

# Diseño, construcción e implementación de un prototipo de planta de anodizado natural de aluminio, con SCADA para el laboratorio de pruebas en la empresa CEDAL S.A.

Ing. Freddy Salazar – Director, Ing. Félix Manjarrés – Codirector, Chacha M. Pamela y Caiza M. Raúl  
fsalazar500@hotmail.com , javier.manjarres@gmail.com, pamemarce8917@gmail.com, caizan@yahoo.es  
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas EPE  
Extensión Latacunga.

## RESUMEN

En la Corporación Ecuatoriana de Aluminio S.A. (CEDAL S.A.), se ha puesto en marcha el desarrollo de un laboratorio para realizar pruebas generales de todas las áreas, con el fin de practicar el mejoramiento de los procesos y es ahí donde se ve la necesidad de realizar un prototipo de planta de anodizado natural el mismo que servirá como tema de tesis para la obtención del título de ingeniero en mecatrónica, y se lo ha denominado con el tema **“Diseño, construcción e implementación de un prototipo de planta de anodizado natural de aluminio, con SCADA para el laboratorio de pruebas en la empresa CEDAL S.A”**. Este prototipo contará con un sistema automatizado, el cual controlará el nivel de líquidos en las denominadas cubas, temperaturas de cada uno de las sustancias, corriente y voltaje en el proceso de anodizado natural, pH en la cuba de sellado, control automático de la grúa, implementado para el transporte consecutivo de las diferentes cubas en orden ascendente, mismos que serán monitoreados y guardados en un ordenador, en donde estará desarrollado el sistema SCADA en el software de National Instrument (LabVIEW 2012). Este proyecto se elaboró para realizar pruebas de sustancias y cargas a temperaturas configuradas según las normas intrínsecas de la empresa para mantener el estándar, tabulando resultados de corrientes y tiempos que son el factor principal para dar el número de micras en función de las dimensiones (parámetros de diseño) adecuadas a la probeta de aluminio introducidas en el proceso. Con esto se permite el crecimiento del laboratorio de pruebas y de CEDAL S.A, logrando obtener en los perfiles una mayor variedad, mejor calidad en los acabados; y el aumento de las ganancias en la empresa.

## Palabras Claves:

- ALUMINIO
- ANODIZADO NATURAL
- CORPORACIÓN ECUATORIANA DE ALUMINIO
- SISTEMAS SCADA.

## ABSTRACT

In the Ecuadorian Corporation of Aluminun S.A. (CEDAL SA) has launched the development of a laboratory for general testing of all areas, in order to practice process improvement and that's where we see the need to performing a prototype of naturally anodized plant it will serve as a thesis subject for obtaining an engineering degree in mechatronics, and has called on the theme "Design, construction and implementation of a prototype plant of natural anodized aluminum, with SCADA for the Laboratory tests CEDAL SA company." This prototype will have an automated system, which control the level of liquids in tanks, temperatures of each of the substances, current and voltage in the process of natural anodized, pH in the sealing tank, automatic control of the crane implemented for the consecutive transport of the different tanks in ascending order them to be monitored and stored on a computer, where the SCADA system will be developed in National Instruments software (LabVIEW 2012). This project was developed for test of substances and charges at set temperatures according to intrinsic rules of the company to maintain the standard, tabulating currents results and times that are the main factor to give the number of microns depending on the dimensions (parameters design) appropriate to the aluminum coupon introduced in the process.

With this allows growth of testing lab and of CEDAL SA, obtaining in the profiles greater variety, better quality in the finishes; and increased earnings in the company.

**KEYWORDS:**

- ALUMINUM - NATURAL ANODIZED.
- ECUATORIAN CORPORATION OF ALUMINUM.
- SCADA SYSTEM.

**I. INTRODUCCIÓN**

En el laboratorio de ensayos y pruebas de la Empresa CEDAL S.A. solo se realizan pruebas de mezclas y combinaciones con componentes químicos, pero no se realizan pruebas concernientes al proceso, como variación de corriente, variación de voltaje, variación de tiempos de inmersión, rangos de temperatura, etc.

Para solucionar este problema, se plantea diseñar, construir e implementar un prototipo de anodizado natural con sistema SCADA, que permitirá a la empresa realizar pruebas en perfiles de aluminio, sin necesidad de realizar dichas pruebas en la planta de anodizado real existente.

El proyecto consiste en implementar un prototipo de la Planta de Anodizado Natural existente y que se encuentra en funcionamiento en la empresa CEDAL, con la finalidad de que en este prototipo se puedan realizar las pruebas previas o realizar mejoras para el mencionado proceso, y a su vez tendrá un sistema SCADA para el control y supervisión de los procesos en el prototipo.

Las etapas para el proceso de anodizado natural son:

- Desengrase
- Enjuague desengrase
- Decapado
- Enjuague decapado
- Soda Cáustica
- Enjuague soda cáustica
- Neutralizado
- Enjuague neutralizado
- Natural
- Enjuague natural
- Sellado
- Enjuague sellado

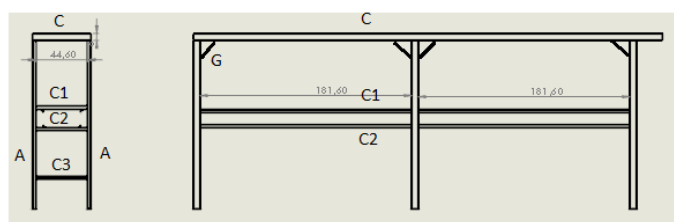
**II. DESARROLLO**

Se describe a continuación las etapas de la elaboración de la tesis:

**A. SISTEMA MECÁNICO**

Dentro del sistema mecánico se considera la estructura aporticada, el puente grúa, cadena-catalina y rodamientos.

Se establece un esquema general que representa los elementos para el diseño de pórtico industrial.



**Figura 11 Esquema general de la estructura aporticada tipo puente grúa**

Dónde:

- A: es la columna primaria (6 columnas)
- C, C1, C2, C3: traveses de conexión con las vigas
- C: viga de carga y viga carrilera (puente grúa)
- C1 (cantidad 2): vigas guías (no soportan cargas axiales y laterales)
- C2 (cantidad 2): vigas de carga y vigas de apoyo (apoyo de cubas)
- C3 (cantidad 3): vigas de carga y vigas de apoyo (apoyo de bombas e intercambiadores)
- G: ménsula de sujeción de la viga carrilera (8)

La tabla I muestra las características de la estructura de la planta prototipo de anodizado natural, la misma que se detalla a continuación.

**Tabla I**  
**Características de la estructura aporticada**

ESTRUCTURA APORTICADA	
Ítem	Características
Capacidad del puente grúa	25kg
Tipo de pórtico	Sección constante
Luz del pórtico	44.6 cm
Ancho entre pórticos	181.6 cm
Número de pórticos	2
Perfiles para columnas y vigas	Acero ASTM A36 correa tipo G (60x30x10x3 )
Material de aporte	E6010

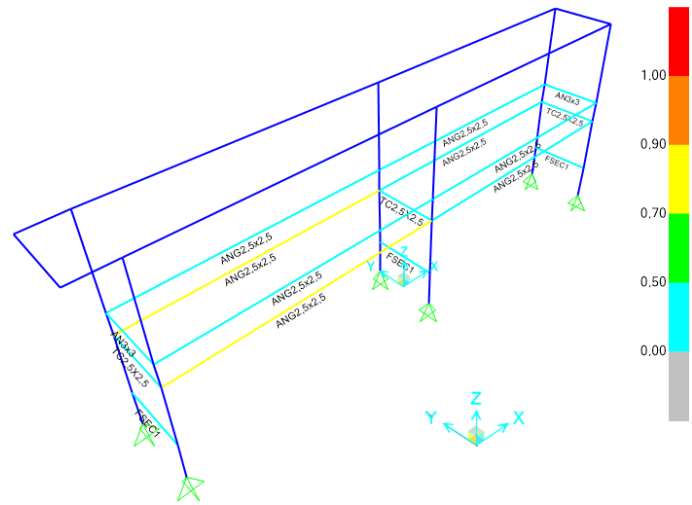
En la tabla II se describe el tipo de carga y valor de las cargas vivas y muertas presentes en el pórtico y puente grúa, datos que servirán para el cálculo del factor de seguridad en cada perfil utilizado.

**Tabla II**  
**Cargas actuantes para el diseño del puente grúa**

CARGAS DE DISEÑO DEL PÓRTICO INDUSTRIAL TIPO PUENTE GRÚA		
CARGAS EN EL PÓRTICO		
TIPO DE CARGA	SIMBOLOGÍA	N
Carga de peso propio	$W_{pp}$	595.28
Carga muerta total	D	773.864
Carga viva de cubierta	$L_r$	3136
Carga de sismo	$W_{ss}$	0.00
CARGAS EN EL PUENTE GRÚA		
TIPO DE CARGA	SIMBOLOGÍA	N
Carga de operación	$C_n$	28.175 N
Impacto vertical	$C_i$	2.82 N
Carga vertical de diseño para la viga carrilera (máx)	$C_{vs}$	226.07N
Carga de impacto en los fines de carrera	$C_{bs}$	294

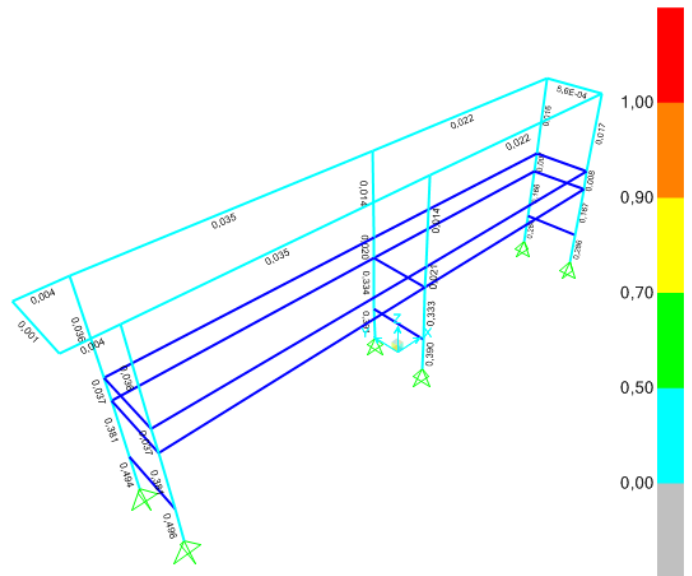
Considerando que SAP2000 interpreta por separado los resultados de porcentajes en perfiles de acero

laminados en frío y en caliente. En la siguiente figura se visualiza el rango de porcentajes de trabajo en los perfiles laminados en caliente.



**Figura 1 Visualización de porcentajes de trabajo en cada perfil de la estructura aporticada - Programa SAP2000**

En la siguiente figura se visualiza el rango de porcentajes de trabajo en los perfiles laminados en frío (correas G).



**Figura 2 Visualización de porcentajes de trabajo en cada perfil de la estructura aporticada - Programa SAP2000**

Los cálculos realizados en los perfiles de la estructura aporticada y el puente grúa arrojan los siguientes resultados:

Factor de seguridad en los perfiles superiores, tomando en consideración la presencia de cargas vivas (personas que realicen el respectivo mantenimiento):

$$n = \frac{6.30}{4.33} = 1.45$$

Factor de seguridad en los ángulos apoyos de las cubas:

$$n = \frac{0.5}{0.287} = 1.74 = 2$$

Factor de seguridad en la viga carrilera:

$$n = \frac{6.30}{0.155} = 40.7$$

El factor de seguridad es muy alto debido al elemento G escogido para la estructura, por estética y por costo (longitud mínima del elemento) se utiliza el mismo, además por facilidad de ensamble de la viga carrilera con la estructura aporticada.

Para una placa de acero ASTM A36 (120x90 mm), se debe escoger dicha placa con un espesor de 10mm.

En base a la relación de transmisión entre los ejes motriz y accionado del motor se establece el uso de una cadena de moto, medida 428, material: acero aleado.

Se utilizará un piñón de diámetro exterior 30mm y 6 dientes, debido a que se consideró que los dientes del piñón calcen en los eslabones de la cadena, tomando en cuenta la cara, flanco y fondo del diente.

Debido a las revoluciones del motor utilizado y a la duración nominal se escogió un rodamiento rígido de bolas 6303.

## B. DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

El diseño eléctrico electrónico consta de: Rectificador de onda completa, para la obtención de la corriente y voltaje rectificado hacia la cuba de anodizado natural.



**Figura 3 Rectificador de onda completa**  
Fuente: Empresa CEDAL S.A.

La selección de sensores para el proceso de anodizado se basó principalmente en el material de envoltura de cada elemento puesto que estarán sometidos a un ambiente de gases corrosivos, además se toma en consideración el costo mínimo. Los siguientes sensores forman parte del sistema electrónico:

### Finales de carrera

### Dos Sensores inductivos de 20mm de alcance

### Termocuplas tipo J

### Flotadores magnéticos plásticos

### Sensor de efecto hall

### PH-metro

Además se seleccionó fuentes de 24 VDC de acuerdo a la carga a aplicar para la alimentación del puente grúa y la alimentación del PLC y los relés.

## C. CONTROL

Para el control de la planta prototipo de anodizado natural se utilizó el PLC SIEMENS S7-1200, por su flexibilidad y capacidad de controlar una gran cantidad y variedad de elementos para la automatización de dicha planta, además se utilizó un cable RJ45 cruzado para la comunicación PLC-PC (puerto ethernet).

Los paquetes utilizados para el control del proceso fueron:

### TIA PORTAL V11

### LabVIEW 2012

### MICROSOFT ACCES

## III. PROCEDIMIENTO

### A. Implementación del sistema mecánico.

El sistema mecánico del prototipo de planta de anodizado natural considera de los siguientes aspectos:

- Ubicación de las cubas en la estructura.
- Montaje de la grúa.
- Instalación del sistema de tuberías, desagües y bombas.
- Instalación de los intercambiadores en las cubas correspondientes.
- Montaje del rack en la cuba de anodizado.



Figura 4 Cubas ubicadas en la estructura

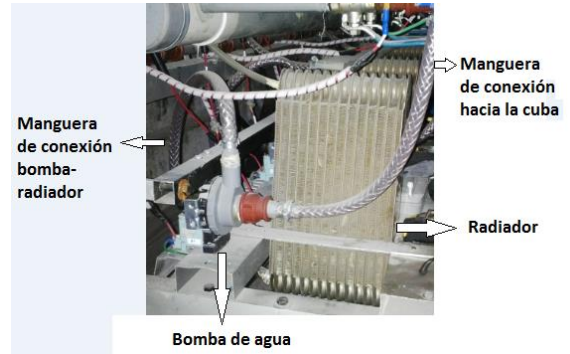


Figura 7 Intercambiador

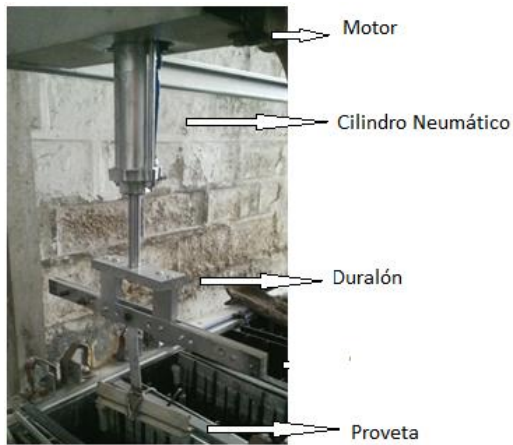


Figura 5 Grúa

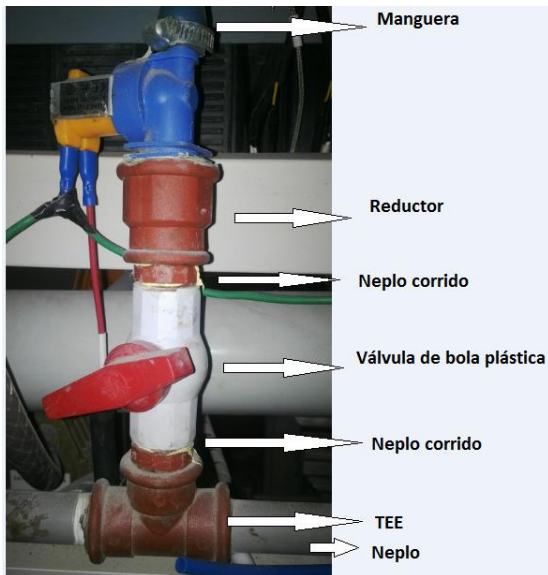


Figura 6 Tubería de agua

## B. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

La implementación del sistema eléctrico-electrónico se ha dividido de la siguiente manera:

- Alimentación principal.
- Cableado de tablero de control.
- Cableado de sensores y actuadores.

## C. CONTROL

A continuación se describe el monitoreo y control en cada una de las doce cubas del proceso de anodizado.

### 1. Cuba Desengrase

#### Elementos

- Intercambiador
- Resistencia 1200W/110V (7 min)

#### Control

- Nivel
- Temperatura

### 2. Cuba Enjuague de desengrase

#### Inyección de aire

#### Control

- Nivel

### 3. Cuba Decapado

#### Elementos

- Intercambiador
- Resistencia 1500W/110V (5 min)

#### Inyección de aire

#### Control

- Nivel
- Temperatura

### 4. Cuba Enjuague de decapado

#### Inyección de aire

#### Control

- Nivel

### 5. Cuba Soda cáustica

#### Elementos

- Resistencia 1500W/110V (5 min)

**Control**

- Nivel
- Temperatura

**6. Cuba Enjuague soda cáustica**

**Inyección de aire**

**Control**

- Nivel

**7. Cuba Neutralizado**

**Elementos**

- Intercambiador 1500W/110V (5 min)

**Inyección de aire**

**Control**

- Nivel

**Monitoreo**

- Temperatura

**8. Cuba Enjuague de neutralizado**

**Inyección de aire**

**Monitoreo**

- Nivel
- Temperatura

**9. Cuba Anodizado**

**Elementos**

- Intercambiador 1500W/110V (5 min)

**Control**

- Nivel
- Temperatura

**10. Cuba Enjuague de anodizado**

**Inyección de aire**

**Control**

- Nivel

**11. Cuba Sellado**

**Elementos**

- Intercambiador
- Resistencia 1500W/110V (5 min)

**Control**

- Nivel
- Temperatura

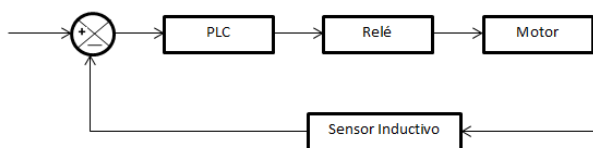
**Monitoreo**

- PH

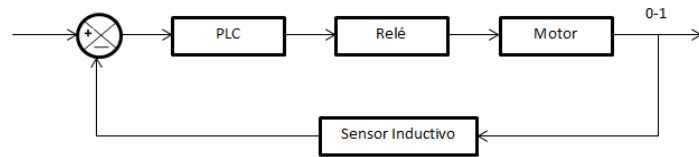
**12. Cuba Enjuague de sellado**

**Control**

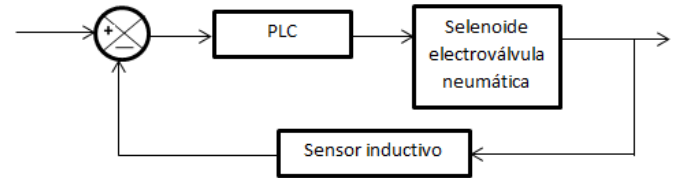
- 13. Nivel



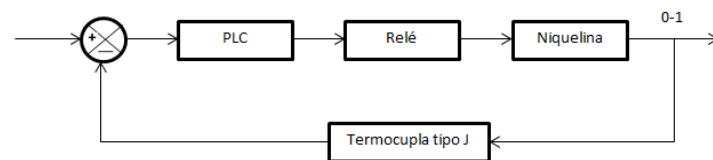
**Figura 8 Diagrama control de posición del cilindro**



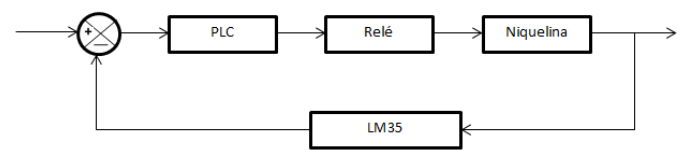
**Figura 9 Diagrama control de posición (adelante-atrás) de la grúa**



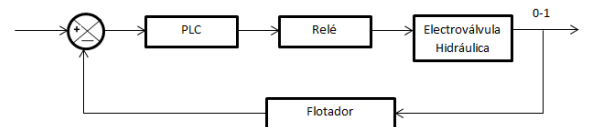
**Figura 10 Diagrama control de posición (arriba-abajo) de la grúa**



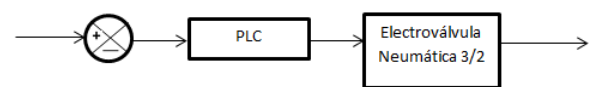
**Figura 11 Diseño de control de temperatura termocupla tipo J**



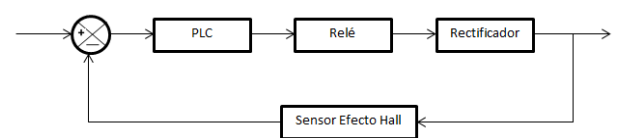
**Figura 12 Diseño de control de temperatura LM35**



**Figura 13 Diagrama de control de nivel**



**Figura 14 Diagrama de control de nivel electroválvula neumática 3/2**



**Figura 15 Diagrama de control de corriente**

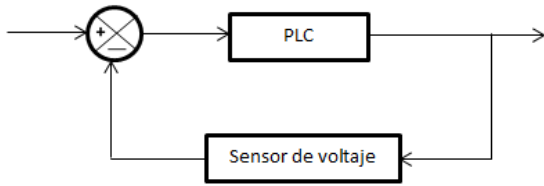


Figura 16 Diagrama de control de voltaje

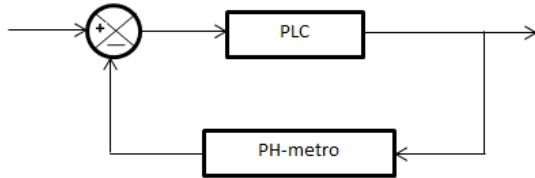


Figura 17 Diagrama de control de ph

#### IV. PRUEBAS

Tabla III Tabla de referencias para anodizar

I (corriente)	u (micras)	$t_p$ (tiempo promedio) min
1.5-2.5	10	22
	15	48
	20	63
2.5-3.5	10	20,33
	15	30,66
	20	41
3.5-4.5	10	14,7
	15	22,3
	20	30

#### Pruebas de obtención de señales EMG.

Se ingresa por teclado:

- Referencia del perfil.
- Perímetro del perfil.

El proceso de cálculos para 10 micras se realiza dentro del PLC, y de inmediato aparece en pantalla principal del SCADA los datos de temperatura y en el proceso de anodizado los datos de corriente, área y tiempo (figura 18).

#### Pantalla principal SCADA



Figura 18 Pantalla principal del sistema de monitoreo y de adquisición de datos SCADA

El proceso completo en las doce cubas se muestra en el HMI, donde se puede visualizar el sistema en funcionamiento en tiempo real.

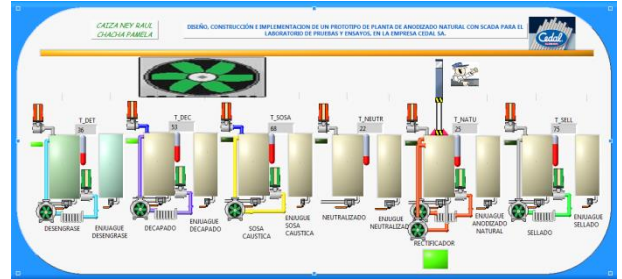


Figura 19 HMI

Concluido el proceso de anodizado se crea automáticamente una base datos con las variables de PH, corriente, voltaje, densidad de corriente, temperatura en cada una de las cubas y el área del perfil anodizado (figura 20).

#### Base de datos

Base de datos generada en microsoft Access.

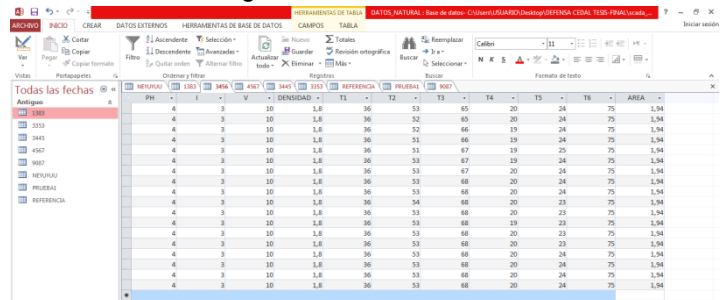


Figura 20 Base de datos

Como resultado final obtenemos el perfil anodizado con las 10 micras requeridas. Valor que se mide con un micrómetro.



Figura 21 Micras de perfil anodizado

**NOTA:** CEDAL S.A., únicamente solicitó anodizado de espesor 10 micras para cualquier tipo de perfil, por lo cual no se muestran figuras con 15 y 20 micras, sin embargo los cálculos realizados para dichos micrajajes se los muestra por cuestiones de pruebas de corriente.

## V. CONCLUSION.

La construcción del prototipo es de gran utilidad para la empresa CEDAL y para cualquier empresa particular, ya que transforma los resultados de dimensiones pequeñas en resultados reales de la planta.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- DIPAC. (1978). Perfiles estructurales. *Catálogo DIPAC*,  
<https://es.scribd.com/doc/49974227/CATALOGO-DIPAC>. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ALUMINA. (n.d.). Aluminio Nacional del Ecuador S.A. Colombia .
- [gs/plastic-single-magnetic-float-liquid-level-switch-sensor-for-high-low-level-with-switch-signal-output-2-wires-502338074.html](https://www.scribd.com/document/502338074/plastic-single-magnetic-float-liquid-level-switch-sensor-for-high-low-level-with-switch-signal-output-2-wires-502338074.html)
- SIEMENS. (2010). *SIMATIC S7-1200*. Retrieved Enero 2014, from  
<http://www.paratrasnet.ro/pdf/automatizari-industriale/S7-1200.pdf>
- SIEMENS. (2015). *Totally Integrated Automation Portal*. Retrieved Junio 2014, from  
[https://www.swe.siemens.com/spain/web/eis/industry/automatizacion/simatic/software/tia\\_portal/pages/tiaportal.aspx](https://www.swe.siemens.com/spain/web/eis/industry/automatizacion/simatic/software/tia_portal/pages/tiaportal.aspx)
- Structures, C. a. (2014). *SAP 2000*. Retrieved Marzo 2014, from  
<http://www.csiamerica.com/products/sap2000>