



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA DIDÁCTICA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 CON UN SISTEMA DE CONTROL MULTIFUNCIONAL PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN EN EL LABORATORIO DE CATÁLISIS Y CORROSIÓN DE PETROQUÍMICA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA”

**AUTORES: ALDAS ACOSTA, EDUARDO VINICIO
PAREDES SÁNCHEZ, DANIELA ALEJANDRA**

ING. FREIRE LLERENA, WASHINGTON RODRIGO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



CONTENIDO

- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Hipótesis
- Introducción
- Metodología
- Diseño Mecánico bajo la norma ASTM-B117
- Materiales para el Diseño mecánico
- Selección de componentes para el control de la Cámara de Niebla Salina
- Configuración y Programación
- Implementación de los controladores PID
- Diseño del Circuito Eléctrico y Neumático
- Diseño del HMI
- Ensayo de la Cámara de Niebla Salina
- Conclusiones
- Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la cámara de niebla salina es muy necesaria en la industria y en cualquier institución, con el objetivo de dar paso a la experimentación sobre la corrosión y evaluar las propiedades anticorrosivas de varios recubrimientos y materiales.

El laboratorio de Catálisis y Corrosión de la Carrera de Ingeniería en Petroquímica instalada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga no cuenta con equipos para pruebas de corrosión acelerada, lo cual dificulta a los estudiantes llevar a la práctica los conocimientos teóricos, en ensayos de corrosión en los metales utilizados en las industrias.

Por esta razón se ve necesario realizar el diseño y construcción de la cámara de niebla salina didáctica en base a la norma ASTM-B117, la misma que establece los parámetros y/o condiciones que se debe cumplir para una adecuada realización del ensayo



OBJETIVOS

Objetivo General:

- Diseñar y construir una cámara de niebla salina didáctica mediante la norma ASTM-B117 con un sistema de control multifuncional para ensayos de corrosión acelerada, en el laboratorio de catálisis y corrosión de la Carrera de Petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.



Objetivos Específicos:

- Diseñar y construir la estructura mecánica para la ubicación del sistema electrónico, eléctrico y de generación, suministro de niebla salina y aire de atomización.
- Dimensionar, seleccionar, diseñar el sistema de control de las principales variables que intervendrán en el proceso.
- Implementar un ensayo de corrosión en la cámara de niebla salina para verificar el correcto funcionamiento del equipo, según la Norma ASTM-B117
- Realizar un manual de procedimientos para el correcto funcionamiento de la cámara de niebla salina.



HIPÓTESIS

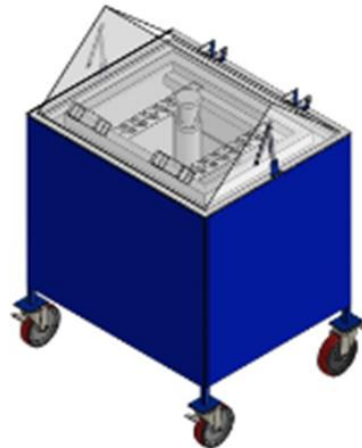
Con la construcción de la cámara didáctica de niebla salina bajo la norma ASTM-B117, se permitirá realizar ensayos de corrosión acelerada en los metales y sus aleaciones y recubrimientos metálicos.



- **INTRODUCCIÓN**

CÁMARA DE NIEBLA SALINA DIDÁCTICA BAJO LA NORMA ASTM –B117

El equipo necesario para la niebla salina, la exposición consiste en una cámara de niebla, una solución de depósito de sal, un suministro de aire comprimido convenientemente acondicionado, una o varias boquillas de pulverización, espécimen soportes, dispositivo para el calentamiento de la cámara, y medios de control necesarios.



METODOLOGÍA Y MATERIALES

DESCRIPCIÓN Y PARTES DEL MODULO DIDÁCTICO

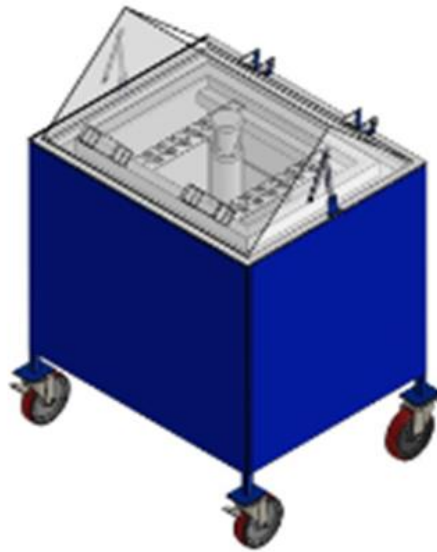
Cámara de Exposición



Válvula de llenado mecánico



Resistencia Eléctrica



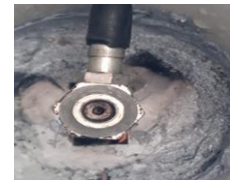
Tapa de la cámara



Reserva Interna



Válvula atomizadora



Cono Difusor



Cubierta Externa



- **METODOLOGÍA Y MATERIALES**

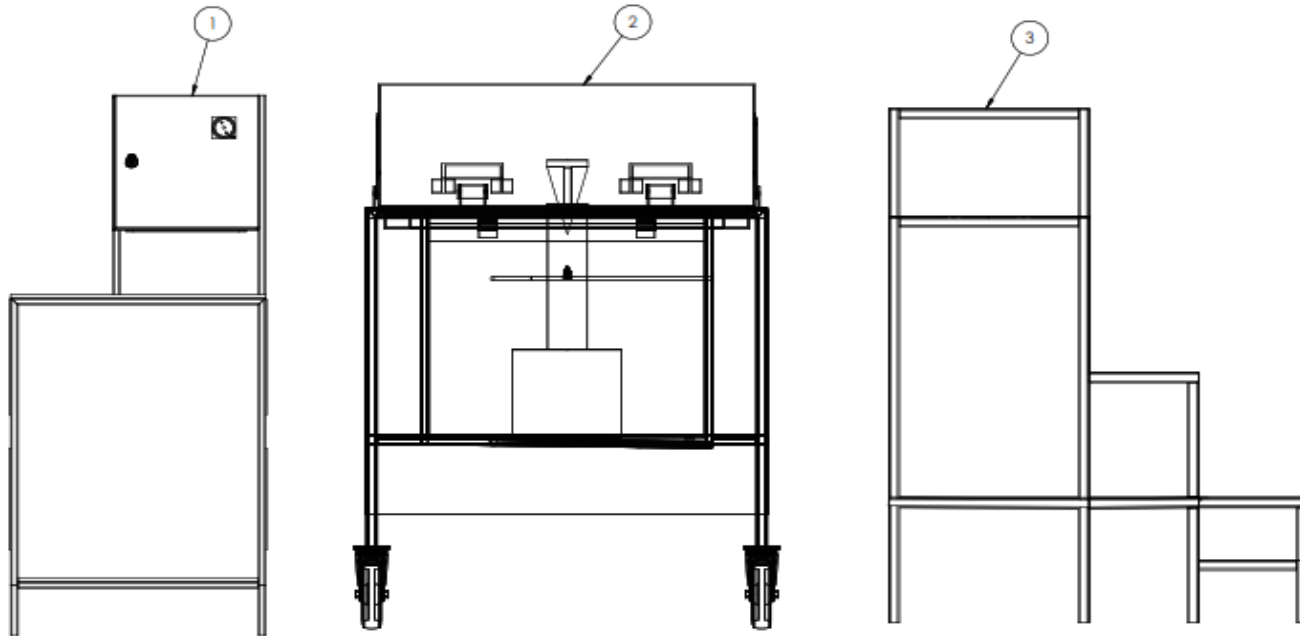
DESCRIPCIÓN

El siguiente trabajo pretende realizar ensayos de corrosión de forma acelerada, está diseñado en base a los parámetros establecidos en la norma ASTM-B117. En donde una solución salina se atomiza con aire comprimido limpio en una neblina fina.

Usualmente la cámara se calienta a 35°C empleando una resistencia eléctrica y se mantiene a esta temperatura durante todo el ensayo manteniéndose dentro de un rango de máximo $\pm 2^{\circ}\text{C}$ la temperatura de referencia. La temperatura de la cámara y el control de nivel del tanque de almacenamiento son controlados y monitoreados por el usuario mediante un Controlador lógico programable, y para la visualización de datos se emplea un sistema Pc-System HMI.



- **DISEÑO MECÁNICO BAJO LA NORMA ASTM- B117**



1. Estructura de control y compresor
2. Estructura de Cámara de Niebla Salina
3. Estructura de Tanque Principal

Soporte del equipo. La estructura fue construida con tubo estructural negro cuadrado..



Cuerpo de la cámara de exposición. La cámara de exposición fue diseñada de acuerdo al uso que se dará y de acuerdo a los parámetros establecidos en la Norma ASTM B-117



- **MATERIALES**

Tapa de la cámara. La tapa de la cámara de exposición tiene una forma de “V” invertida



Tanque principal de solución. El tanque principal de solución es el que alimenta el proceso de generación de niebla salina

- **MATERIALES**

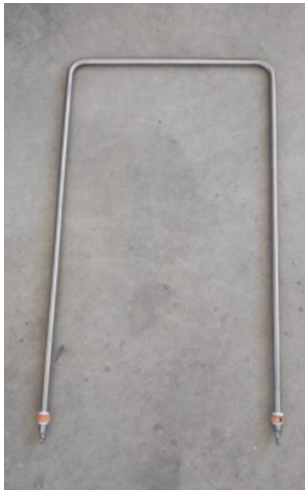
La estructura del tanque principal de solución cuenta con 2 niveles de elevación, para que el usuario pueda abastecer de la solución salina al tanque principal



Tanque auxiliar de solución. Este tanque se ubica en el interior de la cámara de exposición. Está construido al 100% PP

- **MATERIALES**

Tubería principal del tanque auxiliar de solución se encuentra la válvula de bola para apertura y cierre de forma manual



Para **calentar la cámara** y dejarla en la temperatura adecuada y establecida por la Norma



- **MATERIALES**

Válvula atomizadora conectada a una unión T que sirve para acoplar la entrada de aire y la entrada de la solución



El **cono difusor** es fabricado en fibra de carbono, por ser un material con elevada resistencia mecánica

- **SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA EL CONTROL DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**



PLC SIEMENS S7-1200 AC/DC/RLY



COMPRESOR SILENCIOSO MARCA DONGSONG $\frac{3}{4}$ HP, 550 WATTS, PRESIÓN MÁXIMA 180 PSI



MÓDULO ARDUINO UNO



- **SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA EL CONTROL DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**



MÓDULO ETHERNET ENC28J60



TRANSMISOR DE TEMPERATURA HIC TCH1



SENSOR DE TEMPERATURA PT100



- **SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA EL CONTROL DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**



SENSOR DE NIVEL TIPO BOYA



ELECTROVÁLVULA

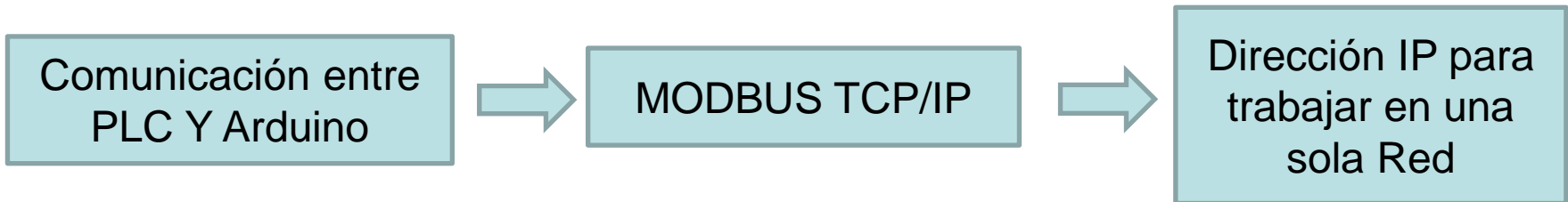


RELÉ DE ESTADO SÓLIDO



- **CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN**

- **Configuración del Módulo Arduino**



Permite realizar el control PWM que manda una señal de voltaje a un relé de estado sólido SSR-25DA para activar/desactivar la alimentación de la resistencia eléctrica.



• Configuración del Módulo Arduino

Configuración IP Arduino



```
#include <TimerOne.h>
#include <EtherCard.h>
#include <Modbus.h>
#include <ModbusIP_ENC28J60.h>

// Used Pins
const int PWM = 5;

// Modbus Registers Offsets (0-9999)
const int cPWM_HREG = 50;

// ModbusIP object
ModbusIP mb;

void setup() {
  // The media access control (ethernet hardware) address for the shield
  byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
  // The IP address for the shield
  byte ip[] = { 192, 168, 1, 22 };
  // Config Modbus IP
  mb.config(mac, ip);
  // Add SERVO_HREG register - Use addHreg() for analog outputs or to store values in device
  mb.addHreg(cFase_HREG, 0);
}
```

Configuración Control PWM



```
pinMode(PWM, OUTPUT);

Timer1.initialize(100000); // Dispara cada 100 ms
Timer1.attachInterrupt(Refresh_Modbus); // Activa la interrupcion y la asocia a ISR_Blink
}

void loop() {
  // Interrupcion control de fase
  attachInterrupt(0, fase_interrupt, FALLING);
}

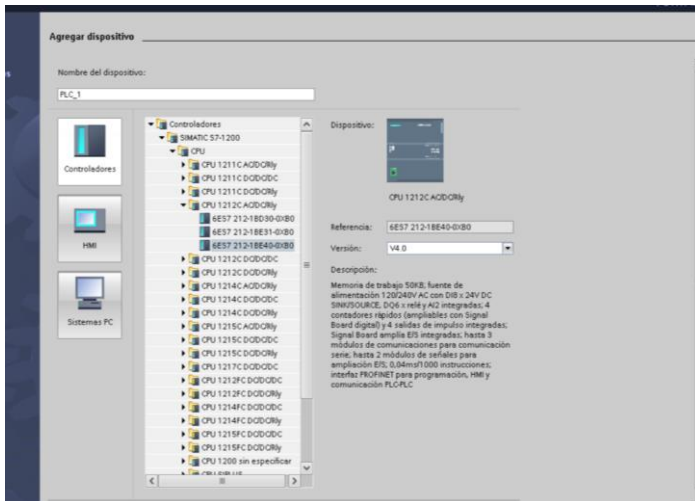
void fase_interrupt() {
  int fase = map(mb.Hreg(cPWM_HREG), 0, 65536, 0, 300); // 8amp = 800 // 3amp = 300
  delayMicroseconds(((1023 - fase) * 6) + 1023);
  digitalWrite(PWM, HIGH);
  delayMicroseconds(200);
  digitalWrite(PWM, LOW);
}

void Refresh_Modbus() {
  // Actualiza las direcciones Modbus
  mb.task();
}
```

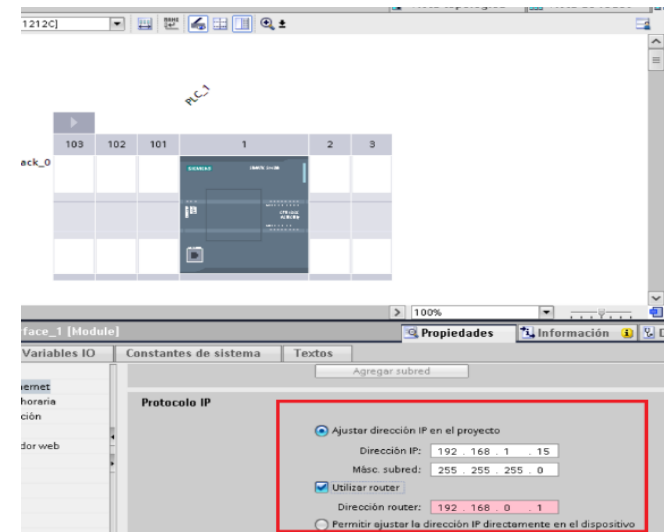


• CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN PLC SIEMENS S7-1200

Selección dispositivo a utilizar
PLC SIEMENS S7-1200
ACDC/RLY VERSIÓN 4.0



Configuración IP PLC

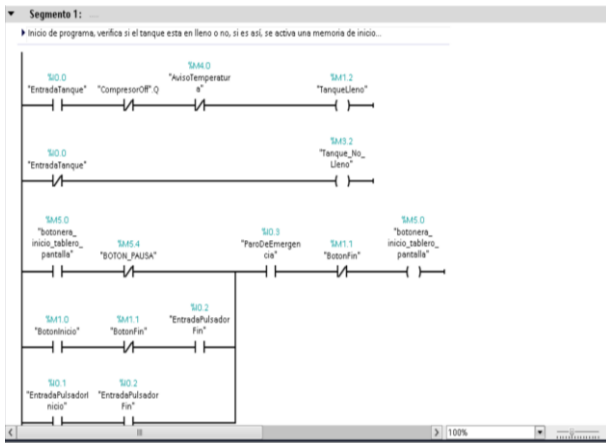


- # CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN PLC SIEMENS S7-1200

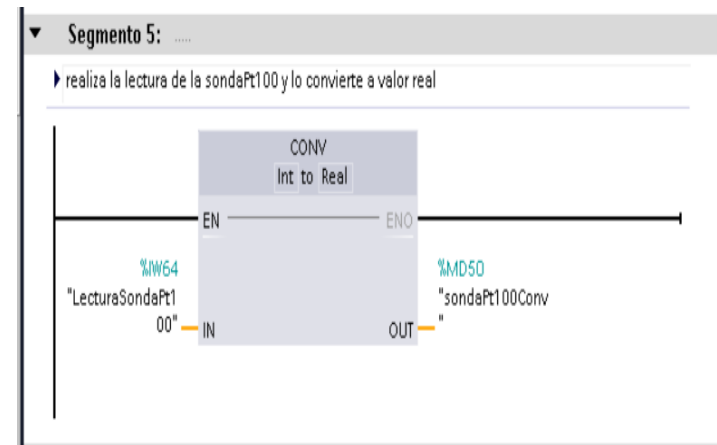
Configuración de condiciones para el encendido del sistema



Si el nivel de solución en el tanque principal es correcto, se inicia el sistema



Configuración de Lectura y conversión de valores de PT100



• CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN PLC SIEMENS S7-1200

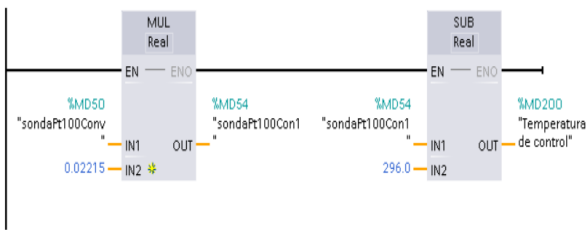
Acondicionamiento de la señal



Regresión lineal para convertir la señal de voltaje del sensor a valores de temperatura



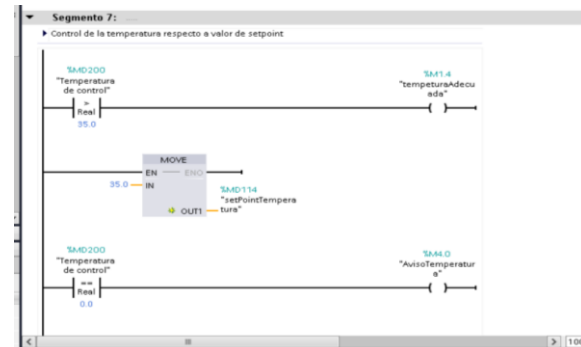
Acondicionamiento de la señal



Configuración Valor del Set point

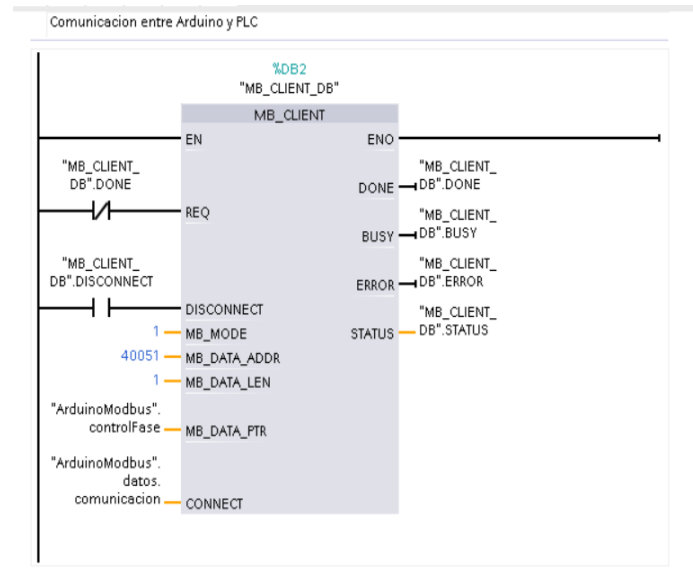


35°C



- CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN
PLC SIEMENS S7-1200**

Comunicación entre PLC y Arduino
Mediante MB_CLIENT



• CONFIGURACIÓN Y PROGRAMACIÓN PLC SIEMENS S7-1200

Configuración PID COMPACT

The image displays the Siemens TIA Portal interface for configuring a PID Compact controller. The left pane shows the project tree with 'PID_Compact_2 [DB11]' selected. The main workspace shows the 'Parámetros PID' configuration window with the following settings:

- Tipo de regulación: Proporcional-Integral-Derivativo
- Parámetros de entrada: Kp = 3.821, Ti = 660.488 s, Td = 0.033944 s
- Parámetros de salida: Escala del valor real = 1.0, Límites del valor real = 0.2
- Parámetros de acción: Acción de la acción P = 1.0, Acción de la acción D = 1.0, Algoritmo de acción = PID

The right pane shows the 'PID TUNER' window with a 'Step Plot Reference tracking' graph. The graph shows a step response curve that rises sharply and then levels off. The 'Controller Parameters' window is open, displaying the following values:

Parameter	Value
Kp	3.821
Ti	660.488
Td	0.033944
N	n/a

The 'Performance and Robustness' window shows the following values:

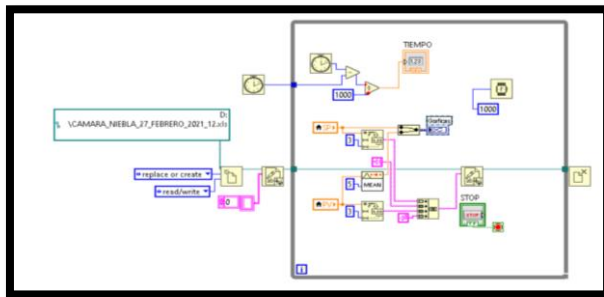
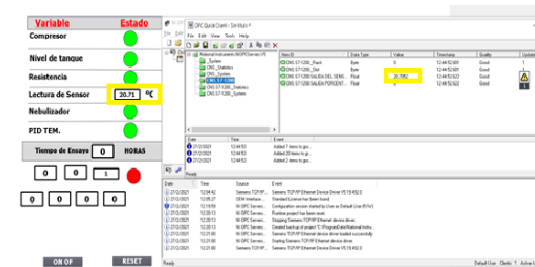
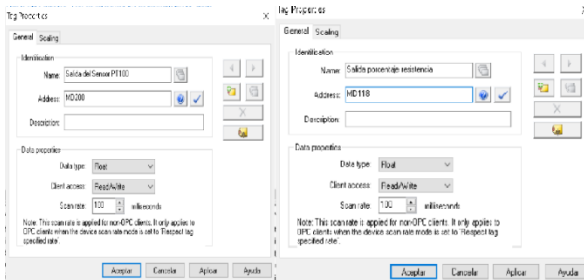
Parameter	Value
Rise time	441 seconds
Settling time	1.61e+03 seconds
Overshoot	2.75 %
Peak	1.03
Gain margin	14.7 dB @ 0.0156 rad/s
Phase margin	69 deg @ 0.00295 rad/s
Closed-loop stability	Stable

The bottom status bar indicates the controller parameters: Controller Parameters: Kp = 3.821, Ti = 660.5, Td = 0.03394.



IMPLEMENTACIÓN DE LOS CONTROLADORES PID

Obtención y registro de valores por OPC Server



Generación de Archivo .XLSX

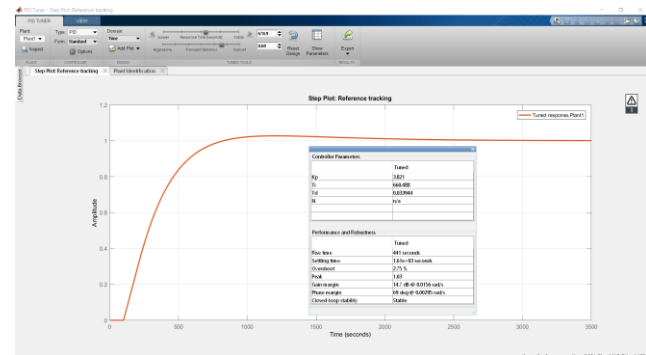
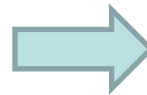
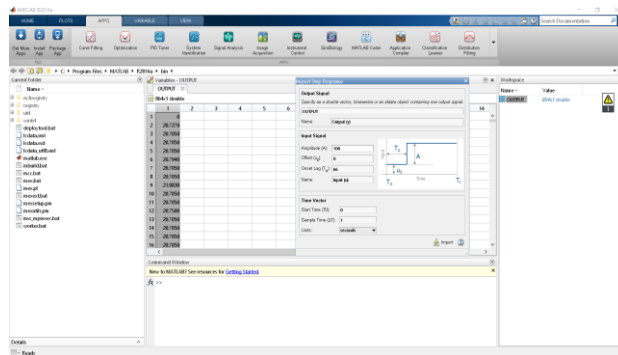
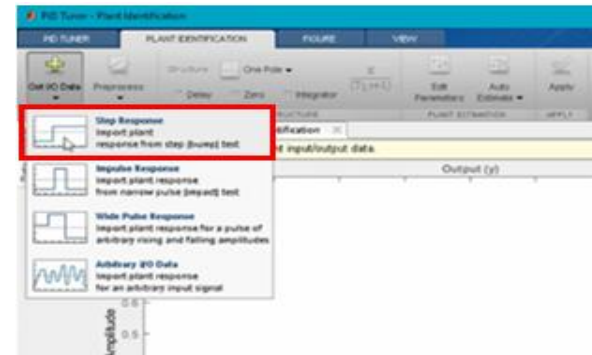
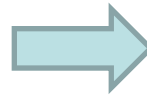
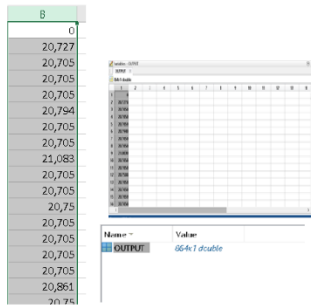
 CAMARA_NIEBLA_27_FEBRERO_2021_12 27/2/2021 13:01 Hoja de cálculo de Microsoft Excel 97-2003 14 KB



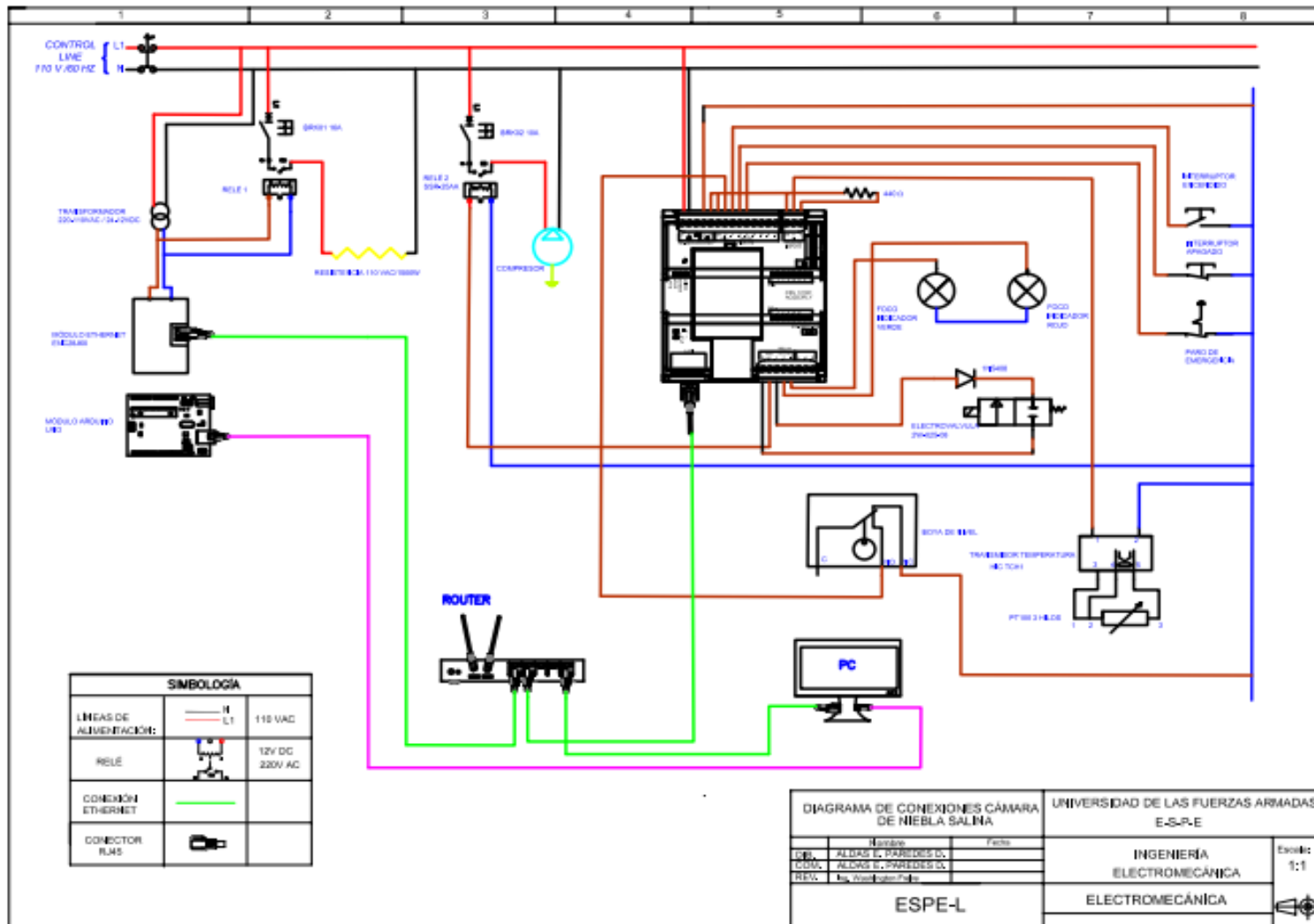
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

IMPLEMENTACIÓN DE LOS CONTROLADORES PID

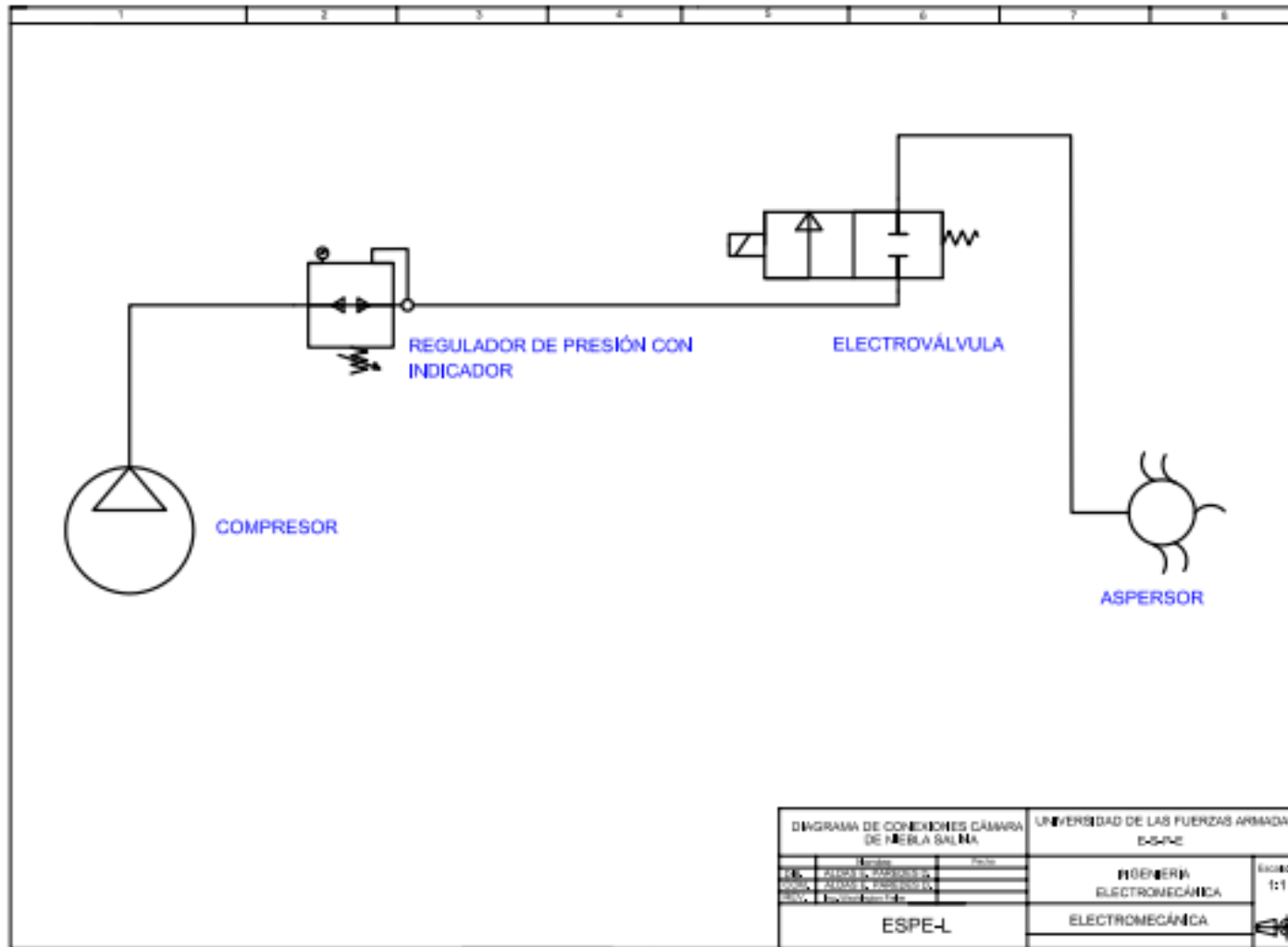
Obtención de parámetros de Control PID



• DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO



- DISEÑO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO**



• DISEÑO PANTALLA HMI

ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA DIDÁCTICA
MEDIANTE LA NORMA ASTM-B-117 CON UN SISTEMA DE CONTROL MULTIFUNCIONAL
PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN EN EL LABORATORIO DE CATÁLISIS Y CORROSIÓN
DE PETROQUIMICA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
SEDE LATACUNGA

AUTORES:
ALDÁS ACOSTA, EDUARDO VINICIO
PAREDES SÁNCHEZ, DANIELA ALEJANDRA

DIRECTOR: ING. FREIRE LLERENA WASHINGTON RODRIGO



SIMATIC WinCC Runtime Advanced

Nivel de tanque	●
Compresor	●
Resistencia	●
Nebulizador	●
PID TEM.	●
Reloj Habilitado	●

Ingrese el Tiempo de Ensayo 72 HORAS

RELOJ

SET POINT 35 °C

Lectura de Sensor 34.37 °C

INICIO DE ENSAYO

PAUSA DE ENSAYO

CONTINUAR ENSAYO

OFF COMPRESOR

RESET DE ENSAYO

Activar Windows
 Ve a Configuración para activar Windows.

• ENSAYO DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SALINA

AGUA DESTILADA



NaCl



La sal de consumo humano puede ser utilizada, porque cumple con parámetros sobre el porcentaje de masa de impurezas totales no debe ser mas de 0,3% y yodo no dese ser mas de 0,1%

En 60 litros de agua destilada se debe adicionar 3Kg de NaCl

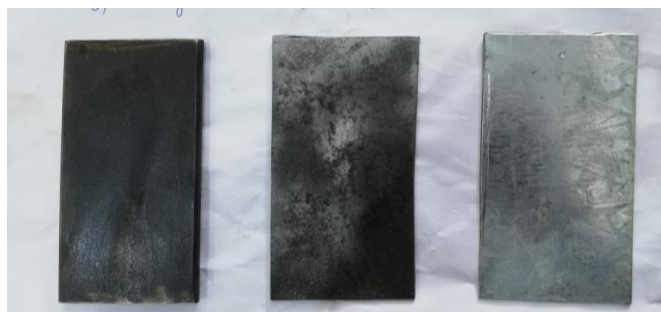


• ENSAYO DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- La Norma establece que las dimensiones de las placas debe ser de 12x7 cm.
- Las placas deben tener una superficie uniforme, libre de impurezas y óxido.

MATERIAL	PESO (kg)	MEDIDA (cm)
ACERO SAE 9250	0.420	12x6
HIERRO	0.105	12x6
ALUMINIO	0.080	12x6



- **ENSAYO DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

Las placas son ingresadas al interior de la cámara de niebla salina y se da inicio al ensayo de 72 horas.

Dando como resultado lo siguiente:

MATERIAL	PESO LUEGO DE ENSAYO (kg)	MEDIDA (cm)
ACERO SAE 9250	0.415	12x6
HIERRO	0.096	12x6
ALUMINIO	0.076	12x6



CONCLUSIONES

- Se construyó una Cámara de Niebla Salina acorde a la norma ASTM-B117, la cual genera y mantiene un ambiente de corrosión acelerada, el tamaño del equipo se dimensionó y se obtuvo un promedio basándose en los parámetros establecidos en la Norma y en otros prototipos ya existentes.
- En el sistema de control para un ambiente de corrosión acelerada, las variables involucradas son el caudal de expulsión en el nebulizador de la solución de NaCl, que es de 0,88 l/h, la presión es de 15 PSI y la temperatura de 35 ° C con un rango de variación +2. ° C y -2. ° C.
- Se implementó un protocolo de comunicación llamado MODBUS TCP/IP basado en la arquitectura maestro/esclavo actuando como maestro el PLC S7 1200 Y como esclavo el Arduino.
- Se enlazó todas las variables requeridas a una interfaz gráfica amigable en donde se puede visualizar un orden de encendido del equipo, además se puede evidenciar la lectura de temperatura en el interior de la cámara, y también se puede observar un reloj programable para el tiempo de ensayo y una vez finalizado, este tiene un orden de apagado



- Para la temperatura se realizó un control, con un relé de estado sólido (SSR) y Arduino, para la conmutación de cargas de corriente alterna en la resistencia eléctrica, por el método control PWM, y para tener una lectura casi exacta del sensor de temperatura PT-100, se calibró la señal con la ayuda de una pistola de temperatura y esta señal fue acondicionada por medio del OPC server de LabVIEW 2020 y el PID TUNNER de Matlab el cual nos permite alcanzar los modelos matemáticos por medio de funciones de transferencia y los parámetros de sintonización adecuados, obteniendo así todas las variables dentro de los parámetros expuestos en la norma ASTM-B117 para un control óptimo del equipo.
- Se realizó un ensayo con tres placas metálicas las cuales fueron pesadas antes del ensayo se programó un tiempo de 72 horas, este ensayo fue monitoreado cada hora para constatar su buen funcionamiento de la cámara de niebla salina, los resultados obtenidos fueron positivos pues en las tres placas metálicas que se introdujeron al interior de la cámara se evidenció la presencia de la corrosión en las placas metálicas y el desgaste era cierto y para comprobarlo se volvió a pesar dichas placas dando como resultado la disminución de su peso en el Acero SAE 9250 con 0.415 gr., Hierro con 0.096 gr. y Aluminio con 0.076 gr.
- Se elaboró un manual para el buen uso de la cámara de niebla salina aquí se considera los pasos para el encendido del equipo, los pasos para la puesta en marcha, cómo preparar las probetas para realizar un buen ensayo y también se consideran advertencias y peligros tanto para el equipo como para el operario y por último se menciona el mantenimiento que se debe realizar en la cámara de niebla salina para así prolongar su vida útil de todos sus componentes.



RECOMENDACIONES

- Para no forzar el funcionamiento del equipo y conservar su vida útil, usar el equipo hasta las 72 horas de ensayo ya que en las primeras 24 horas se pueden evidenciar el efecto de la corrosión acelerada en las placas lo cual sirve para realizar los estudios de corrosión.
- Debido al ambiente corrosivo que se genera en el interior de la cámara, se reducirá la vida útil de los componentes que tienen contacto directo con este ambiente, como son la resistencia eléctrica y la boquilla nebulizadora por lo que se deberán reemplazar una vez se cumpla su vida útil de funcionamiento.
- Limitarse a manejar el equipo únicamente para lo que fue diseñado, no se recomienda manipular su sistema eléctrico de funcionamiento, ni su sistema de control ya que esto podría alterar todas las variables físicas que fueron calibradas.
- Se recomienda monitorear regularmente cada ensayo realizado para así evitar riesgos o daños en el equipo.



- Una vez finalizado cada ensayo abrir la tapa hermética de la cámara de niebla salina y esperar que se ventile, para poder retirar las placas de estudio, tener mucho cuidado con la resistencia eléctrica, ya que aún debe estar caliente y evitar tocarla para no presentar quemaduras o accidentes.
- Se recomienda leer el manual de funcionamiento y manual de mantenimiento antes de usar el equipo para lograr un buen manejo y una larga prolongación de la vida útil del equipo y a la vez evitar accidentes.
- Procurar antes del inicio del ensayo que la tapa de la cámara esté completamente cerrada para evitar fugas de niebla por las partes laterales y frontal de la cámara.
- Después de la realización de cada ensayo vaciar el tanque principal de solución abriendo su llave para vaciado, y de la misma manera vaciar el tanque auxiliar de solución que se encuentra al interior de la cámara de exposición, con la apertura de su válvula de bola manual.



“Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia”

Muchas Gracias por su atención

