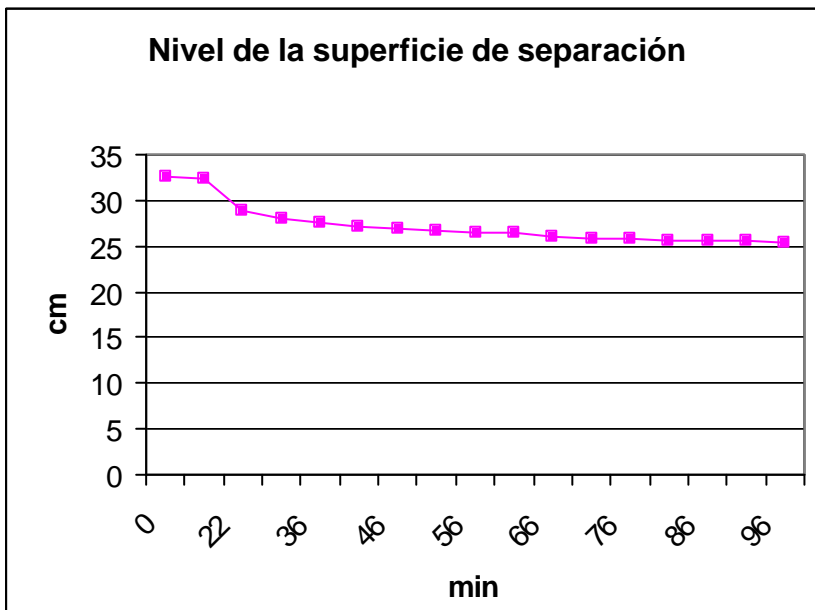


Fuente: Datos de laboratorio Aluminios PFK

Fig 24.- Variación del PH durante el tratamiento del agua residual

Cálculo de la velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación se determina en forma experimental y se obtiene de la siguiente gráfica fig25. Considerando que la mayor velocidad que alcanza los lodos esta en los primeros momentos de sedimentación.



Fuente: Datos de laboratorio Aluminios PFK

Fig 25.- Gráfico de decantación del lodo

Valor obtenido de la grafica fig 25

<b>Vs=</b>	<b>2,13768E-05 m/s</b>
------------	------------------------

Para los cálculos del decantador



Fig 26.- Productos obtenidos de la decantación

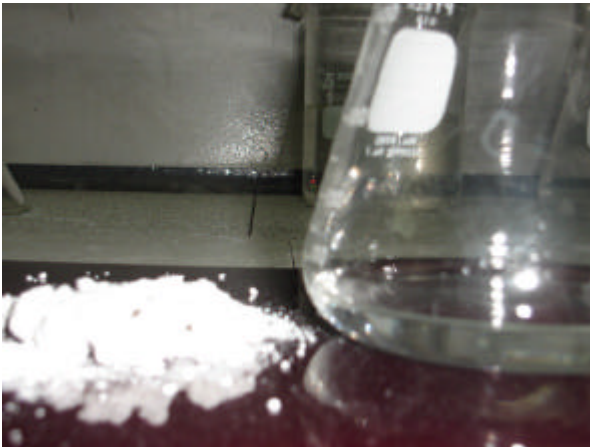


Fig 27.- Productos obtenidos de la filtración

#### 14.12.5.7 Determinación de la capacidad de planta

De las datos obtenidos del proceso luego de los estudios realizados a los efluentes y la disminución de caudal con la aplicación de un control estricto en los enjuagues, los spray en la parte superior de los enjuagues de tal forma que alimente agua fresca directo a las cargas mientras son izadas.

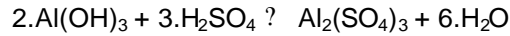
Se determinó que la cantidad de los efluentes es  $10 \text{ m}^3$  por hora.

Esto quiere decir se tratara  $10 \text{ m}^3/\text{hora}$  proveniente de la planta de anodizado como punto de partida. Y se considera que los lodos que se formaran en todo el proceso están gobernados por las siguientes reacciones principales para determinar la cantidad de sólidos que se van a eliminar

Como la planta de anodizado esta diseñada para procesar  $1\ 465\ 333.24 \text{ m}^2$  de perfiles anodizados

Tomando la relación de 1 TM equivalente a  $500 \text{ m}^2$ . Tenemos que se anodizará  $2\ 930.66 \text{ TM}$  al año, y por hora  $763 \text{ kg}$ . De los cuales durante el proceso hay una disolución superficial de

2% que representa 15 kg/h de Aluminio. Experimentalmente se determinó que una parte pasa a formar óxidos en forma de lodos 8 Kg y otra queda en suspensión en los efluentes 7 Kg. A este aluminio suspendido mediante acidificación lo pasamos a sulfato de aluminio controlando un PH menor que 2

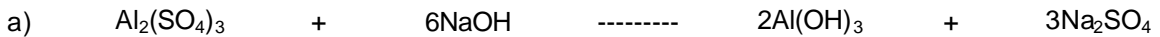


Cantidad de sulfato de aluminio que se obtiene:

Fórmula	PM	Peso
Al	27	7 Kg
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	342	91,27 Kg

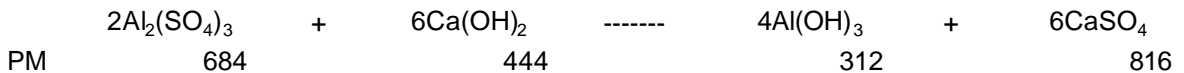
Así obtenemos el sulfato de aluminio necesario para el tratamiento de aguas residuales, Evitando la compra de este insumo cuyo valor aproximado esta por los 0,5 \$ /Kg.

Reacciones químicas que se realizan en el tratamiento de aguas residuales



Sumando a) +b)+ c)

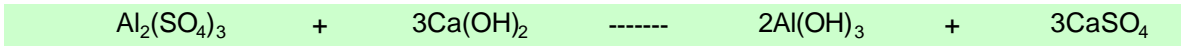
Tenemos:



Simplificando

	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	+	$3\text{Ca}(\text{OH})_2$	-----	$2\text{Al}(\text{OH})_3$	+	$3\text{CaSO}_4$
PM	342		222		156		408
Kg/h	91		59		42		109

Cálculos para determinar la cantidad total de lodo generado anualmente proveniente de Aluminio disuelto en los efluentes:



Por día (16Hr)	16	1.460	948	666	1.742
Por año (240 días)	240	350.494	227.514	159.875	418.133

Precipitado producto de la Rx (Kg) 578.008

De igual forma se estima los lodos que se forman en el decapado:

Cantidad de lodo a neutralizar por hora

	PM		Peso	
Al	27		8 Kg/h	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102		31 Kg/h	

Cantidad de lodo inicial a neutralizar 38,3 Kg/h

Por día (16Hr)	16	613
Por año (240 días)	240	147.000

Lodo total por disponer	Peso	Und
Anual	725.008	Kg
Mensual	60.417	Kg
Por hora	189	Kg

- Para la preparación de la lechada de cal se considera lo siguiente:

#### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CAL

CaO	+	H <sub>2</sub> O	-----	Ca(OH) <sub>2</sub>	-15,5826 Kcal/mol
PM	56	18		74	
H <sub>f</sub>	-151,9	-68,3174		-235,8	-15,5826 Kcal/mol
Kg/h	45	14		59	

CaO comercial contiene insolubles 4 %

Se requiere comprar

CaO 46,51 Kg/h

Al año 178.595 Kg

Concentración de la lechada de cal	0,2 Kg/L
Volumen lechada de cal	295 L/h
Volumen diario	4.720 L
Densidad de CaO	1,2 g/mL
Densidad lechada de cal	1,15 g/mL

#### 14.12.5.8 Equipos principales

Los principales equipos lo constituyen el decantador y el filtro prensa  
Con sus respectivas bombas de alimentación

##### 14.12.5.8.1 Bomba principal de efluentes

Esta bomba es la que alimenta el agua residual a la planta de tratamiento y tiene las siguientes características capacidad de 10 m<sup>3</sup> y potencia de 0,5 HP 0,36 Kw

##### 14.12.5.8.2 Diseño del decantador

Debido al aumento de volumen y carga en el tratamiento aplicado, el decantador tratara un volumen de 12 m<sup>3</sup>/ hora

Se utilizará un decantador de placas paralelas con las siguientes características.

Tabla 15.- Diseño del decantador de placas paralelas

Paso	Datos	Cantidad	Unidad	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Separación de las placas en el plano horizontal	$e' = 12$	cm	$d = e' \sin \theta$	Espaciamiento entre placas	cm
	Espesor de las lonas de vinilo	$e = 0,06$	cm	$d = 12 \sin \theta - 0,06$	1,0472	
	Ángulo de inclinación de las placas	$\theta = 10$	°	$d = 10,33$	0,866026628	
2	Longitud de módulo de placas	$l = 1,2$	m	$l_u = l - e' \cos \theta$	Longitud útil dentro de las placas	cm
				$l_u = 120 - 12 \cos 60^\circ$ $l_u = 114$ $L = l_u / d$ $L = 114 / 10,33$ $L = 11,03$		
3	Módulo de eficiencia de las placas	$S = 1$		$f = [\sin \theta \cos \theta] S$	Coeficiente del módulo	m <sup>2</sup>
	Velocidad de sedimentación de las partículas	$V_s = 2,1E-05$	m/s	$f = [0,866 \sin \theta \cos \theta] \times 0,5$		
	Caudal de diseño del decantador	$Q = 0,004$	m <sup>3</sup> /s	$f = 5,53$ $A_s = Q / f V_s$ $A_s = 0,004 / 5,53 \times 2,13(10)^{-5}$ $A_s = 34$		
4	Ancho neto de la zona de decantación	$4,8$	m	$N = A_s \sin \theta / B \cdot d$ $N = [34(0,866) / 4,8(10,33)] \times 100$ $N = 59$	Número de canales formado por las placas	
5				$LT = l \cos \theta + [Nd + (N+1)e] / \sin \theta$ $LT = 1,2(0,5) + 95(0,1033) + (95+1)0,0006 / (0,866)$ $LT = 6,8$	Longitud del decantador	m
6				$V_o = Q / A_s \sin \theta$ $V_o = \{0,004 / [34 \times (0,866)]\} \times 100$ $V_o = 0,014$	Velocidad medio de flujo	cm/s
7	Ancho del módulo de placas	$b = 2,4$	m	$RH = b \cdot d / 2(b+d)$ $RH = (2,4)(0,103)(100) / 2(2,4+0,103)$ $RH = 4,95$	Radio hidráulico del módulo de placas	cm
8	Viscosidad a 10°C Cinematica ( $\nu$ /densidad)	$\nu = 0,01$	cm <sup>2</sup> /s	$Nr = 4RH \times V_o / \nu$ $Nr = 4(4,95)(0,21) / 0,013$ $Nr = 26,93422345$	Numero de Reynolds	
9				$V1 = [Nr/8]^{0,5} V_s$ $V1 = [26,93/8]^{0,5} (2,13 \times 10^{-5}) \times 100$ $V1 = 0,0039$	Velocidad longitudinal máxima	cm/s

Fuente: Ing. Lidia Vargas Diseño de plantas de tecnología apropiada, capítulo 4

Obteniendo de este proceso una cantidad de líquido clarificado de 28,7% volumen.

#### 14.12.5.8.3 Selección del filtro prensa

De donde el volumen de la suspensión a filtrar por hora es 8 556 L

#### 14.12.5.8.4 Selección de bombas de lodo

Bomba de cavidades progresivas de 9 m<sup>3</sup>/h 700 rpm 6 Bar 2,5 Kw

Utilizando el método recomendado por el proveedor para calcular el tamaño del filtro prensa.

1.- Primero determine la cantidad de lodo en galones (base líquida) que se procesará en cada ciclo (se recomienda 8 hrs. como mínimo por ciclo).

- 2.-Luego determine el contenido de sólidos en peso por galón (base líquida) expresado en libras (ppm o mg/l deben dividirse sobre 1000 000. Porcentajes deben dividirse sobre 100).
- 3.-Ahora determine el peso por pie cúbico (ft<sup>3</sup>) base seca en libras según tabla siguiente:

Tabla 16.- Datos promedio para lodos comunes

Tipo de Lodo	Porcentaje de Sólidos por Peso (Base seca)	Peso Promedio de Lodo por pie <sup>3</sup> (Base seca)
BIOLOGICO	15-25 %	15 lbs.
HIDROXIDOS METALICOS	25-40 %	25 lbs.
LODO DE CAL	30-60 %	35 lbs.

Fuente: LENNTECH; Fabricante de Filtros prensa

$$\text{Total de galones por ciclo} \times \text{Sólidos (\% por peso)} \times \text{Peso del agua (galón)} \div \text{Peso (lbs.) por ft}^3 = \text{Capacidad por ciclo (ft}^3\text{)}$$

Realizando los cálculos de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio obtenemos los siguientes datos:

- a) Volumen de la suspensión = 8556 L, (2260,5 gal)
- b) Porcentaje de sólidos en alimentación = 2.0 %
- c) Densidad del la suspensión = 1.1287 Kg/L
- d) Cantidad de lodos en base seca = 189 Kg/h
- e) Peso de agua ( lbs.) / gal = 8.32 lbs/gal
- f) Peso promedio de lodo por pies<sup>3</sup> = 25 lbs/ pie<sup>3</sup>

En unidades consistentes reemplazamos en la fórmula para determinar la capacidad del filtro:

$$\text{Capacidad por ciclo (pie}^3\text{)} = \frac{2260.5 \text{ gal} \times 0.02 \times 8.32 \text{ lbs/gal}}{25 \text{ lbs/pie}^3}$$

$$\text{Capacidad por ciclo (pie}^3\text{)} = \frac{376.1472 \text{ lbs}}{25 \text{ lbs/pie}^3}$$

Capacidad por ciclo (pie <sup>3</sup> ) = 15,0 pie <sup>3</sup>
---

Capacidad por ciclo (L) = 426,1 L
-----------------------------------

Debido a la gran cantidad de sólidos de considerara dos filtros prensa modelo FP Ø0/41 filtronic con volumen de torta 580 litros de área filtrante de 40,8 m<sup>2</sup> y con 40 cámaras, espesor de torta 50 mm.

#### 14.12.6 Determinación de los volúmenes de los recipientes

Tabla 17.- Volumen de los recipientes

Item	Descripción	Dimensiones	Materiales	Cantidad
1	Tanques de almacenamiento soda usada	10 m <sup>3</sup>	Polietileno	2
2	Tanques de almacenamiento ácidos usados	10 m <sup>3</sup>	Polietileno	2
3	Tanques de equalización	12m <sup>3</sup>	Polietileno	1
4	Volumen del recipiente de acidificación	10 m <sup>3</sup>	PVC	1
5	Volumen tanque de neutralización	10m <sup>3</sup> /h	PVC	1
6	Dosificador de acido sulfúrico	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1
7	Dosificador de soda cáustica	1m <sup>3</sup> /h	Fierro negro	1
8	Dosificador de hidróxido de calcio	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1
9	Dosificador de lodo del decapado	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1
10	Dosificador de polielectrolito	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1
11	Decantador	4,8 x6,8 12000 L	Concreto Hidrau	1
12	Filtro prensa	580 L	filtro Polipropilen	2
13	Reservorio de agua clarificada	10 m <sup>3</sup>	Polietileno	2

Se considera un área de 60 m<sup>2</sup> para depositar los insumos y torta final

#### 14.12.7 Costo de los equipos para la planta de tratamiento de aguas residuales

Tabla 18.- Valorización de los equipos

Item	Descripción	Dimensiones	Materiales	Cantidad	Costo unitario \$	Costo \$
1	Tanques de almacenamiento soda usada	10 m <sup>3</sup>	Polietileno	2	1.500	3.000
2	Tanques de almacenamiento ácidos usados	10 m <sup>3</sup>	Polietileno	2	1.500	3.000
3	Tanques de equalización	12m <sup>3</sup>	Polietileno	1	150	150
4	Agitador con clamp	1/2HP	Inox 316 L	1	700	700
5	Bomba de aguas residuales	10m <sup>3</sup> /h 0,5 Hp 0,36 Kw	Inox 316 L	1	3.000	3.000
6	Medidor de PH 1	0-14	Inox 316 L	1	500	500
7	Diametro de la tubería	2"	PVC	1	50	50
8	Volumen del recipiente de acidificación	10 m <sup>3</sup>	PVC	1	1.500	1.500
9	Dosificador de acido sulfúrico	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1	700	700
10	Agitador	0,25 Kw	Inox 316 L	1	700	700
11	Medidor de PH 2	0-14	Inox 316 L	1	500	500
12	Volumen tanque de neutralización	10m <sup>3</sup> /h	PVC	1	1.500	1.500
13	Dosificador de soda cáustica	1m <sup>3</sup> /h	Fierro negro	1	700	700
14	Dosificador de hidróxido de calcio	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1	700	700
15	Agitador	0,25 Kw	Inox 316 L	1	800	800
16	Medidor de PH 3	0-14	Inox 316 L	1	500	500
17	Dosificador de lodo del decapado	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1	700	700
18	Dosificador de polielectrolito	1m <sup>3</sup> /h	PVC	1	700	700
19	Decantador	4,8 x6,8 12000 L	Concreto Hidrau	1	15.000	15.000
20	Filtro prensa	580 L	Polipropileno	2	18.000	36.000
21	Reservorio de agua clarificada	10 m <sup>3</sup>	Polietileno	2	1.500	3.000
22	Medidor de PH 4	0-14	Inox 316 L	1	500	500

Total \$	73.900
----------	--------

14.13 Cálculos de los consumos.

En las siguientes tablas del 19 al 24 se encuentran resumidas los diferentes consumos para la planta. Se ha considerado los índices de consumo de la planta de anodizado aluminios PFK, para la evaluación respectiva.

Tabla 19.- Cálculo del consumo energía eléctrica

Equipo	Kw-h	Cantidad	Parcial
Rectificador 10 000 A 25 V	250,0	4	1000
Rectificador para color 6 000 A 25V	150,0	1	150
Equipo de enfriamiento 140 tn. Intercambiador placa	184,0	2	368
Puente grua. movimiento de cargas x 1000Kg	3,7	2	7,4
Equipo de tratamiento de agua Osmosis inversa 40m <sup>3</sup> /dia	9,5	1	9,5
Compresor de tornillo y secador frigorífico 22,8Kw	22,8	1	22,8
Equipo de calefacción Caldero 9 600 lb/H	17,5	1	17,5
Gratadora	10,0	1	10
Tratamiento de agua residual	6,0	1	6
Iluminación	4,0	1	4
<b>Total Kw-h</b>			<b>1595,2</b>

Cálculo energía eléctrica anual

	Kw - Hr	Hr /día	Días/mes	Meses /año	Total	\$/ Kw-h	\$
Energía eléctrica	1.595,20	16,00	20,00	12,00	6.125.568,00	0,023	140.888,06

Tabla 20.- Cálculo del consumo de agua para un año

Insumo	Indice de consumo m <sup>3</sup> /TM	m <sup>3</sup>	Costo del Insumo \$/m <sup>3</sup>	\$
Agua anodizado	7,00	20.506,50	0,39	7.956,52
Agua servicios		6.151,95	0,39	2.386,96
<b>Total</b>				<b>10.343,48</b>

Tabla 21.- Cálculo del consumo de combustible

Equipo	gal/TM	TM anodizada	Parcial	\$/gal	\$
Residual 6	39	2930,66	114.295,74	0,92	105.152,08
Gas GLP (m <sup>3</sup> /TM)	2	2930,66	6.447,45	1,4	9.026,43
<b>Total</b>					<b>114.178,51</b>

Tabla 22.- Insumos principales para preparación de los baños

Baños	Descripción	Volumen útil m <sup>3</sup>	Concentración g/L	Preparación Kg	\$/kg	\$
Desengrase	Desengrase	33,12	50,00	1.656,00	1,93	3.196,08
	Eliminador de Piedra	33,12	0,20	6,62	2,32	15,37
Decapado	Decapante	36,80	60,00	2.208,00	2,25	4.968,00
	Eliminador de Piedra	36,80	1,00	36,80	2,32	85,38
	Humectante	36,80	0,01	0,37	11,75	4,32
Soda	Soda cáustica	22,80	50,00	1.140,00	0,29	330,60
	Aditivo soda	22,80	2,00	45,60	2,88	131,33
	Humectante	22,80	0,01	0,23	11,75	2,68
Nítrico	Acido Nítrico	16,56	70,00	1.159,20	0,34	394,13
Anodizado	Acido sulfúrico	80,96	175,00	14.168,00	0,11	1.558,48
	Humectante	80,96	0,01	0,81	7,62	6,17
Electrocolor	Sal de color	40,48	18,00	728,64	10,04	7.315,55
	Acido Sulfúrico	40,48	25,00	1.012,00	0,11	111,32
	Estabilizador de color	40,48	18,00	728,64	4,56	3.322,60
Sellado	Aditivo de sellado	88,32	2,00	176,64	1,78	314,42
<b>Total</b>						<b>21.756,42</b>

Tabla 23.- Cálculo de los insumos para un año

Insumo	Indice de consumo Kg/TM	Kg	Costo del Insumo \$/Kg	\$
Desengrase	2,00	5.859,00	1,93	11.307,87
Decapante	10,00	29.295,00	2,25	65.941,03
Eliminador de	1,43	4.189,19	2,32	9.718,91
Humectante	0,17	498,02	11,75	5.853,31
Aditivo de soc	1,76	5.155,92	2,88	14.837,57
Soda Líquida	40,00	117.180,00	0,29	33.982,20
Acido sulfúrico	54,87	160.741,67	0,11	17.681,58
Acido Nítrico	24,05	70.454,48	0,34	23.954,52
Acido Acético	0,07	205,07	1,19	244,03
Amoniaco líq	0,46	1.347,57	0,68	916,35
Alambre 1.6	1,65	4.833,68	3,50	16.917,86
Alambre 2.0	2,84	8.319,78	3,50	29.119,23
Discos filtro	2,75	8.056,13	0,01	80,56
SnSO4	7,00	8.788,50	10,07	88.519,57
Estabilizador	9,00	11.299,50	4,56	51.512,70
Aditivo del se	8,33	24.402,74	1,78	43.456,39
<b>Total</b>				<b>414.043,68</b>

Tabla 24.- Cálculo de insumos tratamiento de aguas residuales

Equipo	Requerido año (Kg)	\$/Kg	\$
Oxido de cal	178.595	0,298	53.221,31
Polelectrolito spect	179	5,00	892,98
<b>Total</b>			<b>54.114,29</b>

## 15. INGENIERIA ECONOMICA

### 15.1 Estimación de la inversión

Estimamos la inversión necesaria determinando el capital fijo y el capital de trabajo.

Para esto se agrupa convenientemente los diferentes factores que implican el proyecto tales como:

Equipos adquiridos, instalación de los mismos, obras civiles, Instalaciones de servicios, Terreno

Expresando la inversión total como:

$$\text{Inversión total} = \text{Capital fijo} + \text{Capital de trabajo}$$

#### 15.1.1 Costos directos

Considerando que la mayor parte del costo esta en los equipos se toma esto como referencia para la estimación del costo fijo.

Tabla 25.- Total equipos

Descripción	\$
Equipos Anodizado	1.004.500
Tinas de anodizado	326.500
Equipo tratamiento de aguas residuales	73.900
Equipos complementarios	54.000
<b>Total</b>	<b>1.458.900</b>

En la tabla siguiente se resume los valores e incluso se presenta los porcentajes de cada ítem.

Tabla 26.- ESTIMACIÓN DE LA INVERSION DE CAPITAL

DESCRIPCIÓN	% INVERSION	\$
<b>Costos directos</b>		
Equipos ( Anodizado, tratamiento de aguas residuales)	51	1.458.900
Instalación de los equipos adquiridos	7	200.241
Instrumentación y controles	1	28.606
Cañerías y tuberías	4	114.424
Instalaciones Electricas	4	114.424
Obras civiles incluyendo servicios	4	114.424
Mejoras del terreno	2	57.212
Instalaciones de servicios	2	57.212
Terreno	4	114.424
<b>Costo físico total</b>		<b>2.259.865</b>
<b>Costos indirectos</b>		
Ingeniería y supervisión	5	143.029
Gastos de construcción	8	228.847
Honorario del contratista	2	57.212
Eventuales	6	171.635
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>2.860.588</b>

## 15.2 Capital fijo

De los datos anteriores se determina que el capital fijo es \$ 2 860 588

## 15.3 Capital de trabajo

Para determinar el capital de trabajo estimamos en las tablas del 27 al 42, los diferentes factores que intervienen en la producción para un año, en función de los índices de consumo de la empresa Aluminios PFK. El Banco que ofrece mejores condiciones financieras para corporaciones es el BANCO DE CREDITO DEL PERU con una tasa 12% anual.

Tabla 27.- Determinación costos beneficios sociales

Descripción	Previsión %	Monto anual \$	Previsión \$
Sueldo anual		2496	
Essalud	9%		224,6
Seguro c t riesgo	2%		49,9
Refrigerio		447,8	447,8
uniforme		29,9	29,9
Gratificación	16,66%		415,8
Protección	1%		25,0
<b>CTS</b>	<b>8,33%</b>		<b>207,9</b>

Acumulado	1401,0
-----------	--------

Factor	0,56
Se asume	60 % del sueldo

Tabla 28.- Mano de obra

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
Operador	208,00	124,80	332,80	3.993,60	4	15.974,40
Operador de ppqq	208,00	124,80	332,80	3.993,60	2	7.987,20
Operarios	194,00	116,40	310,40	3.724,80	22	81.945,60
<b>Total</b>						<b>105.907,20</b>

Tabla 29.- Supervisión de Operaciones

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
Supervisor	746	447,60	1.193,60	14.323,20	1	14.323,20
Laboratorio	447	268,20	715,20	8.582,40	1	8.582,40
<b>Total</b>						<b>22.905,60</b>

Tabla 30.- Costo de mantenimiento y reparación

	Capital fijo \$	%	Anual
Mantenimiento	2.860.588	4	114.423,53

Tabla 31.- Costo de los servicios

Serviciós	\$
Agua	10.380,55
Electricidad	140.888,06
Combustible	114.542,40
Total	265.811,02

Tabla 32.- Depreciación

Descripción	Valor	%	Anual
Equipos	1.458.900,00	10,00	145.890,00
Edificios	114.423,53	3,00	3.432,71
Total			149.322,71

Tabla 33.- Impuestos

Descripción	Valor	%	Anual
Impuestos	2.860.588	2	57.211,76
Seguros	2.860.588	1	28.605,88
Total			85.817,65

Tabla 34.- Laboratorio

Descripción	Mano de obra	%	Anual
Laboratorio	105.907,20	10	10.590,72

Tabla 35.- Seguridad y protección

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
Personal	298,00	178,80	476,80	5.721,60	4	22.886,40
Equipo de seguridad			750,00	9.000,00	1	9.000,00
Equipos relacionados			750,00	9.000,00	1	9.000,00
Total						40.886,40

Tabla 36.- Gastos de administración planta

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
Jefe de planta	1.500,00	900,00	2.400,00	28.800,00	1	28.800,00
Asistente	298,00	178,80	476,80	5.721,60	1	5.721,60
Artículos varios			200,00	2.400,00	1	2.400,00
<b>Total</b>						<b>36.921,60</b>

Tabla 37.- Embalaje

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
Supervisor	746,00	447,60	1.193,60	14.323,20	1	14.323,20
Operarios	208,00	124,80	332,80	3.993,60	6	23.961,60
Insumos			800,00	9.600,00	1	9.600,00
<b>Total</b>						<b>47.884,80</b>

Tabla 38.- Salvaguardia

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
imprevistos			2.500,00	30.000,00	1	30.000,00
<b>Total</b>						<b>30.000,00</b>

Tabla 39.- Superintendencia de planta

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
Superintendencia de p	220,00	132,00	352,00	4.224,00	6	25.344,00
Gastos varios			250,00	3.000,00	6	18.000,00
<b>Total</b>						<b>43.344,00</b>

Tabla 40.- Gastos de administración

Descripción	Sueldo \$	Beneficios sociales \$	Costo mensual \$	Costo anual unitario \$	Cantidad	Total anual
Gerencia	2.000,00	1.200,00	3.200,00	38.400,00	1	38.400,00
Administrador	800,00	480,00	1.280,00	15.360,00	1	15.360,00
Personal	350,00	210,00	560,00	6.720,00	1	6.720,00
Contador	350,00	210,00	560,00	6.720,00	1	6.720,00
Auxiliar contabilidad	250,00	150,00	400,00	4.800,00	1	4.800,00
Vendedores	700,00	420,00	1.120,00	13.440,00	4	53.760,00
Varios			5.000,00	60.000,00	1	60.000,00
<b>Total</b>						<b>185.760,00</b>
Marketing			3.000,00	36.000,00	1	36.000,00
Soporte técnico	748,00	448,80	1.196,80	14.361,60	2	28.723,20
						64.723,20

Tabla 41.- Aportes de capital

DESCRIPCIÓN	% INVERSION	\$	Aporte Empresa	Aporte Banco
<b>Costos directos</b>				
Equipos ( Anodizado, tratamiento de aguas residuales)	51	1.458.900	324.000	1.134.900
Instalación de los equipos adquiridos	7	200.241	200.241	
Instrumentación y controles	1	28.606	28.606	
Cañerías y tuberías	4	114.424	114.424	
Instalaciones Electricas	4	114.424	114.424	
Obras civiles incluyendo servicios	4	114.424	114.424	
Mejoras del terreno	2	57.212	57.212	
Instalaciones de servicios	2	57.212	57.212	
Terreno	4	114.424		114.424
<b>Costo físico total</b>		<b>2.259.865</b>		
<b>Costos indirectos</b>				
Ingeniería y supervisión	5	143.029		143.029
Gastos de construcción	8	228.847		228.847
Honorario del contratista	2	57.212		57.212
Eventuales	6	171.635		171.635
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>2.860.588</b>	<b>1.010.541</b>	<b>1.850.047</b>

Tabla 42.- Financiamiento - Cuotas a pagar

<b>Capital (p)</b>	1.850.047
<b>Tasa (i)</b>	12,00%
<b>Periodos de Gracia (pg)</b>	0
<b>Periodos (n)</b>	8
<b>Fecha</b>	

<b>Nuevo Capital</b>	1.850.047
----------------------	-----------

$s ? p ? \lambda ? i ?^{ps}$

$? pago \{ tasa; n\_ periodos; ? capital \}$

<b>CUOTA R</b>	372.420
----------------	---------

$$R = \frac{P (1+i)^n i}{(1+i)^n - 1}$$

n= años  
i = 12% anual

1	2	3	4	5	6	7	8		

Nº		SALDO	INTERES	AMORTIZA	PAGO
1		1.850.047	222.006	150.414	372.420
2		1.699.633	203.956	168.464	372.420
3		1.531.169	183.740	188.679	372.420
4		1.342.490	161.099	211.321	372.420
5		1.131.169	135.740	236.679	372.420
6		894.489	107.339	265.081	372.420
7		629.408	75.529	296.891	372.420
8		332.518	39.902	332.518	372.420

De donde la cuota anual es de \$ 372.42

Para un período de 8 años a un interés de 12% anual

Se estima que la planta estará operativa al noveno mes de iniciada la construcción.

### 15.3 Estimación del costo de producción

El cuadro siguiente es el resumen de todos los factores comprendidos en el proceso de producción. Además se identifican los que son considerados como costo fijo y costo variable. Con los cuales determinaremos el capital de trabajo y el punto de equilibrio de la planta.

## COSTO DE FABRICACIÓN ESTIMADO

Producto: PERFILES ANODIZADOS  
 Base: Capacidad 1.465.333,24 m<sup>2</sup>

	<u>Costos fijos</u>	<u>Costos variables</u>
Materias Primas		489.914,38
Mano de Obra	105.907,20	
Supervisión de Operaciones	22.905,60	
Mantenimiento y reparaciones	114.423,53	
Suministros para la Operación	17.163,53	
Energía y servicios auxiliares		265.410,06
Regalias		
<b>Subtotal</b>	<b>260.399,86</b>	<b>755.324,44</b>
Costo directo de producción		<b>1.015.724,30</b>
Depreciación	149.322,71	
Alquiler	11.442,35	
Impuestos ( propiedad)	57.211,76	
Seguros	28.605,88	
<b>Subtotal</b>	<b>246.582,71</b>	<b>0,00</b>
Costos fijos de producción		<b>246.582,71</b>
Seguridad y protección	40.886,40	
Gastos de administración planta	36.921,60	
Embalaje	47.884,80	
Salvaguardia	30.000,00	
Laboratorios de control	10.590,72	
Superintendencia de planta	25.344,00	
Gastos varios	18.000,00	
<b>Subtotal</b>	<b>209.627,52</b>	<b>0,00</b>
Costos generales de planta		<b>209.627,52</b>
Gastos de administración	185.760,00	
Gastos de distribución y de marketing	36.000,00	
Investigación y Desarrollo	28.723,20	
Financiamiento	372.419,73	
<b>Subtotal</b>	<b>622.902,93</b>	<b>0,00</b>
Gastos generales		<b>622.902,93</b>
<b>Total</b>	<b>1.339.513,01</b>	<b>755.324,44</b>
Costos de fabricación		<b>2.094.837</b>

Capital de trabajo para cuatro meses

Capital de trabajo para cuatro meses	=	\$ 698.279
--------------------------------------	---	------------

Luego la inversión total es de:

<b>INVERSIÓN TOTAL DEL CAPITAL \$</b>	<b>3.558.867</b>
---------------------------------------	------------------

### 15.5 Análisis económico.

<b>ESTIMACION DE INGRESOS Y RETORNOS</b>			
Producto:	<u>PERFILES ANODIZADOS</u>	Precio de venta \$/m <sup>2</sup>	<u>2.00</u>
Base:	Capacidad <u>1.465.333,24 m<sup>2</sup></u>	Tasa de operación	<u>12.00</u>
		Tasa de mano de obra	<u>0.60</u>
Costos directos de la producción	<u>1.015.724,30</u>		
Gastos fijos	<u>246.582,71</u>		
Gastos generales de la planta	<u>209.627,52</u>		
<b>Costo de fabricación</b>		<u>1.471.934,52</u>	
Gastos de administración	<u>185.760,00</u>		
Gastos de distribución y de marketing	<u>36.000,00</u>		
Investigación y Desarrollo	<u>28.723,20</u>		
Financiación	<u>372.419,73</u>		
<b>Gastos generales</b>		<u>622.902,93</u>	
<b>Costo total del producto</b>			<u>2.094.837,45</u>
<b>Ingresos totales</b>			<u>2.930.666,48</u>
Inversión de capital fijo	<u>2.860.588</u>	Capital de trabajo	<u>698.279</u>
Inversión total de capital	<u>3.558.867</u>	Exactitud probable de la estimación	<u>10%</u>
Ganancias brutas antes de los impuestos	<u>835.829,03</u>	Ganancias netas después del 30% de impuestos	<u>585.080</u>
Retorno anual del capital antes de los impuestos		<u>23,49 %</u>	
Retorno anual del capital después de los impuestos	<u>30 %</u>	<u>16,44 %</u>	

<b>Aporte total de la empresa incluyendo el capital de trabajo</b>	<b>\$ 1.708.820</b>
--	---------------------

Rentabilidad neta anual

$$\frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Inversión total}} * 100 = 16,44 \%$$

Rentabilidad del capital aportado por la empresa

$$\frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Aporte empresa}} * 100 = 34,24 \%$$

Punto de equilibrio

$$\text{Costo total} = \text{Costo fijo} + \text{Costo variable}$$

Ecuación del costo

$$\text{Costo} = 1.339.513,01 + \frac{755.324,44 \$}{1.465.333 \text{ m}^2/\text{año}} * N \text{ m}^2$$

$$\text{Costo} = 1.339.513,01 + 0,52 \$/\text{m}^2/\text{año} * N \text{ m}^2$$

Ingresos

$$\text{Ingreso} = \text{Valor de venta } \$/\text{m}^2 * N$$

$$\text{Ingreso} = 2,00 \$/\text{m}^2 * N$$

En el punto de equilibrio:

$$\text{Costo} = \text{Ingresos}$$

$$1.339.513,01 + 0,52 \$/\text{m}^2/\text{año} * N \text{ m}^2 = 2 N$$

$$1.339.513,01 = 1,48 N$$

$$902.310,03 = N \text{ m}^2$$

Porcentaje de uso

$$\frac{N}{\text{Capacidad instalada}} * 100$$

$$\text{Porcentaje de uso} = 61,58 \%$$

Tabla 43.- Determinación del punto de equilibrio

m2	Ingresos	Costo total
0	0	1.339.513
500.000	1.000.000	1.597.244
900.000	1.800.000	1.803.429
1.200.000	2.400.000	1.958.068
2.000.000	4.000.000	2.370.438
2.500.000	5.000.000	2.628.169
3.000.000	6.000.000	2.885.901
4.000.000	8.000.000	3.401.363
5.000.000	10.000.000	3.916.826
6.000.000	12.000.000	4.432.288
7.000.000	14.000.000	4.947.751

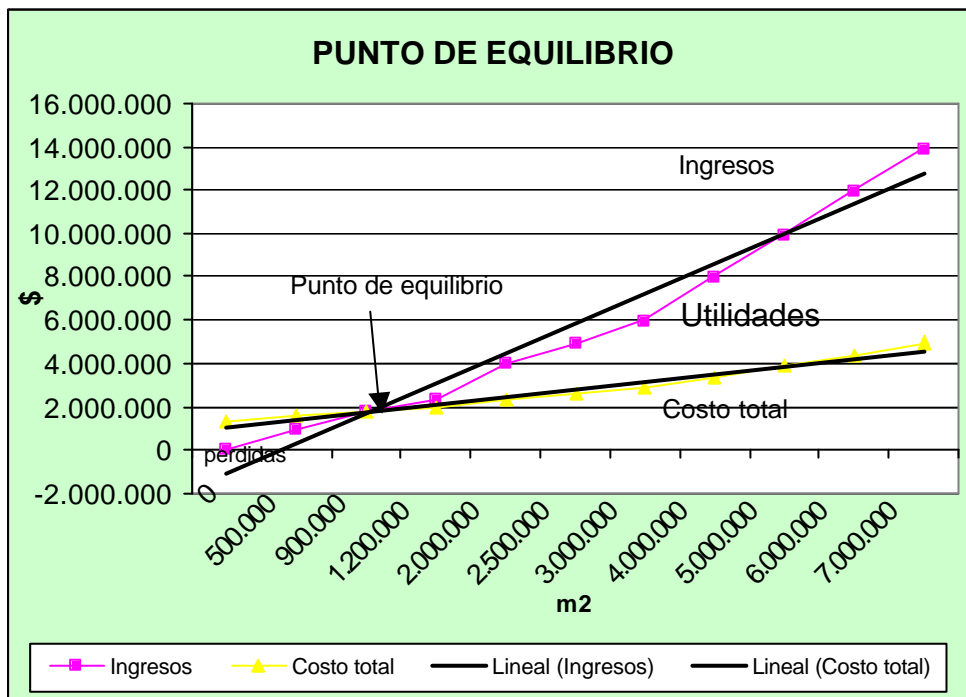


Fig 28.- Gráfica de ingresos y costos, punto de equilibrio.

## ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

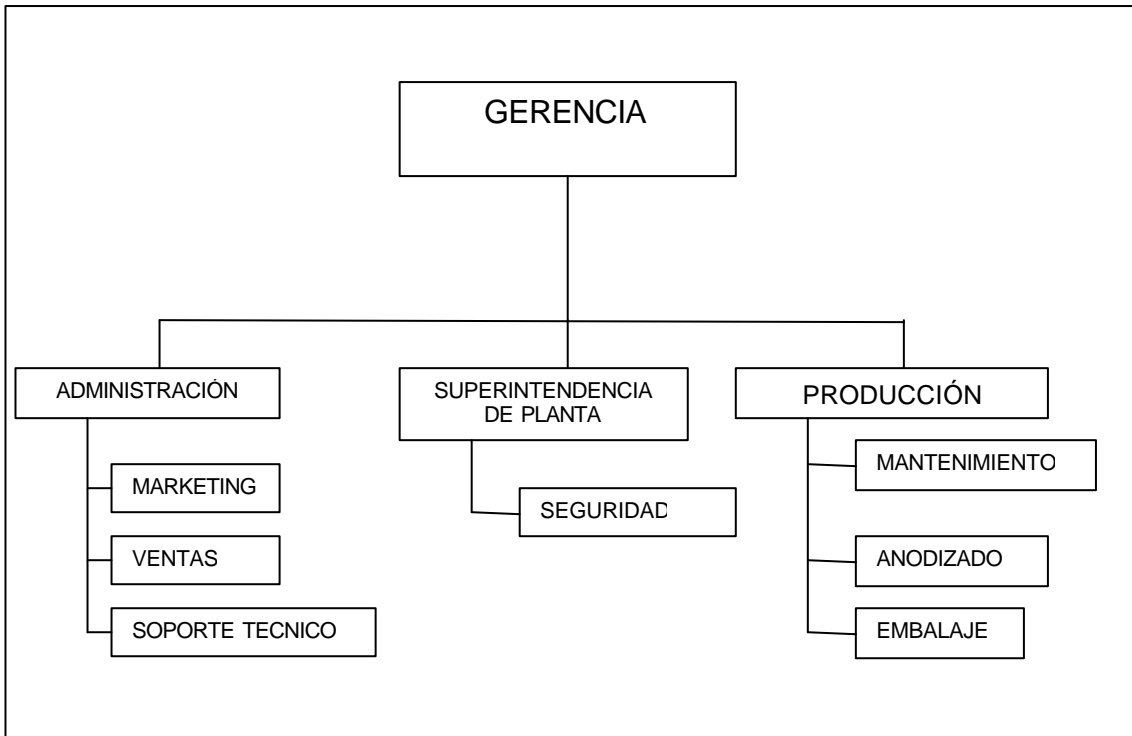


Fig 29.- Organigrama de la empresa

Presentamos el organigrama de la empresa la cual ofrece trabajo directo inicialmente a 65 personas. Como el porcentaje de uso esta en 61.58% tenemos capacidad para aumentar nuestra producción y abrir nuevos mercados principalmente los mercados externos. Además de la prestación de servicio de anodizado en acabado industrial y negro. Y esto traerá consigo el aumento de puestos de trabajo.

Para la determinación del personal se ha considerado lo siguiente:

- La eficiencia de la planta es mucho mayor cuando el trabajo es continuo, por eso se considera los horarios en el día y en la noche, dejando libre las horas punta por los motivos de costo de energía.

## 16. CONCLUSIONES

Del desarrollo del presente trabajo se puede concluir lo siguiente:

- a) Los factores que influyen en el anodizado debidamente controlados mediante; equipos modernos. Seleccionados adecuadamente, permiten maximizar el uso del mismo y aumentar la productividad.
- b) Estos controles permiten obtener productos con una capa homogénea y esto su vez permite una coloración uniforme.
- c) Como se menciona anteriormente el tratamiento previo de los perfiles es muy importante porque influye directamente en los insumos químicos que se utilizan en la preparación de la superficie.
- d) Al considerar la planta de tratamiento de aguas residuales dentro del proyecto estamos asegurando un lugar seguro para nuestro personal y la comunidad circundante. Además participamos activamente en la política de gobierno de preservar el medio ambiente.
- e) La planta satisface los requerimientos internos de la fábrica de Aluminios PFK incluyendo sus perspectivas de exportar perfiles anodizados en 21 pies de longitud, quedando un margen para prestar servicio a terceros.
- f) Vemos que por ser una planta electroquímica la mayor parte de la inversión está en los equipos, representando esto el 51% del capital fijo.
- g) Un manejo adecuado de los recursos genera significativos ahorros.
- h) Para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es muy importante la evaluación previa del proceso de anodizado y la minimización del consumo de agua en los enjuagues.
- i) En la evaluación económica del proyecto se ha considerado un precio de 2,00 \$/m<sup>2</sup> de perfil anodizado como promedio. Obteniendo una rentabilidad neta de 16,44 % mientras que la rentabilidad para los aportes de la empresa es de 34,24%.
- J) El punto de equilibrio está en 61,58%. Esto quiere decir que tenemos un margen para ampliar nuestra producción.
- k) En síntesis es económicamente factible la "INSTALACIÓN DE UNA PLANTA MODERNA DE ANODIZADO PARA PERFILES DE ALUMINIO".

## 17. RECOMENDACIONES

A continuación algunos temas que tenemos tener presente.

- a) El recubrimiento que ofrece mayor protección al aluminio es el Anodizado y este proceso es ecológico. Libre de emanaciones de solvente
- b) La limpieza en la preparación de la superficie es muy importante para obtener capas uniformes
- c) Para un acabado liso la preparación de la superficie debe ser realizada aplicando los tiempos determinados en cada proceso de tal forma que la producción sea homogénea.
- d) Los parámetros de anodizado son muy importantes mantenerlos los mas estable posible.
- e) Evitar la temperatura alta. Pues esta tiende a debilitar la capa de óxido debido a la acción del electrolito.
- f) Mantener las líneas de conducción de corriente debidamente aislados y asegurar que los empalmes no ofrezcan resistencias.
- g) Para reducir el consumo de insumos en todo el proceso es posible aplicar medios mecánicos para preparar la superficie del perfil, tales como el gratado.
- h) Para agilizar el secado de los perfiles deben ser inclinados ligeramente y abundante recirculación de aire en el interior del secador.
- i) En el tratamiento de aguas residuales es muy importante una reducción en el consumo de agua para los enjuagues. Por eso aplicamos los spray con agua fresca a los perfiles a la salida de los enjuagues.
- j) En el proceso de los perfiles tenemos que tener presente las perdidas de la soluciones por arrastre. Escurrir las soluciones un tiempo prudencial.
- k) Para el agua tratada que se utiliza en la preparación de las soluciones se escoge el método de osmosis inversa. Se utiliza inclusive hasta el agua de rechazo del equipo en los enjuagues alcalinos.
- l) En la determinación de la capacidad de una planta de anodizado esta como equipo crítico el rectificador. Dimensionar adecuadamente en función al área a procesar.
- m) Los accesorios y herramental que se utiliza en la fijación de los perfiles en el ánodo, deben asegurar muy buena conducción de corriente y evitar dejar huellas pronunciadas a los perfiles.
- n) Agitar los enjuagues para una limpieza optima en el interior de los perfiles tubulares.
- o) Consultar con el cliente el medio donde va ha ser usado el perfil y proporcionarle el recubrimiento apropiado.
- p) Para asegurar una duración prolongada de los perfiles anodizados es suficiente la limpieza frecuente con un paño humedecido con un jabón simple.

## 18. SEGURIDAD AMBIENTAL Y OCUPACIONAL

“Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.”

En el diseño de la planta se ha tomado en consideración el párrafo anterior que es parte de la Ley Nº 28611 Ley General del Ambiente.

Resaltando las siguientes acciones puntuales:

- ☒ Método adecuado de recubrimiento del aluminio.
- ☒ Orientación de la planta.
- ☒ Extractores localizados en los lados de las tinas que emanan gases con sus respectivos conductos y separadores de sólidos.
- ☒ Capacitación del personal para trabajar con las soluciones del proceso.
- ☒ Implementos de protección personal a todo el personal del área.
- ☒ Métodos de spray aplicados para reducir el consumo de agua en los enjuagues.
- ☒ Reducción del personal expuesto a los vapores de anodizado.
- ☒ Uso de equipos de Osmosis inversa para el tratamiento de agua que se utiliza en la preparación de las soluciones.
- ☒ Uso de aditivos como el eliminador de piedra que facilitan la limpieza de las tinas de proceso.
- ☒ Planta de tratamiento de aguas residuales donde se obtiene agua clarificada y lodos neutralizados.
- ☒ Distribución, señalización de los almacenes, equipos, servicios siguiendo las normas vigentes.

Es muy importante tener presente que la seguridad del personal siempre es primero por eso un programa de capacitación constante es fundamental tanto en el uso de los equipos de protección personal, propiedades y hojas de seguridad de los productos, insumos. Un rol de rotación de personal en diferentes puestos.

Por eso se dice que la seguridad depende de uno mismo.

## 19. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Arthur W Brace . The technology of Anodizing aluminium, Internall Srl Modena Italia. Tercera edición
- 2.- Robert H. Perry - Cecil H. Chilton, Biblioteca del ingeniero Químico. Ed McGRAW-Hill Mexico 1986 Quinta edición
- 3.- Max S Peters – Klaus D. Timmerhaus, Diseño de plantas y su evaluación económica Para Ingenieros Químicos. Ed. Geminis SRL Buenos aires 1978.
- 4.- Howard F. Rase – M.H. Barrow, Ingeniería de proyecto para plantas de proceso. Ed Continental Mexico 1973
- 5.- Donald Q kern., Procesos de transferencia de calor. Ed Continental Mexico 1986 décimo novena impresión
- 6.- W.F. Stoecker, Refrigeración y acondicionamiento de aire. Ed McGRAW-Hill Mexico 1981
- 7.- Eduardo Mendoza – Luís Villanueva, bombas hidráulicas Selección , operación mantenimiento Hidrostal Perú 1987
- 8.- Nicholas P. Chohey – Tyler G. Hicks, Manual de cálculos de ingeniería química Ed McGRAW-Hill Mexico 1984
- 9.- Leland T blanck, P.E. – Anthony tarquin P.E. Ed McGRAW-Hill Colombia 1985
- 10.- Wilfred W. Scott, Standard methods of chemical analysis. Ed Howell Furman 1939 USA.
- 11.- DIN 1725 Norma para aluminio y aleaciones de aluminio 1985
- 12.- UNE Norma española para aluminio y aleaciones de aluminio 1985
- 13.- Varios, Catálogos de los equipos y productos químicos utilizados
- 14.- Frank N Kemmer, Water: The universal Solvent. Nalco Chemical Company 1979 USA.
- 15.- Qualanod, Norma europea del anodizado 1994.
- 16.- Aluminium Standards and data 1979.

## 20. APENDICE

Tablas y datos de consulta en el proyecto realizado.

Tabla I .- Características de los tubos de hierro y acero

Diametro Nominal pulg	Interno mm	Externo mm	Espesor	Sección normal interna cm <sup>2</sup>	Peso unitario kg/m
1/8	6,8	10,3	1,75	0,36	0,35
1/4	9,2	13,7	2,25	0,66	0,65
3/8	12,5	17,5	2,5	1,23	0,85
1/2	15,7	21,3	2,8	1,94	1,3
3/4	20,8	26,6	2,9	3,40	1,7
1	26,7	33,4	3,35	5,60	2,5
1 1/4	35	42,1	3,55	9,62	3,3
1 1/2	40,9	48,3	3,7	13,14	4
2	52,5	60,3	3,9	21,65	5,4
2 1/2	62,8	73	5,1	30,97	8,4
3	77,9	88,9	5,5	47,66	11,3
3 1/2	90,2	101,6	5,7	63,90	13,6
4	102,3	114,3	6	82,19	16
5	128,3	141,3	6,5	129,28	21,8
6	154,2	168,4	7,1	186,75	28,3

Fuente: Eduardo Mendoza – Luís Villanueva, bombas hidráulicas Selección, operación mantenimiento Hidrostral Perú.

Tabla II .- Viscosidad( kg/m. s) Soluciones de ácido sulfúrico: Temperatura (°C)

Wt. %	-12	0	10	15	21	25	32	43	54	66	99
0	0,002	0,002	0,001		0,001		0,001	0,001	0	0	0
5	0,0025	0,002	0,001		0,001		0,001	0,001	0	0	0
10	0,003	0,002	0,001		0,001		0,001	0,001	0	0	0
15	0,003	0,002	0,001		0,001		0,001	0,001	0	0	0
20	0,0035	0,0025	0,002	0,00175	0,0015	0,00125	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005
25	0,004	0,003	0,002		0,0015		0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005
30	0,0045	0,0035	0,0025		0,002		0,0015	0,0015	0,001	0,001	0,001
35	0,005	0,004	0,003		0,0025		0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
40	0,006	0,005	0,0035		0,003		0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
45	0,007	0,0058	0,004		0,003		0,0025	0,002	0,0015	0,0015	0,001
50	0,009	0,007	0,005		0,004		0,003	0,002	0,002	0,0015	0,001
55	0,011	0,008	0,006		0,005		0,0035	0,003	0,002	0,002	0,001
60	0,014	0,011	0,008		0,006		0,0045	0,0035	0,003	0,0025	0,0015
65	0,018	0,014	0,011		0,007		0,006	0,0045	0,0035	0,003	0,002
70	0,027	0,02	0,014		0,01		0,008	0,006	0,005	0,004	0,002
75	0,042	0,03	0,02		0,014		0,01	0,008	0,0065	0,005	0,0025
80	0,06	0,043	0,03		0,02		0,014	0,01	0,008	0,006	0,003
85	0,066	0,047	0,043		0,025		0,0165	0,0125	0,009	0,007	0,0035
90	0,073	0,047	0,039		0,024		0,016	0,012	0,009	0,007	0,0035
95	0,071	0,045	0,034		0,022		0,015	0,0115	0,009	0,007	0,004
100	0,08	0,055	0,043		0,027		0,019	0,014	0,01	0,008	0,004

Fuente: Tabla convertida a unidades SI Aluminios PFK

Tabla III .- Densidad del ácido Sulfúrico Kg/m<sup>3</sup>

%	°C				
	10	15	20	25	30
15	1.106,90	1.104,50	1.102,00	1.099,40	1.096,80
16	1.114,50	1.112,00	1.109,40	1.106,70	1.104,00
17	1.122,10	1.119,50	1.116,80	1.114,10	1.111,30
18	1.129,80	1.127,10	1.124,30	1.121,50	1.118,70
19	1.137,50	1.134,70	1.131,80	1.139,00	1.126,10
20	1.145,30	1.142,40	1.139,40	1.136,50	1.133,50

Fuente: Resumen Aluminios PFK

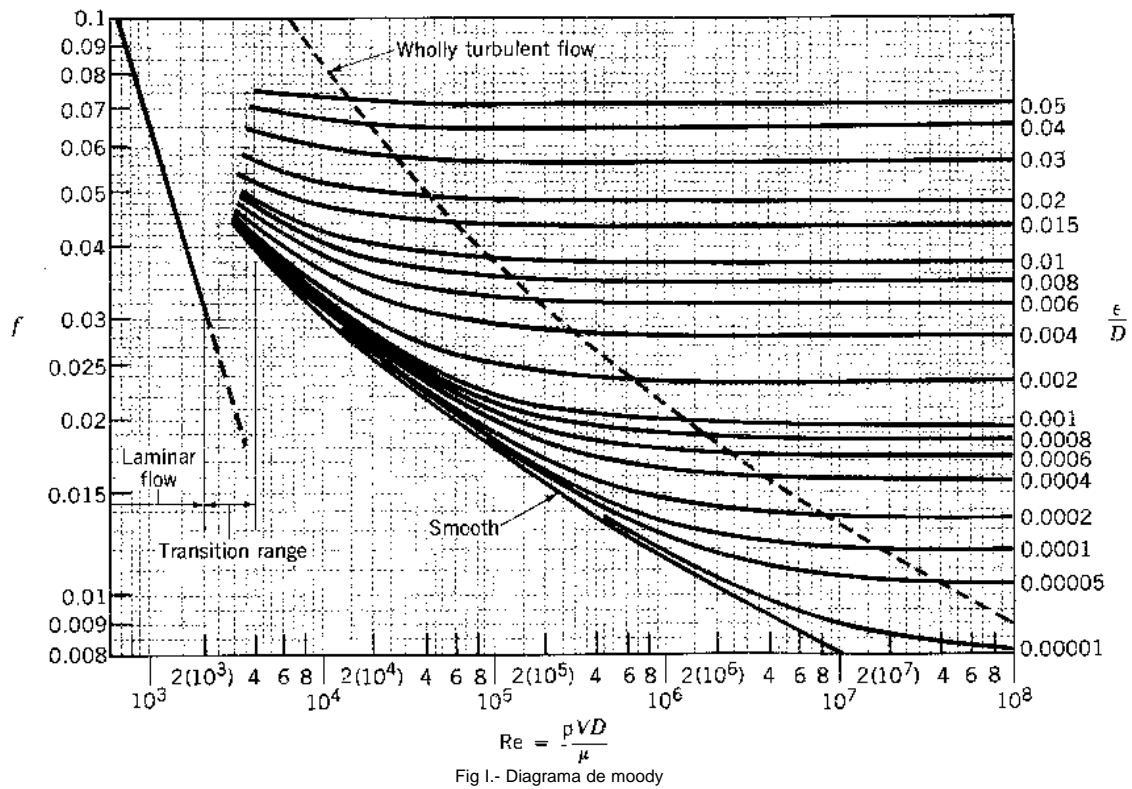
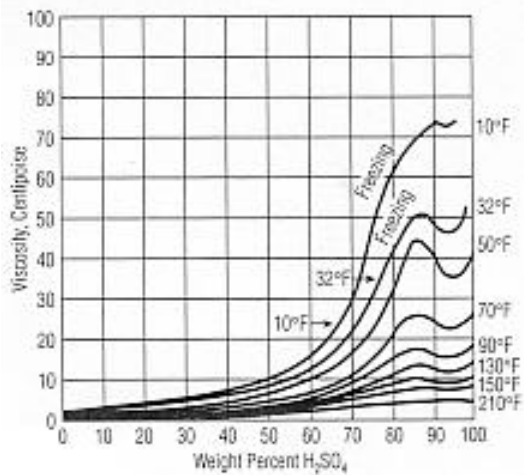


Fig I.- Diagrama de moody

Viscosity, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



Fuente:

- (1) Bright, et al. J. Soc. of Chem. Ind. 65, 385 (1946)
- (2) I.C.T., Vol. 5, 11-13, McGraw-Hill Book Co., N.Y. (1929)
- (3) Z. Physik, Chem. Neue Folge, 3, 52-64 (1955)

Fig II.- Viscosidad de soluciones de ácido sulfúrico

Tabla IV.- Disoluciones típicas de ácido sulfúrico

**Typical dilutions, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with water both at 80°F**

Initial strength	Final strength		Specific gravity (60°/60°F)	Final temperature (°F)	Heat to be removed in cooling (Btu per lb diluted acid)		
	Degrees Baumé	Percent			Final temperature		
					80°F	110°F	140°F
66° Bé	60°	77.67	1.7059	244	79.1	64.5	51.8
	55°	69.65	1.6111	266	94.0	80.0	65.4
	50°	62.18	1.5263	268	101.3	85.3	70.0
	45°	55.07	1.4500	255	101.5	84.3	67.7
	40°	48.10	1.3810	234	97.9	81.0	61.2
	35°	41.27	1.3182	213	90.5	70.5	49.5
	30°	34.36	1.2609	190	81.2	59.2	37.5
98%' 98%	66°	93.19	1.8354	180	40	28.5	19.0
	60°	77.67	1.7059	310	112.5	97.5	84.0
	55°	69.65	1.6111	322	124.5	109.2	94.5
	50°	62.18	1.5263	287 (boils)	112.5	96.4	81.5

Tabla V.- Propiedades físicas de soluciones de ácido sulfúrico

**Physical property data**

Specific gravity, boiling points, freezing points, sulfuric acid					
Degrees Baumé	Specific gravity 60°/60°F	Percent sulfuric acid H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Weight of 1 gal. in lbs. av.	Normal boiling point °F	Freezing (melting) point °F
0	1.0000	0.00	8.337	212.0	32.0
1	1.0069	1.02	8.395	212.2	31.3
2	1.0140	2.08	8.454	212.5	30.5
3	1.0211	3.13	8.513	212.8	29.7
4	1.0284	4.21	8.574	213.1	28.9
5	1.0357	5.28	8.635	213.4	28.0
6	1.0432	6.37	8.697	213.7	27.0

7	1.0507	7.45	8.760	214.0	25.8
8	1.0584	8.55	8.824	214.3	24.6
9	1.0662	9.66	8.889	214.7	23.5
10	1.0741	10.77	8.955	215.1	22.3
11	1.0821	11.89	9.021	215.5	21.0
12	1.0902	13.01	9.089	215.9	19.4
13	1.0985	14.13	9.158	216.3	17.7
14	1.1069	15.25	9.228	216.8	16.3
15	1.1154	16.38	9.299	217.3	14.0
16	1.1240	17.53	9.371	217.8	12.0
17	1.1328	18.71	9.444	218.4	9.9
18	1.1417	19.89	9.518	219.0	7.5
19	1.1508	21.07	9.594	219.7	4.4
20	1.1600	22.25	9.671	220.4	+1.0
21	1.1694	23.43	9.750	221.1	-2.5
22	1.1789	24.61	9.828	221.8	-6.5
23	1.1885	25.81	9.909	222.5	-11.1
24	1.1983	27.03	9.90	223.3	-16.0
25	1.2083	28.28	10.074	224.2	-21.9
26	1.2185	29.53	10.159	225.2	-28.0
27	1.2288	30.79	10.246	226.3	-35.6
28	1.2393	32.05	10.332	227.4	-44.3
29	1.2500	33.33	10.421	228.6	-55.3
30	1.2609	34.63	10.512	230.0	-69.5
31	1.2719	35.93	10.604	231.6	-78.7
32	1.2832	37.26	10.698	233.2	-75.2
33	1.2946	38.58	10.793	234.8	-72.0
34	1.3063	39.92	10.891	236.5	-69.3
35	1.3182	41.27	10.990	238.3	-66.5
36	1.3303	42.63	11.091	240.3	-44.5
37	1.3426	43.99	11.193	242.4	-57.0
38	1.3551	45.35	11.297	244.7	-50.6
39	1.3679	46.72	11.404	247.4	-44.0
40	1.3810	48.10	11.513	250.1	-38.2
41	1.3942	49.47	11.623	253.0	-33.0
42	1.4078	50.87	11.737	256.2	-28.6
43	1.4216	52.26	11.852	259.6	-25.5
44	1.4356	53.66	11.969	263.4	-22.8
45	1.4500	55.07	12.089	267.4	-20.9
46	1.4646	56.48	12.210	271.6	-19.3
47	1.4796	57.90	12.335	276.4	-19.1
48	1.4948	59.32	12.462	281.2	-19.8
49	1.5104	60.75	12.592	286.5	-22.0
50	1.5263	62.18	12.725	292.0	-25.4
51	1.5426	63.66	12.861	298.0	-29.6
52	1.5591	65.13	12.998	304.0	-34.2
53	1.5761	66.63	13.140	311.0	-36.0
54	1.5934	68.13	13.284	318.5	-39.5
55	1.6111	69.65	13.432	326.5	-45.0
56	1.6292	71.17	13.583	335.0	-40.8
57	1.6477	72.75	13.737	345.3	-39.4
58	1.6667	74.36	13.895	355.5	-28.4
59	1.6860	75.99	14.056	367.4	-9.0
60	1.7059	77.67	14.222	379.5	+11.5
61	1.7262	79.43	14.391	393.0	29.3
62	1.7470	81.30	14.565	407.5	39.5
63	1.7683	83.34	14.742	425.8	45.6
64	1.7901	85.66	14.924	447.2	44.8
64 1/4	1.7957	86.33	14.971	453.5	42.9
64 1/2	1.8012	87.04	15.017	460.5	40.0
64 3/4	1.8068	87.81	15.063	468.3	36.0

65	1.8125	88.65	15.111	477	31.2
65 1/4	1.8182	89.55	15.158	486	24.5
65 1/2	1.8239	90.60	15.206	498	15.0
65 3/4	1.8297	91.80	15.254	515	+2.5
66	1.8354	93.19	15.302	535	-21.0
	1.8373	93.77	15.318	545	-30.8
	1.8381	94.00	15.324	548	-28.0
	1.8407	95.00	15.346	566	-8.0
	1.8427	96.00	15.363	586	+7.0
	1.8437	97.00	15.371	606	19.5
	1.8437	98.00	15.371	621	30.0
	1.8424	99.00	15.360	590	41.0
	1.8391	100.00	15.333	526	51.7

Baumé = 145 - (145/sp.gr.)

Note: Data shown in tables compiled from various sources including:

- ?? Manufacturing Chemists Association, Manual Sheets T-7 (1904) and T-7A (1938).
- ?? Gable, Betz and Maron, J.A.C.S., 72, 1445-1448 (1950).
- ?? Engineering Department, General Chemical Division, Allied Chemical Corporation.

At 10° Bé, 0.029°

At 20° Bé, 0.036°

At 30° Bé, 0.035°

At 40° Bé, 0.031°

At 50° Bé, 0.028°

At 60° Bé, 0.026°

At 66° Bé, 0.0235°

Allowance for Temperature

Bé or 0.00023 sp.gr. = 1°F

Bé or 0.00034 sp.gr. = 1°F

Bé or 0.00039 sp.gr. = 1°F

Bé or 0.00041 sp.gr. = 1°F

Bé or 0.00045 sp.gr. = 1°F

Bé or 0.00053 sp.gr. = 1°F

Bé or 0.00054 sp.gr. = 1°F

Note: Since sulfuric acid above 93% may have same specific gravity at different concentrations, a direct analysis of acid strength is recommended.

At 94% 0.00054 sp.gr. = 1°F

At 96% 0.00053 sp.gr. = 1°F

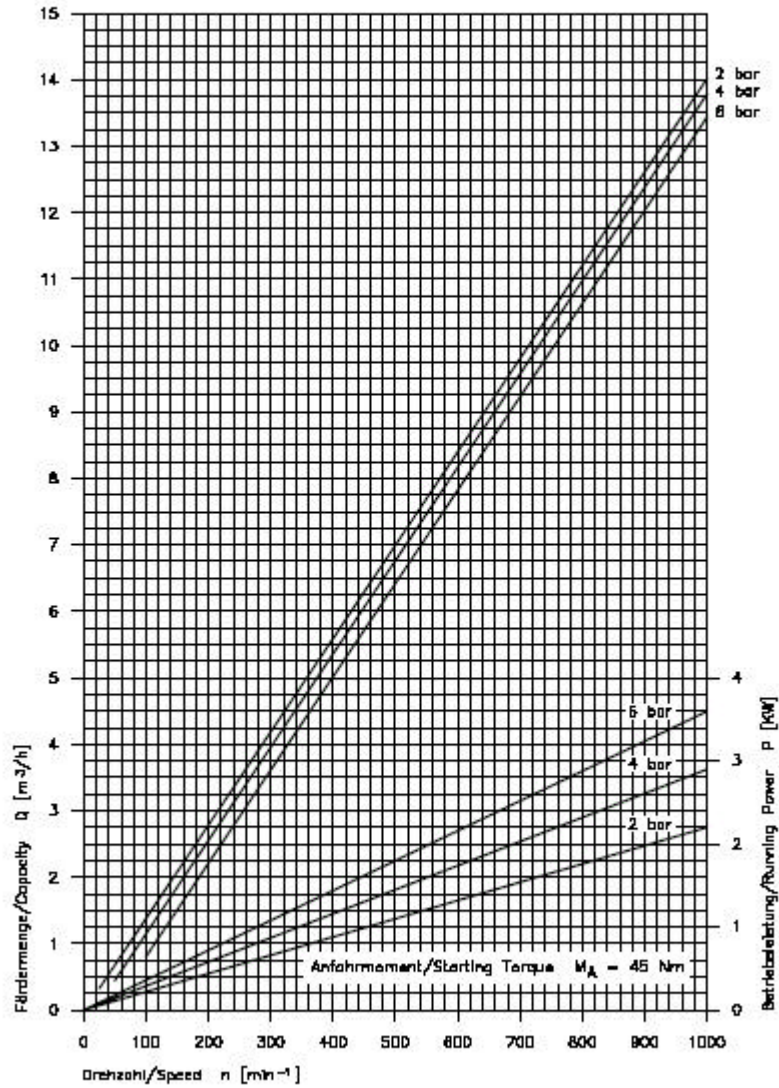
At 97.5% 0.00052 sp.gr. = 1°F

At 100% 0.00052 sp.gr. = 1°F

**seepex.**



Kennlinien/Characteristic Curves  
Baugröße/Size  
5-6L



Werte bezogen auf Wasser 20°C ; Hinweise zur Antriebsauslegung siehe PER  
Values based upon water 20°C ; For notes on drive selection refer to PER

CHAS-BL A 11.83d/a

Fig III.- Diagrama para bombas de cavidades progresivas (para lodos)

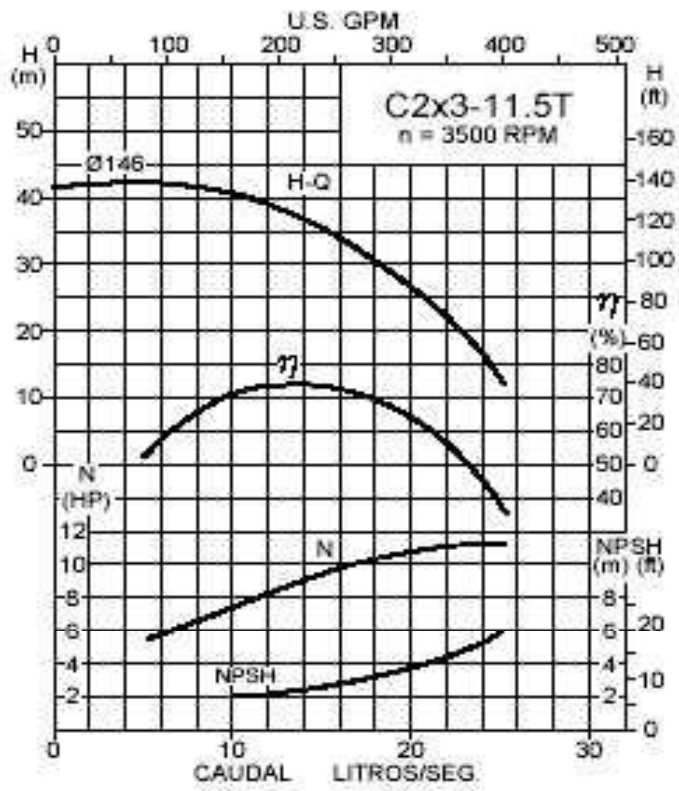


Fig.IV.- Diagrama bomba centrifuga  
 Curva en condiciones normales de  
 agua limpia a 20°C. Norma ISO 2548