



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Desarrollo del sistema de control para una máquina de ensayos acelerados de corrosión atmosférica**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

Miguel Ángel Aparicio Hernández

**DIRECTOR DE TESIS**

M.C. Francisco Sánchez Pérez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



# Agradecimientos

A mis padres, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional durante toda mi vida. Gracias por su dedicación y esfuerzo, siempre buscando lo mejor para nosotros, su familia. Gracias por nunca rendirse ya que gracias a ustedes estoy en este punto de mi vida. Gracias por todo el tiempo que me han dedicado, por sus consejos y gracias por siempre alentarme durante toda mi vida.

A mi hermana, quien siempre me ha brindado su apoyo y confianza. A mi sobrino, quien en el tiempo que he compartido con él, me ha brindado de gran felicidad.

A mis amigos, Karla, Gabriela, Karen, Itzel, Daniel, Carlos, Erick, Jorge, amigos que he conocido en la prepa y en la universidad. Gracias por el gran apoyo que me han brindado, gracias por sus consejos y su amistad incondicional. Agradezco también a todas aquellas personas que, sin saberlo, han formado parte de mi camino como universitario.

A mis profesores, quienes durante toda la carrera me han aportado sus conocimientos, gracias por los consejos, el apoyo y su paciencia. Agradezco en especial a aquellos profesores que me mostraron lo emocionante de mi carrera.

Finalmente agradezco al M.C. Francisco Sánchez Pérez quien ha confiado en mí no solo en el desarrollo de este proyecto, sino también en algunas otras actividades de las que he sido parte. Gracias por el gran apoyo que me ha brindado, gracias por su amistad y consejos.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVO Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>2</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
1.1 Comunicación de datos .....	4
1.2 Comunicación de datos paralela y serial .....	5
1.2.1. Tipos de comunicación serial .....	6
1.3 Norma RS-232 .....	7
1.4 Norma TIA/EIA – 485 .....	7
1.5 Comunicación SPI .....	8
1.6 Comunicación I2C .....	9
1.7 Microcontroladores .....	12
<b>2. DISEÑO DE INTERFAZ PARA MÁQUINA DE ENSAYOS ACELERADOS</b> .....	<b>21</b>
2.1 ¿Qué es una interfaz? .....	21
2.2 Tipos de Interfaz .....	25
2.3 Programación de una interfaz .....	27
2.4 Elementos que constituyen una interfaz gráfica .....	29
<b>3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EQUIPO DE CORROSIÓN</b> .....	<b>40</b>
3.1 Antecedentes de equipos de ensayos acelerados .....	40
3.2 Variables por controlar en el sistema de control para equipo de corrosión .....	45
3.3 Planteamiento del problema y procedimiento de solución .....	46
3.4 Detección de fallas del sistema anterior .....	47
3.5 Investigación de las necesidades requeridas .....	49
3.6 Selección de sensores de temperatura, humedad y gas .....	50
3.7 Selección de los sensores con base en sus especificaciones .....	56
3.8 Selección de microcontrolador .....	59
3.9 Desarrollo de la interfaz del usuario .....	61
<b>4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL</b> .....	<b>68</b>
4.1 Implementación y reacondicionamiento de la interfaz junto con el hardware (sensores) .....	68
4.2 Puesta en marcha del sistema de control .....	72
4.3 Pruebas de funcionalidad y depuración de errores del sistema de control .....	75
<b>5. RESULTADOS Y TRABAJO A FUTURO</b> .....	<b>81</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>82</b>
<b>7. ANEXOS</b> .....	<b>83</b>
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	<b>87</b>

# Introducción

La corrosión es un tema que debe de ser tratado con seriedad debido a la presencia que posee dentro de la sociedad en general. La corrosión es un fenómeno que puede presentarse sin previo aviso, este puede dañar a los materiales que podemos usar en la vida cotidiana tales como herramientas, materiales y hasta en componentes electrónicos de los cuales ahora en estos tiempos dependemos notoriamente.

En la Facultad de Ingeniería, se encuentra la UDIATEM (Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales) la cual cuenta con equipo para realizar ensayos acelerados de corrosión atmosférica. Dicho equipo es capaz de realizar los ensayos acelerados requeridos, pero con el tiempo se presentaron fallas en el sistema de control, que no permitían el óptimo funcionamiento de la maquina; ante ello al realizar una inspección se determinó que el sistema es obsoleto. Debido al mal funcionamiento del mismo es necesario desarrollar un nuevo sistema que reemplace el anterior, tal que sea capaz de cumplir con la tarea de simular atmosferas para estudiar el efecto de la corrosión en los materiales.

Cabe mencionar que el presente trabajo no se enfoca en el estudio propio del fenómeno de la corrosión sobre los materiales, pero es importante tener en cuenta los requerimientos y variables a controlar (humedad, temperatura y gases contaminantes propios de la región de estudio o exposición) para poder desarrollar de la mejor forma un sistema que satisfaga las necesidades de proyectos futuros tanto proyectos internos como industria privada.

En el presente trabajo se muestra el desarrollo y la implementación de un sistema de control tal que sea capaz de ayudar al usuario a identificar cuáles son los factores que afectan primordialmente a la corrosión de los materiales, simulando atmosferas capaces de reproducir el daño sufrido bajo este fenómeno en los materiales, por ejemplo la de la ciudad de México, considerada por las altas emisiones de contaminantes, e incluso pudiendo simular atmosferas que impliquen tener las condiciones más dañinas bajo condiciones extremas (humedad, temperatura y gases contaminantes propios de la región de estudio o exposición), para observar el comportamiento de los materiales sometidos a dicha prueba.

En el primer capítulo se presentan los antecedentes de los conceptos generales con relación a los microcontroladores. En el segundo capítulo se presentan los conceptos generales con relación a las interfaces, tipos, programación y elementos que puede constituir una. En el tercer capítulo se retoman los conceptos previamente presentados en el primer y segundo capítulo, dichos conceptos se consideran en este capítulo para la selección de los sensores, microcontrolador y lenguaje de programación. También, en este capítulo, se presenta el desarrollo de la interfaz de usuario desarrollada para su posterior implementación en el sistema de control de una cámara de ensayos acelerados de corrosión atmosférica. En el cuarto capítulo se presenta la implementación del sistema de control, la puesta en marcha del mismo y las pruebas de funcionalidad, así como la depuración de errores. Por último, se presentan los resultados junto con el trabajo a futuro y las conclusiones obtenidas al finalizar el desarrollo del presente trabajo.

# Objetivo

Desarrollar, programar, implementar y verificar una interfaz de control con la finalidad de automatizar equipos para la realización de ensayos acelerados de corrosión atmosférica.

# Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de control para la renovación de equipo de ensayos acelerados de corrosión atmosférica.
- Desarrollar un sistema tal que pueda ser actualizado en un futuro, permitiendo al usuario agregar características que llegaran a ser necesarias.
- Automatizar los procesos que requiere un equipo dedicado al desarrollo de pruebas de ensayos acelerados.
- Verificar que el sistema de control desarrollado e implementado trabaje de manera correcta, tal que cumpla con la tarea de realizar ensayos acelerados.

# Capítulo 1

## ANTECEDENTES

En la vida diaria podemos encontrar diversos dispositivos que nos pueden ayudar en diferentes actividades, dichos dispositivos pueden ser usados en tareas muy específicas y puede que diversos factores sean capaces de afectarlos.

Los dispositivos electrónicos son sensibles bajo ciertas condiciones, por ejemplo, la temperatura, la humedad, el contacto con ciertos gases presentes en la atmósfera (pensando en la industria) y debido a ello es importante saber en qué condiciones los dispositivos electrónicos pueden funcionar de manera correcta.

Por otra parte, dentro de los factores que afectan el funcionamiento de los componentes electrónicos se tiene a la corrosión; considerado dicho fenómeno como el ataque destructivo de un material por reacción con su entorno, deterioro o bien degradación, la cual se mide por la pérdida de masa por unidad de tiempo.<sup>1</sup>

En México y en el mundo existen equipos dedicados a simular atmósferas con el fin de estudiar el comportamiento de la corrosión en los materiales. Caso específico es el de la UDIATEM en la Facultad de Ingeniería, la cual cuenta con equipo para realizar ensayos acelerados de corrosión atmosférica. Dicho equipo es capaz de controlar variables tales como la humedad y la temperatura, tiene la opción de inyectar gases como el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, cuenta con lámpara de rayos ultravioleta tipo B (por su longitud de onda que fluctúa entre 280 a 320 nm) que simula la radiación de la luz solar. Por último, cuenta con la posibilidad de exportar los datos obtenidos durante una prueba a un documento de Excel.

Esta obtención de datos se da debido a la interacción existente entre los componentes del equipo dedicado a hacer los ensayos acelerados, en este caso la computadora, el microcontrolador y los sensores. Dicha interacción recibe el nombre de comunicación.

Etimológicamente, la palabra comunicación viene del latín "comunis", "comunicarse". La comunicación puede entenderse como una interacción que ocurre al compartir ideas,

conceptos, información, etc. Dicha interacción siempre está presente no solo entre personas si no en diferentes objetos como por ejemplo la interacción existente entre una computadora y algún periférico.

## 1.1 COMUNICACIÓN DE DATOS

Si bien, el concepto de comunicación es muy general debido a que habla de la interacción existente no solo entre objetos, sino también entre personas, existe una definición de comunicación que detalla más a fondo la interacción entre los elementos de un sistema, como lo es un equipo de ensayos acelerados; la comunicación de datos.

Se entiende como comunicación de datos a aquella interacción en la cual se transmite información de una computadora a otra o a algún dispositivo periférico. En esta interacción la computadora es el remitente y dicho mensaje puede ser enviado mediante algún tipo de canal tales como cables telefónico o coaxial. Por el otro lado se encuentra el destinatario o receptor que puede ser otra computadora o algún dispositivo periférico. Las reglas que establecen una transferencia ordenada de datos entre el remitente y el receptor se llaman protocolos.

El protocolo de transmisión entre una computadora y sus dispositivos periféricos se maneja por un controlador de dispositivos o simplemente controlador, que es un programa de cómputo que puede establecer comunicación debido a que contiene información acerca de las características de la computadora y del dispositivo.<sup>2</sup>

Lo siguiente describe algunas de las maneras en que se comunican las computadoras:

- Un dispositivo periférico externo debe tener un puerto de expansión y cable correspondientes que lo conecte a la computadora. Dentro de esta, cada puerto se conecta a una tarjeta controladora algunas veces llamada tarjeta de expansión o tarjeta de interfaz. Estas se enchufan a conectores eléctricos en la tarjeta madre llamados ranuras de expansión o ranuras. Las computadoras personales pueden tener diversos tipos de puertos, incluyendo paralelos, seriales, SCSI, USB, MIDI y Ethernet.
- Un puerto USB (Universal Serial Bus, bus serial universal) es un puerto serial de alta velocidad que permite múltiples conexiones en el mismo puerto. El dispositivo que instale debe tener un conector USB, un enchufe pequeño y rectangular. Cuando se une el conector USB en el puerto USB, la computadora reconoce el dispositivo y le permite usarlo inmediatamente. Los dispositivos de almacenamiento flash USB se conectan en los puertos USB. Para la mayoría de los dispositivos USB. se provee energía a través del puerto, por lo que no se necesitan cables de corriente adicionales.
- Otro estándar similar al USB para la transferencia de información entre dispositivos digitales es FireWire. FireWire fue desarrollado por la empresa Apple



Computer y el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) quienes estandarizan la tecnología como la interfaz IEEE 1394. Las transferencias de datos son significativamente más rápidas usando este tipo de conexión que empleando una conexión USB.<sup>3</sup>

## **1.2 COMUNICACIÓN DE DATOS PARALELA Y SERIAL**

En la comunicación de datos se pueden encontrar dos formas de intercambiar información binaria: paralela y serial.

Por una parte, la comunicación paralela puede transmitir todos los bits de un dato de manera simultánea, de esta manera la velocidad de transferencia es rápida, aunque tiene la desventaja de utilizar una gran cantidad de líneas por lo cual la transferencia de datos se vuelve más costosa y tiene las desventajas de atenuarse a grandes distancias por la capacitancia entre conductores, así como sus parámetros distribuidos.

Por otra parte, se encuentra la comunicación de datos serial. En este tipo de comunicación se usa un procesador de comunicación de datos, el cual es un procesador de entrada y salida, capaz de recoger datos de diversas terminales remotas conectadas mediante diversas líneas de comunicación, dicho procesador se especializa en comunicarse directamente con redes de comunicación de datos.

Una red de comunicación puede contener cualquiera de una amplia variedad de periféricos. Con el uso de un procesador de comunicación de datos, la computadora puede dar servicio a fragmentos de cada demanda de red de manera intercalada y por lo tanto tener un desempeño aparente de servir a muchos usuarios a la vez. De esta manera, la computadora puede operar eficientemente en un ambiente de tiempo compartido.<sup>4</sup>

La más importante cualidad del procesador de entrada y salida es la manera en la que el procesador se comunica con los diversos periféricos, dicho procesador se comunica a través de un canal común que consta de varias líneas de datos y control. En él, todos los periféricos son capaces de compartir un mismo canal y lo usan para transferir información desde y hacia el procesador de entrada y salida, esto es lo que lo diferencia de un procesador de comunicación.

En la comunicación existente la información de control y de datos es transmitida de manera serial. La tarea primordial del procesador de comunicación de datos es transmitir y recolectar información de cada periférico para posteriormente determinar si dicha información es de datos o de control.

## 1.2.1 TIPOS DE COMUNICACIÓN SERIAL

Existen dos tipos de comunicaciones seriales, la síncrona y la asíncrona.

La comunicación serial síncrona es aquella en la que se necesitan dos líneas, una línea sobre la cual se transmitirán los datos y otra la cual contendrá los pulsos de reloj que indicarán cuando un dato es válido.<sup>5</sup>

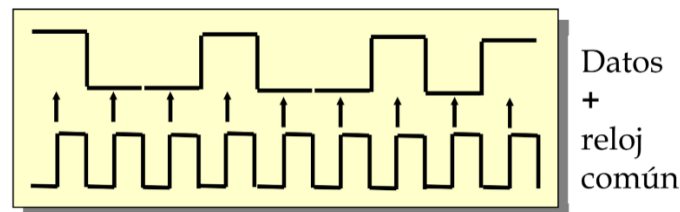


Fig.1.1 Comunicación Serial Síncrona. **Reloj único**, imposibilidad de error en la interpretación del intervalo de bit.<sup>6</sup>

Algunos ejemplos de la comunicación serial síncrona son:

- I2C (Inter Integrated Circuit)
- SPI (Serial Peripheral Interface)

Por otra parte, en la comunicación serial asíncrona, no son necesarios los pulsos de reloj. La duración de cada bit está determinada por la velocidad con la cual se realiza la transferencia de datos.<sup>7</sup>

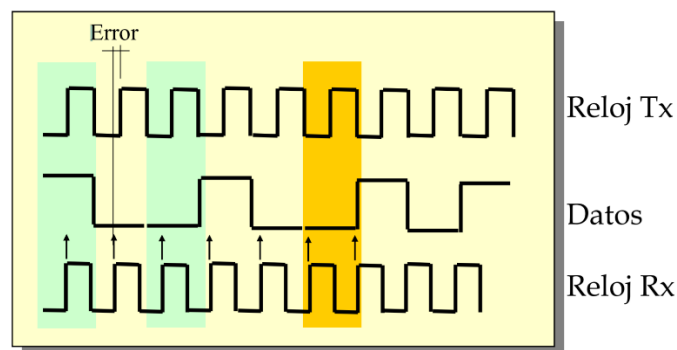


Fig. 1.2 Comunicación Serial Asíncrona. **Relojes diferentes**, no existen dos relojes iguales. Se producirá error de lectura antes o después si la secuencia de datos es arbitrariamente 'larga'.<sup>8</sup>

En este tipo de comunicación tanto el receptor como el transmisor deben tener los mismos parámetros de velocidad, paridad, número de bits del dato transmitido y de BIT de parada.

### 1.3 NORMA RS-232

Debido a la dificultad para comunicar diversos dispositivos, sistemas y protocolos surgió una necesidad tal que fuera capaz de permitir a los equipos de diversos fabricantes tener la posibilidad de comunicarse entre ellos.

La EIA (Electronics Industry Association) elaboro la norma RS-232, la cual define la interfaz mecánica, los pines, las señales y los protocolos que debe cumplir la comunicación serial.

Todas las normas RS-232 cumplen con los siguientes niveles de voltaje:

- Un “1” lógico es un voltaje comprendido entre  $-5\text{ V}$  y  $-15\text{ V}$  en el transmisor y entre  $-3\text{ V}$  y  $-25\text{ V}$  en el receptor.
- Un “0” lógico es un voltaje comprendido entre  $+5\text{ V}$  y  $+15\text{ V}$  en el trasmisor y entre  $+3\text{ V}$  y  $+25\text{ V}$  en el receptor.<sup>9</sup>

Para este protocolo el envío de niveles lógicos o bits es necesaria una conversión de los voltajes adecuados. Por lo general en los microcontroladores se utilizan voltajes inferiores a  $0.8\text{ V}$  para un 0 lógico y voltajes mayores a  $2.0\text{ V}$ . Generalmente cuando se trabaja con familias TTL y CMOS, se asume que un “0” lógico es igual a cero Volts y un “1” lógico es igual a cinco Volts.

### 1.4 NORMA TIA/EIA – 485

Por otra parte, cuando es necesaria la transmisión de datos a distancias mayores y con mayor velocidad se recurre a RS-485. Dicho protocolo no tiene limitación en cuanto al número de dispositivos que pueden ser conectados.

*Tabla.1.1 Ventajas entre normas*

NORMA	VETAJAS
<b>RS-232</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La mayoría de las computadoras tienen al menos un puerto serial de este tipo el cual permite la comunicación entre ella y dispositivos periféricos</li></ul>
<b>TIA/EIA – 485</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo costo: Los Circuitos Integrados para transmitir y recibir son baratos y solo requieren una fuente de <math>+5\text{V}</math> para poder generar una diferencia mínima de <math>1.5\text{v}</math> entre las salidas diferenciales. En</li></ul>

contraste con RS-232 que en algunos casos requiere de fuentes dobles para alimentar algunos circuitos integrados.

- Capacidad de interconexión: RS-485 es una interfaz multi-enlace con la capacidad de poder tener múltiples transmisores y receptores. Con una alta impedancia receptora, los enlaces con RS-485 pueden llegar a tener a lo máximo hasta 256 nodos.
- Longitud de Enlace: En un enlace RS-485 puede tener hasta 4000 pies de longitud, comparado con RS-232 que tiene unos límites típicos de 50 a 100 pies.
- Rapidez: La razón de bits puede ser tan alta como 10 Mega bits/segundo.<sup>10</sup>

## 1.5 COMUNICACIÓN SPI (SERIAL PERIPHERICAL INTERFACE)

La comunicación SPI es un canal de tres líneas sobre el cual es posible transmitir paquetes de información de 8 bits. Cada una de las tres líneas es capaz de portar la información entre los diferentes dispositivos conectados al canal.

Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full dúplex (capacidad de mantener una comunicación bidireccional). Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercera línea es la del reloj.

Algunos dispositivos solo pueden ser transmisores y otros solo receptores, generalmente un dispositivo que transmite datos también puede recibir.<sup>11</sup>

La memoria EEPROM es un ejemplo de la comunicación SPI ya que es un dispositivo que puede transmitir y recibir información.

En la comunicación SPI todos los dispositivos que se conectan al mismo canal pueden ser definidos como esclavos o maestros. Por una parte, el maestro es aquel que es capaz de iniciar la transferencia de información sobre el canal y genera las señales de reloj y de control.

Por otra parte, un esclavo es un dispositivo que es controlado por el maestro, cada esclavo es controlado sobre el canal a través de una línea selectora llamada Chip Select o Select Slave, por lo tanto, el esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo.

El bus SPI emplea un simple registro de desplazamiento para transmitir la información.<sup>12</sup>

## Características del Bus

Todas las líneas del bus transmiten la información sobre una sola dirección.

- La señal sobre la línea de reloj (SCLK) es generada por el maestro y sincroniza la transferencia de datos.
- La línea MOSI (Master Out Slave In) transporta los datos del maestro hacia el esclavo.
- La línea MISO (Master In Slave Out) transporta los datos del esclavo hacia el maestro.<sup>13</sup>

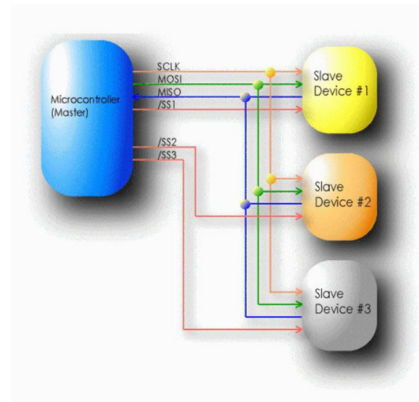


Fig. 1.3 Diagrama comunicación SPI<sup>14</sup>

Cada esclavo se inicia con un nivel lógico bajo "0" a través de la línea (CS Chip Select o SS Slave Select). Los datos que son transmitidos por este canal pueden ir desde casi cero bits/segundo hasta 1 Mbits/segundo. Los datos son transferidos en bloques de 8 bits en donde el bit más significativo es transmitido en primer lugar.<sup>15</sup>

## 1.6 COMUNICACIÓN I2C

Con la necesidad de poder comunicar diversos dispositivos sin la necesidad de hacer muchas conexiones en 1980 Phillips creó el bus I<sup>2</sup>C (Inter Integrated Circuit) para la comunicación de circuitos integrados.

Inicialmente el bus de datos I<sup>2</sup>C estaba establecido para funcionar a 100 kbits/s ya que el uso de este bus era para el control de señales simples. Con el paso del tiempo, dicho bus fue modificado para alcanzar velocidades de hasta 3.4 Megabits/s para la transferencia de datos.

El bus I<sup>2</sup>C es un protocolo de comunicación serial que es utilizado principalmente entre dispositivos que tienen la particularidad de pertenecer al mismo circuito.

## Características

- Se necesitan solamente dos líneas, la de datos (SDA) y la de reloj (SCL).
- Cada dispositivo conectado al bus tiene un código de dirección seleccionable mediante software. Habiendo permanentemente una relación Maestro/Esclavo entre el micro y los dispositivos conectados
- Permite la conexión de varios Maestros, ya que incluye un detector de colisiones.
- El protocolo de transferencia de datos y direcciones posibilita diseñar sistemas completamente definidos por software.
- Los datos y direcciones se transmiten con palabras de 8 bits.<sup>16</sup>
- Velocidad standard de 100Kbit/s (100 kbaudios). Se puede cambiar al modo de alta velocidad (400 Kbit/s)
- La comunicación siempre tiene la estructura siguiente:
  - Transmisor: Byte de datos (8 Bits)
  - Receptor: Bit llamado ACK de confirmación.<sup>17</sup>

En el protocolo I<sup>2</sup>C el maestro es el microcontrolador, aunque este mismo puede desempeñarse tanto como maestro como esclavo. La estructura de este bus es simple, contiene dos únicos cables a los cuales se pueden conectar diversos circuitos o chips dependiendo de las necesidades que se tengan.

La posibilidad de conectar más de un microcontrolador al Bus significa que uno o más microcontroladores pueden iniciar el envío de datos al mismo tiempo. Para prevenir el caos que esto ocasionaría se ha desarrollado un sistema de arbitraje.

Si uno o más master intentan poner información en el bus es la señal del reloj si está a "1" o a "0" lo que determina los derechos de arbitraje.<sup>18</sup>

Tabla. 1.1 Términos generalmente usados en el bus I<sup>2</sup>C<sup>19</sup>

Términos	Descripción
<b>Transmisor</b>	El dispositivo que envía los datos al Bus.
<b>Receptor</b>	El dispositivo que recibe los datos desde el Bus.
<b>Master (Maestro)</b>	El dispositivo que inicia una transferencia, genera las señales de reloj y termina un envío de datos.
<b>Slave (Esclavo)</b>	El dispositivo direccionado por un master.
<b>Multi-Master</b>	Más de un master puede controlar el bus al mismo tiempo sin corrupción de los mensajes.
<b>Arbitraje</b>	Procedimiento que asegura que, si uno o más master deciden controlar el Bus, sólo uno es el permitido a controlarlo y el mensaje no es deteriorado.
<b>Sincronización</b>	Procedimiento para sincronizar las señales del reloj de dos o más dispositivos.

La generación de la señal de reloj (SCL) siempre es tarea del dispositivo Maestro. Cada maestro genera su propia señal de reloj cuando envía datos al bus, las señales de reloj de un master solo pueden ser alteradas cuando la línea de reloj sufre una caída por un dispositivo esclavo o por el dominio del control del Bus por el arbitraje de otro microcontrolador.<sup>20</sup>

Los dispositivos conectados al bus deben de cumplir con ser de colector abierto, es decir, en paralelo, esto para que los estados de salida del reloj (SCL) y de dato (SDA) desempeñen la función de “cable AND” del bus.

Mientras que la transferencia de datos está inactiva tanto la línea del reloj (SCL) como la línea de datos (SDA) son "tiradas" arriba a través de resistencias externas pull-up.

Existe una limitación significativa en la conexión de dispositivos que puede haber en el bit de datos y es que esta depende de la capacidad máxima que no puede superar los 400pF.

*Tabla.1.2 Ventajas y desventajas de la comunicación serial SPI e I2C*

TIPO	VETAJAS	DESVENTAJAS
<b>SPI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicación Full Dúplex.</li> <li>• Es más rápido que el I2C y que el puerto Serie asíncrono normal.</li> <li>• El tamaño de los mensajes puede ser arbitrariamente grande.</li> <li>• Se requiere un hardware sencillo y barato.</li> <li>• Requiere un menor consumo y menor electrónica de conexión que el I2C.</li> <li>• Como el Reloj lo proporciona el maestro, los esclavos no necesitan osciladores es decir el costo se reduce.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita más pines que el I2C o el Puerto serie normal.</li> <li>• Las comunicaciones tienen que estar perfectamente establecidas, no se puede enviar mensajes de diferentes longitudes a placer.</li> <li>• No existe señal de conforme del esclavo, se espera que obedezca y punto.</li> <li>• Existe un maestro único y casi sin posibilidad de maestros múltiples.</li> <li>• Funciona solo en distancias muy cortas.</li> <li>• Normalmente necesita de un pin adicional por cada esclavo y si el número de este crece puede acabar siendo un problema.</li> </ul>
<b>I2C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta una transferencia “lenta” en comparación con el modo SPI y mucho más con la lectura/escritura directa de los puertos de un microcontrolador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es Full-Dúplex por lo que no es capaz de permitir envíos y recepciones al mismo tiempo.</li> <li>• Es un poco más complejo que SPI.</li> <li>• No hay control de errores, por</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es útil y se emplea en muchas aplicaciones en las que la velocidad de transferencia es mucho mayor de lo que el caso requiere.</li> <li>• Su principal ventaja, es que una vez disponible el microcontrolador con sus funciones de interface con bus I2C, la inclusión de un dispositivo I2C adicional sólo necesitaría su conexión a las dos líneas del bus (SDA y SCL que son las mismas para todos) y asignarle una dirección. Los intercambios se realizarían utilizando los mismos subprogramas para todos.</li> <li>• La tensión de funcionamiento va de 2,5V a 5,5V y no es necesaria la presencia de “drivers” de adaptación de tensión externos (integración en los propios dispositivos).<sup>21</sup></li> </ul>	<p>ejemplo, mediante paridad etc. Aunque si se puede realizar por Software.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad no tan elevada como SPI.</li> <li>• En el modo estándar, el número de nodos es limitado a 128.</li> <li>• Su velocidad es media-baja.</li> <li>• No hay verificación de que el contenido del mensaje es correcto.<sup>22</sup></li> </ul>
--	--

## 1.7 MICROCONTROLADORES

Para hablar de los microcontroladores es necesario definir qué es un controlador. Un controlador es un dispositivo que generalmente es usado para ser quien lleve a cabo uno o varios procesos. Por ejemplo, el controlador de una impresora 3D es aquel que se encarga de estar censando los valores de temperatura, velocidad de los motores y coordinación entre los mismos y en caso de ser necesario generar las señales que se adecuen a las necesidades de la tarea que se está realizando, ir más lento, bajar la temperatura, regular la velocidad de extrusión etc.

De esta manera un microcontrolador es un circuito integrado que posee la cualidad de ser programable y que cuenta con los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).



- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

En el mercado existen diversas empresas que se dedican a la fabricación de microcontroladores, las más comunes se muestran en la tabla siguiente:

Tabla. 1.3 Empresas fabricantes de microcontroladores <sup>23</sup>

Empresa	8 bits	16 bits	32 bits
<b>Atmel</b>	AVR (mega y tiny), 89Sxxxx familia Cortexsimilar 8051		SAM7 (ARM7TDMI), SAM3 (ARM Cortex-M3), SAM9 (ARM926)
<b>Freescale</b>	68HC05, 68HC08, 68HC11, HCS08	68HC12, 68HCS12, 68HCSX12, 68HC16	683xx, PowerPC, ColdFire
<b>Intel</b>	MCS-48 (familia 8048) MCS51 (familia 8051) 8xC251	MCS96, MXS296	
<b>National Semiconductor</b>	COP8		
<b>Microchip</b>	Familia 10f2xx Familia 12Cxx Familia 12Fxx, 16Cxx y 16Fxx 18Cxx y 18Fxx	PIC24F, PIC24H y dsPIC30FXX, dsPIC33 F con motor dsp integrado	PIC32
<b>Philips</b>	80C51	XA	Cortex-M3, Cortex-M0, ARM7, ARM9
<b>Renesas</b>	78K, H8	H8S, 78KOR, R8C, R32 C/ M32C/M16C	RX, V850, SuperH, SH-Mobile, H8SX
<b>Texas Instruments</b>	TMS370, MSP430		C2000, Cortex-M3 (ARM), TMS570 (ARM)
<b>Zilog</b>	Z8, Z86E02		

Existen microcontroladores de 4, 8, 16 y 32 bits, aunque aquellos que son de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits los que dominan el mercado son los de 8 bits. La razón es debido a que estos son más apropiados para las aplicaciones en las que son empleados y por lo tanto los de 16 y 32 salen sobrados.

Generalmente los microcontroladores trabajan bajo la arquitectura clásica de Von Neumann y bajo la arquitectura Harvard.

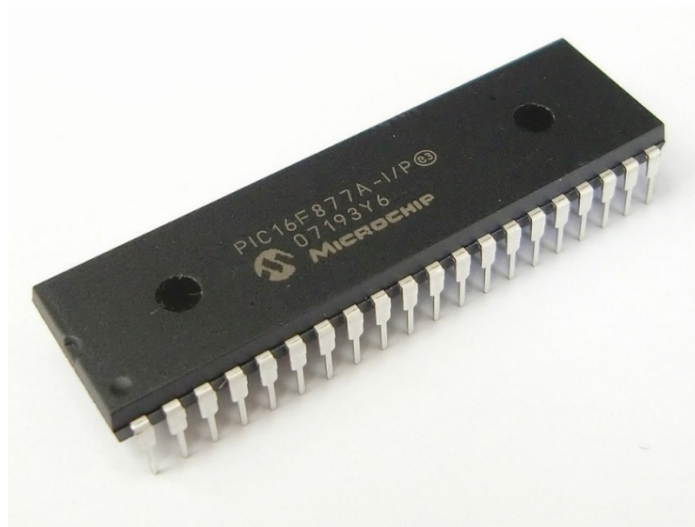
Por un lado, la arquitectura de Von Neumann tiene la característica de poseer una sola memoria principal que es en donde se almacenan los datos e instrucciones de una manera distinta. Para acceder a dicha memoria es necesario ingresar a través de un sistema de bus único en cuanto a direcciones datos y control.

Por otra parte, la arquitectura Harvard tiene la característica de disponer de dos memorias independientes, por una parte, una solo contiene instrucciones y la otra contiene datos. Las dos memorias cuentan con sus respectivos buses y hay posibilidad de realizar operaciones de acceso de lectura o escritura simultáneamente en ambas memorias.

### **Microcontrolador PIC**

PIC (Peripheral Interface Controller) es un microcontrolador que principalmente fue diseñado para cumplir con propósitos muy distintos, esto fue con su predecesor el PIC1650. Posteriormente dicho dispositivo se volvió un verdadero microcontrolador con las características con las que ahora cuenta.

Todos los PIC trabajan bajo la arquitectura Harvard, esto quiere decir que su memoria esta propiamente conectada al CPU. Existen microcontroladores de 12, 14 y 16 bits, esto dependerá del tamaño del bus.



*Fig. 1.4 Microcontrolador PIC16F877A*

### **Ventajas de los microcontroladores PIC de Microchip:**

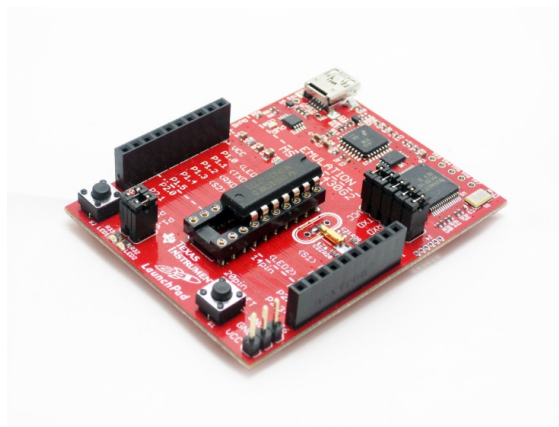
- Eficiencia del código: permiten una gran compactación de los programas.

- Rapidez de ejecución: a frecuencia de 20MHz->5 millones de instr/Seg.
- Seguridad en acceso por la separación de memoria de datos y de programa.
- Juego reducido de instrucciones y de fácil aprendizaje.
- Compatibilidad de pines y código entre dispositivos de la misma familia o sin reducción de las prestaciones internas (muy versátiles).
- Gran variedad de versiones en distintos encapsulados (desde 8 hasta 84 pines) sin reducción de las prestaciones internas (muy versátiles).
- Posibilidad de protección del código muy fiable.
- Herramientas de desarrollo software y hardware abundantes y de bajo costo.<sup>24</sup>

## Launchpad

Fabricado por Texas Instruments, Launchpad es una herramienta de desarrollo y de evaluación que tiene la capacidad para realizar operaciones de procesamiento analógico de complejidad simple a media.

Está diseñada con un CPU de 16 bits, trabaja bajo la arquitectura Von Neumann es decir que tanto la RAM, ROM y los periféricos se encuentran en el mismo espacio de memoria. Este microcontrolador está fuertemente enfocado en aplicaciones de bajo costo y de baja potencia tales como equipos operados con baterías.



*Fig. 1.5 Microcontrolador Launchpad*

## **Características**

- USB 2.0 integrado.
- Dispositivo MSP430F5529 con memoria Flash de 128 KB / RAM de 8 KB hasta 25 MHz.
- ADC SAR de 12 bits.
- Emulación integrada.
- Cabezal BoosterPack de 20 y 40 pines.
- Botones, indicadores LED.
- Pines de desconexión para creación sencilla de prototipos.

## **Ventajas**

- El MSP430 más rápido a 25 MHz, con memoria Flash de 128 KB y memoria RAM de 8 KB en placa y USB integrado.
- USB 2.0 integrado de máxima velocidad, pilas libres (HID/MSC/CDC) y herramienta de generación de código libre (USB Descriptor Tool) para la creación de aplicaciones para PC sin necesidad de tener experiencia con USB.
- El funcionamiento de baja potencia es perfecto para aplicaciones alimentadas con batería.

## **Tarjeta de desarrollo Arduino**

Arduino es una plataforma de creación de prototipos Open Source (de Código Abierto) que se basa en el uso de software y hardware fáciles de usar.

Arduino está formado por un microcontrolador de 8 bits, aunque con mejoras existen diversos Arduinos que cuentan con microprocesadores de hasta 32 bits capaces de ejecutar funciones más complejas y más exigentes. Incorpora puertos de entrada y salida en los que se pueden conectar diversos dispositivos.

Debido a que existen diversas versiones de Arduino, cada una cuenta con sus propias características, a continuación, se mencionan algunos de ellos.

### **Arduino UNO**

Arduino Uno es una tarjeta de desarrollo basado en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se pueden usar como

salidas PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio.

Arduino Uno difiere de todas las tarjetas anteriores ya que no utiliza el chip driver FTDI USB-to-serial. En su lugar, cuenta con el Atmega16U2 (Atmega8U2 hasta la versión R2) programado como un convertidor de USB a serie.

Tabla. 1.4 Especificaciones Técnicas Arduino UNO <sup>25</sup>

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines digitales I/O	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines PWM I/O	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por pin I/O	20 mA
Corriente DC en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0.5 KB son usados por el bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad del reloj	16 MHz
LED BUILTIN	13
Largo	68.6 mm
Ancho	53.4 mm
Peso	25 g

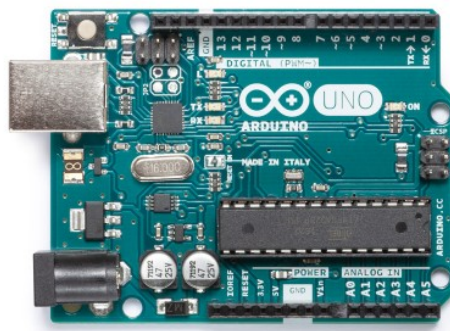


Fig. 1.6 Tarjeta de desarrollo Arduino UNO

## Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 es una tarjeta de desarrollo basado en el microcontrolador ATmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, Y un botón de reinicio.

Tabla. 1.5 Especificaciones Técnicas Arduino Mega2560 <sup>26</sup>

Microcontrolador	ATmega2560
<b>Voltaje de operación</b>	5V
<b>Voltaje de entrada (recomendado)</b>	7-12V
<b>Voltaje de entrada (límite)</b>	6-20V
<b>Pines digitales I/O</b>	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
<b>Pines de entrada analógica</b>	16
<b>Corriente DC por pin I/O</b>	20 mA
<b>Corriente DC en pin 3.3V</b>	50 mA
<b>Memoria Flash</b>	256 KB de los cuales 8 KB son usados por el bootloader
<b>SRAM</b>	8 KB
<b>EEPROM</b>	4 KB
<b>Velocidad del reloj</b>	16 MHz
<b>LED_BUILTIN</b>	13
<b>Largo</b>	101.52 mm
<b>Ancho</b>	53.3 mm
<b>Peso</b>	37 g

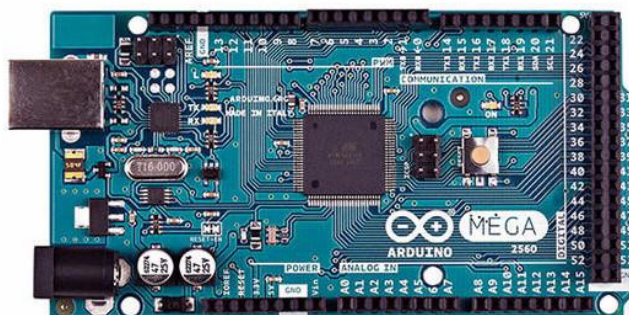


Fig. 1.7 Tarjeta de desarrollo Arduino MEGA

## Arduino Due

Arduino Due es una tarjeta de desarrollo basada en un CPU ARM Cortex-M3 Atmel SAM3X8E. Es la primera placa Arduino basada en un microcontrolador de núcleo ARM de 32 bits. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 12 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un reloj de 84 MHz, una conexión USB OTG, 2 DAC (digital a analógico), 2 TWI, una toma de alimentación, una cabecera SPI, una cabecera JTAG, un botón de reinicio y un botón de borrado.

Tabla. 1.6 Especificaciones Técnicas Arduino Due <sup>27</sup>

Microcontrolador	AT91SAM3X8E
Voltaje de operación	3.3V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-16V
Pines digitales I/O	54 (de los cuales 12 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	12
Pines de salida analógica	2 (DAC)
Corriente DC en pin 3.3V	800 mA
Corriente DC en pin 5V	800 mA
Memoria Flash	512 KB disponible para las aplicaciones del usuario
SRAM	96 KB (dos bancos de memoria: 64KB y 32KB)
Velocidad del reloj	84 MHz
Dimensiones	101.52 x 53.3 mm
Peso	37 g

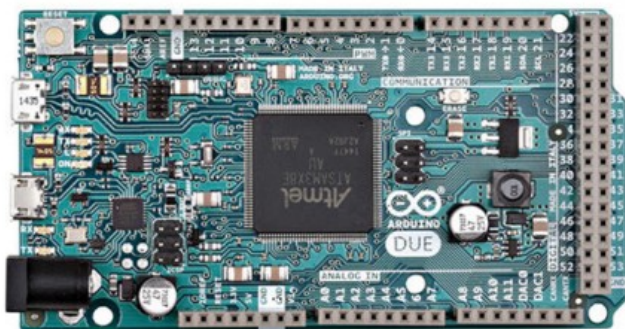


Fig. 1.8 Tarjeta de desarrollo Arduino Due

## Arduino Nano

Arduino Nano es una tarjeta de desarrollo pequeña, completa y basada en el microcontrolador ATmega328 (Arduino Nano 3.x) o ATmega168 (Arduino Nano 2.x). Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Duemilanove, pero en un paquete diferente. Carece de una toma de corriente DC, y funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar. El Nano fue diseñado y está siendo producido por Gravitech.

Tabla. 1.7 Especificaciones Técnicas Arduino Nano <sup>28</sup>

Microcontrolador	ATmega328P
Arquitectura	AVR
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Pines digitales I/O	22
Pines PWM I/O	6
Pines de entrada analógica	8
Corriente DC por pin I/O	40 mA
Consumo de energía	19 mA
Memoria Flash	32 KB de los cuales 2 KB son usados por el bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Dimensiones	18 x 45 mm
Peso	7 g

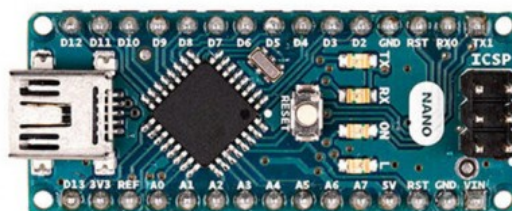


Fig. 1.9 Tarjeta de desarrollo Arduino Nano



# Capítulo 2

## DISEÑO DE INTERFAZ PARA MÁQUINA DE ENSAYOS ACELERADOS

### 2.1 ¿QUÉ ES UNA INTERFAZ?

La palabra interfaz proviene de la palabra en inglés “*interface*” la cual se define como la conexión que se puede dar entre dispositivos o sistemas en la cual existe una interacción y un intercambio de información.

A la interacción existente entre un usuario y un sistema se le conoce como interfaz de usuario y es el medio utilizado para comunicar algún dispositivo, computadora, máquina, etc. Son creadas para que su interacción con el usuario sea fácil de entender y de manipular por lo cual es preferible que estas mismas sean intuitivas.

Estas “interfaces” pueden ser gráficas, es decir que la interfaz de usuario se complementa con imágenes y objetos gráficos tales que ayuden a representar la información y comandos o acciones disponibles dentro de la misma.

El punto esencial de una interfaz gráfica es proporcionar al usuario un entorno visual tal que permita su fácil maniobramiento.

#### **Antecedentes de las interfaces gráficas**

La primera interfaz gráfica de usuario data de los años 70, dicha interfaz fue creada en el Centro de investigación Xerox en Palo Alto (PARC). En este nuevo sistema podía apreciarse un paradigma basado en ventanas, iconos, menús y cursores, antes probado en el ordenador experimental Xerox Alto y que apareció comercialmente en el ordenador Xerox Star en 1981.

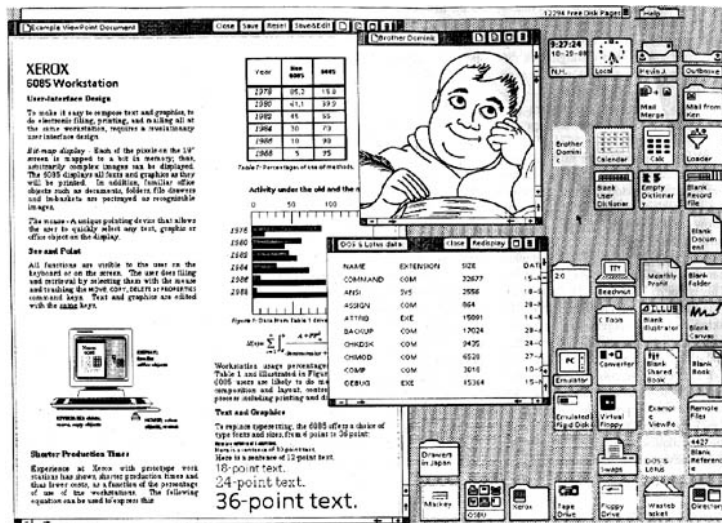


Fig.2.1 Xerox PARC GUI<sup>29</sup>

Posteriormente en 1984 Macintosh fue el primer ordenador comercial de éxito que disfrutó del uso de una interfaz gráfica de usuario, usaron una metáfora de escritorio similar a la de Star. Las primeras versiones de Lisa no seguían exactamente el paradigma WIMP (ventanas, iconos, menús y puntero), pero futuras versiones se vieron aún más influenciadas por el prodigio de Xerox.

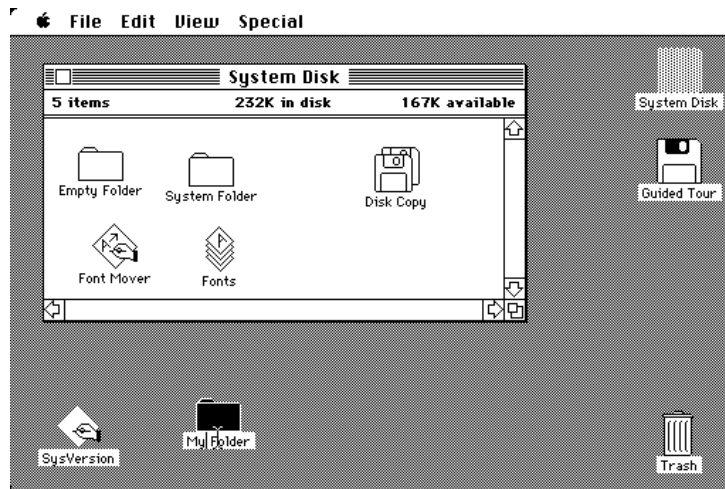


Fig.2.2 Apple Lisa GUI<sup>30</sup>

DESQview fue el primer programa que acercó la multitarea al dos, permitiendo ejecutar varios programas concurrentemente en ventanas. Aunque no era realmente una GUI,

pues basaba su funcionamiento en el texto, compartía con ellas ciertas ideas como poder cambiar el tamaño de las ventanas, la superposición de estas y el uso del ratón.

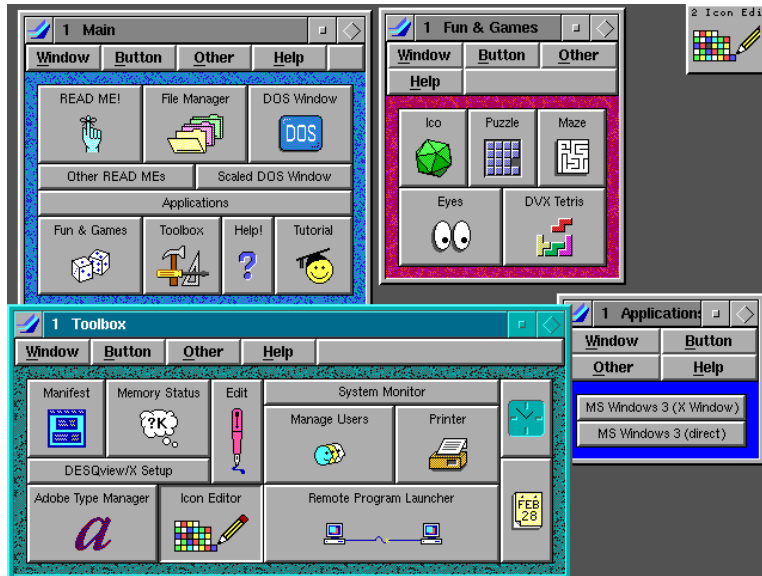


Fig.2.3 DESQview GUI<sup>31</sup>

El uso de gráficos orientados a objetos cambió radicalmente la imagen de las GUI's hasta la que se puede ver hoy en día. Avanzadas funciones gráficas como botones animados, iconos de 24 bits de color, fondos para pantallas y ventanas, transparencias y sombras convirtieron al Workbench en una completa y moderna interfaz gráfica.



Fig.2.4 AmigaWB GUI<sup>32</sup>

Windows 1.0 era una GUI para el sistema operativo MS-DOS, que había sido el sistema elegido por los ordenadores de IBM y compatibles desde 1981, pero no fue hasta la versión 3.0 presentada en 1990 que se hizo popular. Desde aquella época la GUI ha sido rediseñada en mayor o menor medida, aunque conservando una estructura similar desde Windows 95.

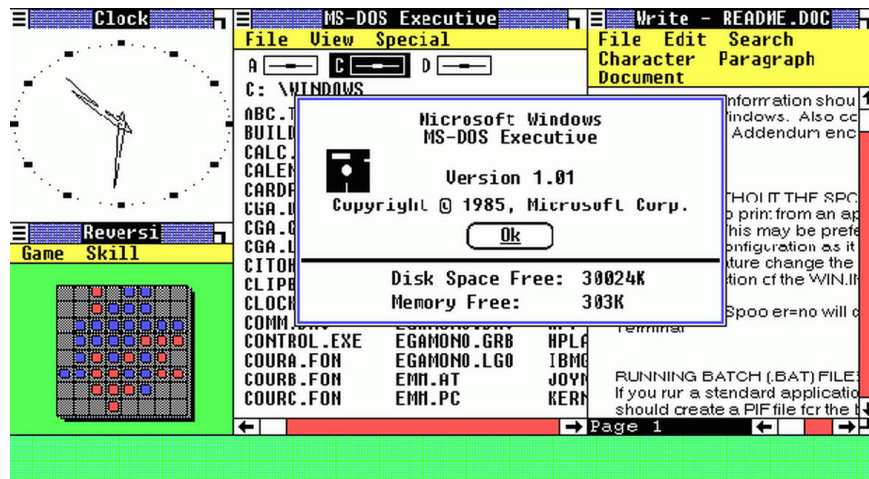


Fig.2.5 Windows GUI<sup>33</sup>

BeOS fue desarrollado en ordenadores de la gama Hobbit de AT&T como alternativa al Mac OS por un anterior directivo de Apple. Usaba un kernel orientado a objetos y, tras mucho esfuerzo, se consiguió hacer de él una eficiente plataforma para multimedia.



Fig.2.6 BeOS GUI<sup>34</sup>

Con muchas ideas copiadas de NeXTSTEP, MacOSX GUI es una de las interfaces actualmente más impresionantes de ver funcionando, debido a sus diferentes efectos como el aladino o el exposé. Es actualmente la GUI con la que se distribuyen los ordenadores Macintosh.<sup>35</sup>



Fig.2.7 Mac OS X GUI<sup>36</sup>

## 2.2 TIPOS DE INTERFAZ

Existen básicamente 3 tipos de interfaces de usuario, interfaz de hardware, interfaz de software e interfaz de hardware y software.

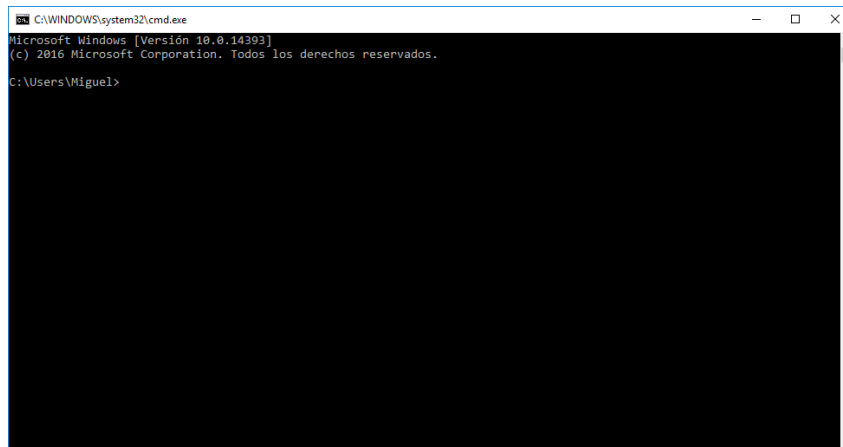
Por una parte, una interfaz de hardware hace uso de los dispositivos que se utilizan para recabar información. Una interfaz de software es la encargada de procesar los datos y de entregar información acerca de los procesos. Por último, una interfaz de hardware y software es aquella que establece una conexión entre la máquina y el usuario, permitiendo su interacción al traducir la información proveniente de la maquina en información que sea capaz de ser comprendida por el usuario.

### Según su forma de interactuar con el usuario

También una interfaz puede clasificarse según la forma en la que la misma puede interactuar con el usuario, dentro de esta clasificación se encuentran:

- **Interfaz de línea de comandos:** Por sus siglas en inglés Command-Line Interface, **CLI** son aquellas que son interpretadas solo con texto, las cuales son también conocidas como interfaces alfanuméricas.

Un ejemplo de este tipo de interfaz es el intérprete de comandos de Windows (CMD).



*Fig.2.8 Interfaz de Línea de Comandos*

- **Interfaz gráfica de usuario:** Por sus siglas en inglés Graphic User Interface, **GUI** como ya se mencionó este tipo de interfaces permite la comunicación de una manera intuitiva presentado de forma gráfica los elementos de control que la componen.



*Fig.2.9 Interfaz Gráfica de Usuario Windows 10*

- **Interfaz natural de usuario:** Por sus siglas en inglés Natural User Interface, **NUI** es aquella que puede ser representada de forma gráfica, mantiene un panel de control sensible al tacto el cual permite al usuario interactuar con ella mediante los dedos de tal forma que son los mismos que accionan un control. Pueden también funcionar por reconocimiento de voz tal como lo es el asistente personal Siri de la compañía Apple Inc.



*Fig.2.10 Interfaz Natural de Usuario (Dispositivo Leap Motion) <sup>37</sup>*

## 2.3 PROGRAMACIÓN DE UNA INTERFAZ

Cuando se requiere crear una experiencia con el usuario es necesario crear algo que le permita interactuar con aquellos sistemas que pretenda controlar, para ello es necesario crear una interfaz de usuario tal que sea capaz de cubrir las necesidades del mismo evitando ignorar aquellas que sean de menor importancia. Dicha interfaz debe de tener algunos puntos importantes tales como trabajar bien y de manera constante, así como llevar a cabo las tareas programadas de manera rápida, eficaz e intuitiva.

Algo importante de mencionar son las interfaces de programación las cuales por sus siglas en inglés Application Programming Interface, API es un conjunto de funciones, métodos o procedimientos que permiten acceder a una serie de servicios ofrecidos por una aplicación a través del uso de un lenguaje de programación.

Es también conocida como una capa de abstracción tal que permite implementar funciones y procedimientos de los que consta una interfaz sin la necesidad de volver a programarlas.

Para el desarrollo de una interfaz es importante considerar algunos aspectos tales como:

- **Alta cohesión y bajo acoplamiento:** Para el desarrollo de una interfaz este aspecto es muy importante, por una parte, la alta cohesión se refiere a que cada componente haga lo que le corresponde. Por el contrario, la baja cohesión busca que al modificar un elemento este cambio no se propague hacia otros elementos. El bajo acoplamiento se logra englobando detalles de implementación, es decir que la interfaz de un elemento no debe de exponer detalles internos del mismo tales como las estructuras de datos en las que se almacena el estado en el que se encierra, debido a que los mismos debe de poder cambiarse sin la necesidad que esto afecte a los usuarios que utilizan la interfaz. Por lo tanto, cada elemento debe de ser diseñado de tal forma que el mismo no exponga los detalles de su implementación.
- **Programación defensiva:** Cuando una interfaz es expuesta tal que pueda ser usada por un sistema externo o para que se construya un programa haciendo uso de ella, debe de ser necesario tomar las debidas precauciones en relación con los valores de entrada de los métodos de la interfaz, ya que la programación defensiva implica validar todas las entradas y considerar las posibles situaciones inesperadas.
- **Aspectos de calidad de servicio:** Para este punto es necesario especificar los aspectos relacionados con la calidad del servicio por ejemplo que sea sencilla, intuitiva, que la interfaz funcione en los tiempos establecidos entre otros aspectos.

Otro punto importante que se podría destacar es la conexión con sistemas externos, es decir, puede comunicarse con un sistema independiente del mismo. Los sistemas actuales pueden llegar a trabajar de tal forma que se puedan conectar con otros sistemas tal que hagan uso de las funcionalidades provistas por esos mismos y para permitir dicha interacción es importante establecer interfaces tales que sean capaces de establecer conexiones para que la forma de intercambiar información sea la correcta.



## 2.4 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA INTERFAZ GRÁFICA

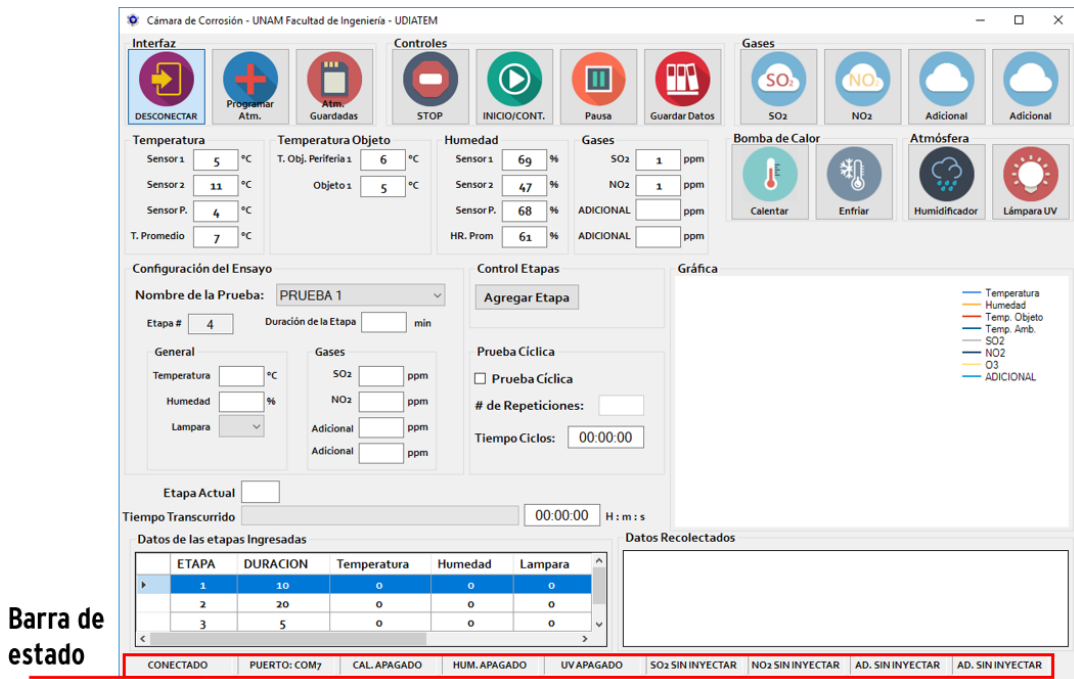
Una interfaz gráfica puede contener diversos elementos que son usados de manera universal, a continuación, se menciona una lista de los mismos:

- **Barra de desplazamiento:** es un elemento que consta de una barra tanto vertical como horizontal que permiten el desplazamiento del contenido de una ventana, cuadro de texto o algún otro elemento que pueda presentar algún tipo de contenido.

ETAPA	DURACION	Temperatura	Humedad	Lampara
1	10	0	0	0
2	20	0	0	0
3	5	0	0	0

Fig.2.11 Barra de desplazamiento Interfaz Cámara de Corrosión

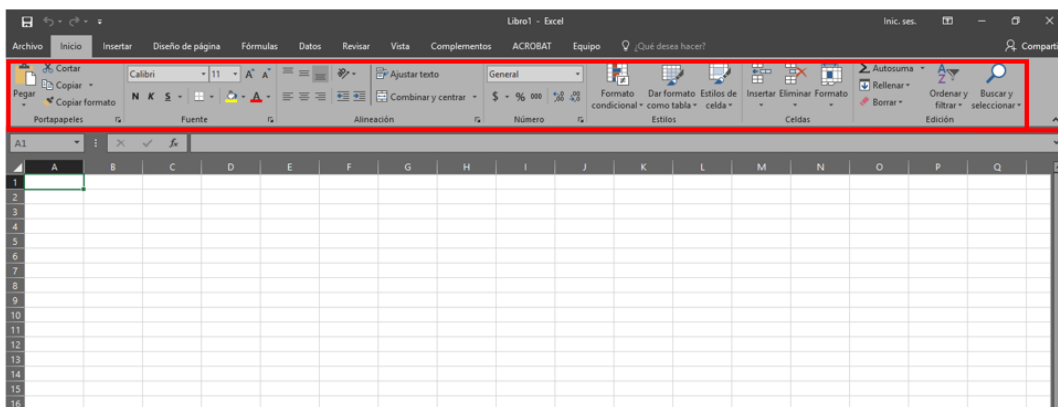
- **Barra de estado:** Este elemento permite mostrar información acerca del estado en el que se encuentra la ventana actual, generalmente dicho elemento es ubicado en la parte inferior de las ventanas.



Barra de estado

Fig.2.12 Barra de estado Interfaz Cámara de Corrosión

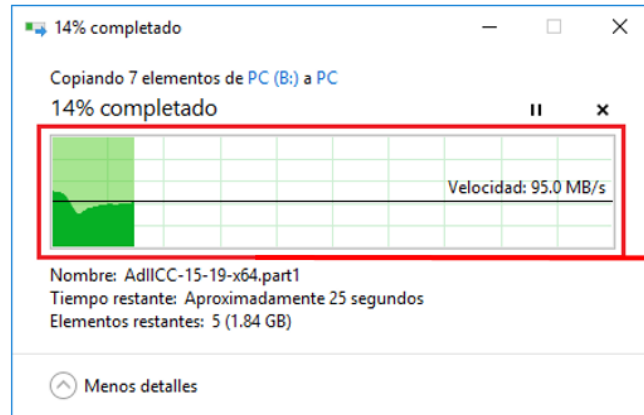
- **Barra de herramientas:** En ella se agrupan diversas opciones las cuales cumplen con ciertas funciones específicas, es posible acceder a ellas y se pueden ubicar con ayuda de iconos con los que se representan.



Barra de herramientas

Fig.2.13 Barra de herramientas Microsoft Excel

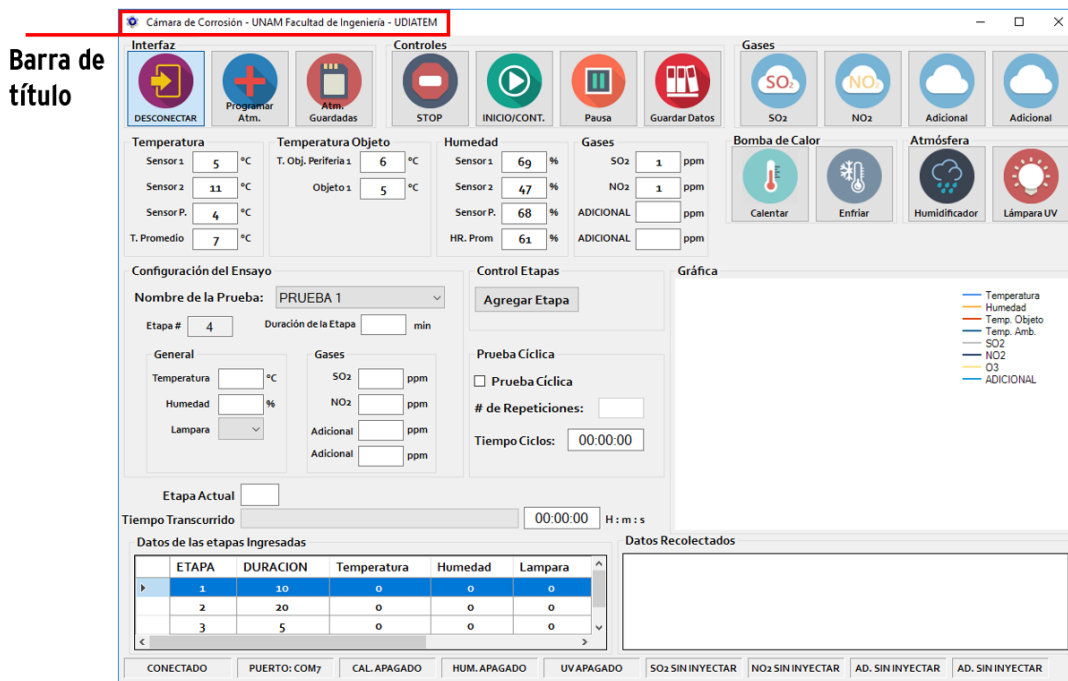
- **Barra de progreso:** Este elemento permite mostrar de manera gráfica el estado en el que se encuentra un proceso.



**Barra de progreso**

Fig.2.14 Barra de progreso Windows 10

- **Barra de título:** Este elemento es el que se encuentra en la parte superior de una ventana, en ella aparece el título correspondiente a la ventana que se encuentra activa.



**Barra de título**

Fig.2.15 Barra de título Interfaz Cámara de Corrosión

- **Botones:** Permiten una interacción entre el usuario y alguna opción de control de la interfaz. Permiten iniciar un evento, interactuar con un cuadro de diálogo, aceptar algún proceso, etc.

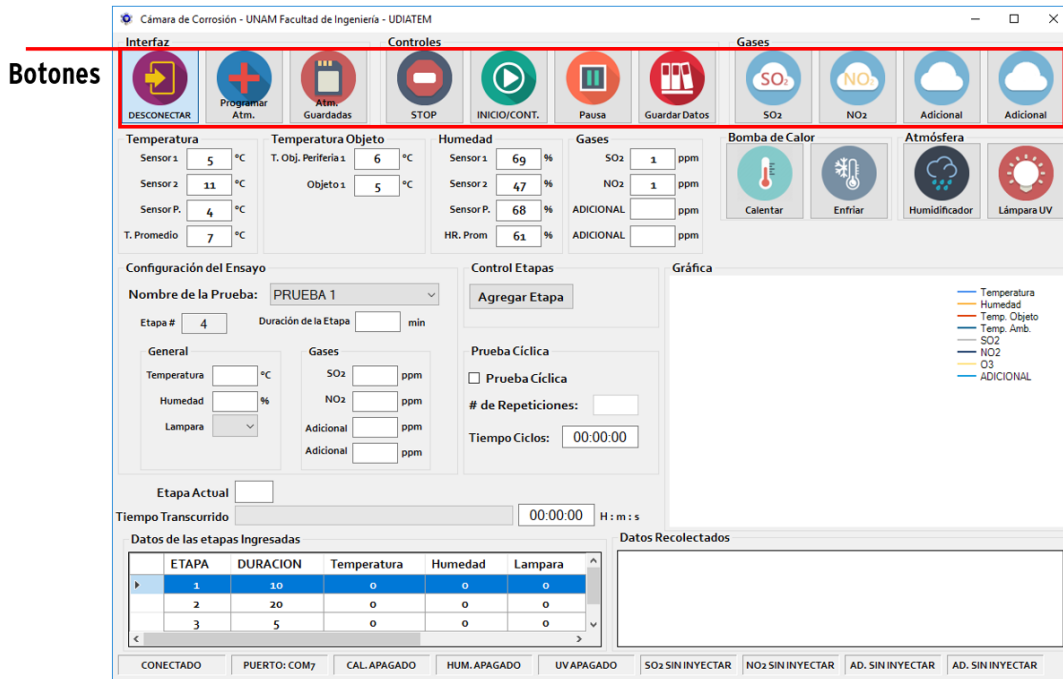


Fig.2.16 Botones Interfaz Cámara de Corrosión

- **Botones de opción:** Permiten elegir una sola opción de un conjunto de opciones dadas.

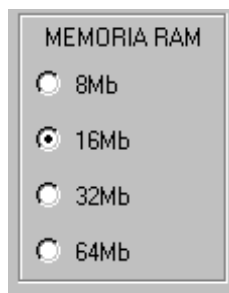


Fig.2.17 Botones de opción Windows

- **Casillero de verificación:** A comparación de los botones que permiten la selección de una opción, este permite marcar múltiples opciones dentro de una lista.

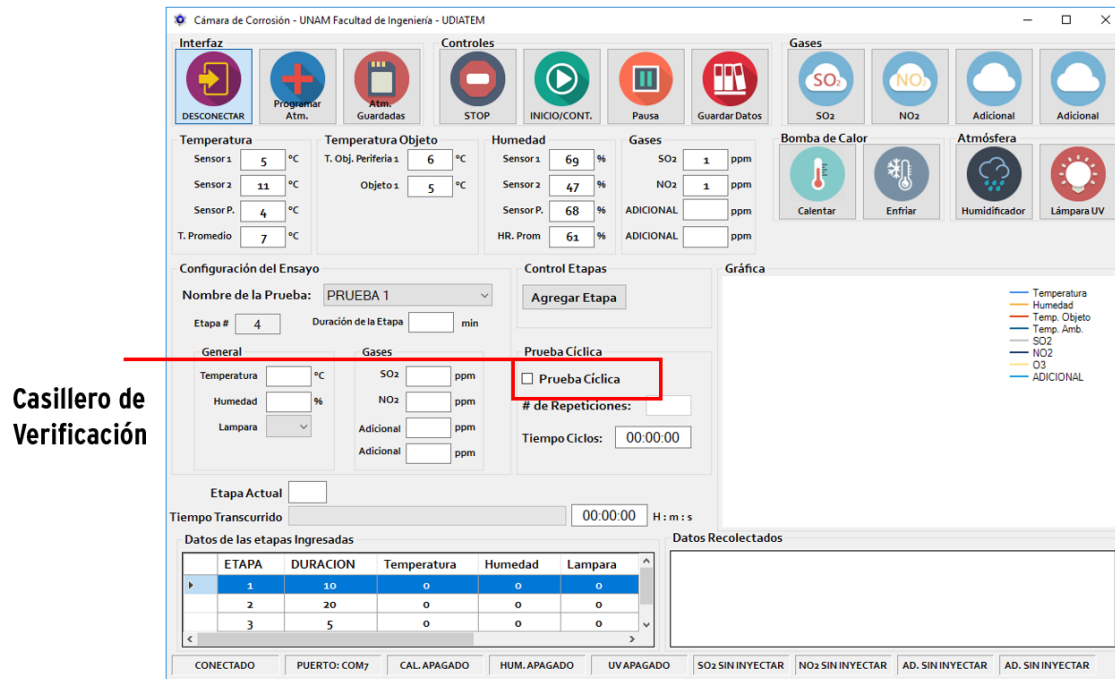


Fig.2.18 Casillero de verificación Interfaz Cámara de Corrosión

- **Cuadro de diálogo:** Este elemento es una ventana que presenta información al usuario para permitirle obtener una respuesta.

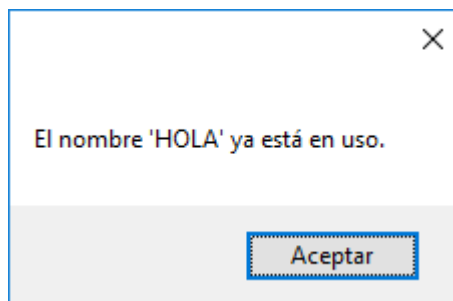


Fig.2.19 Cuadro de diálogo Interfaz Cámara de Corrosión

- **Cuadro de texto:** Es un elemento que permite insertar texto.

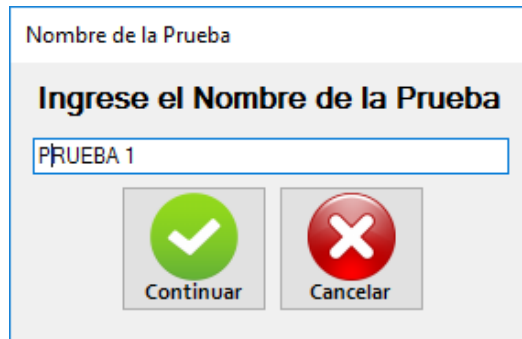


Fig.2.20 Cuadro de Texto Interfaz Cámara de Corrosión

- **Íconos:** estos elementos permiten al usuario identificar archivos, accesos directos, herramientas, entre otros elementos. Hacen posible una fácil interacción entre el usuario y la interfaz.

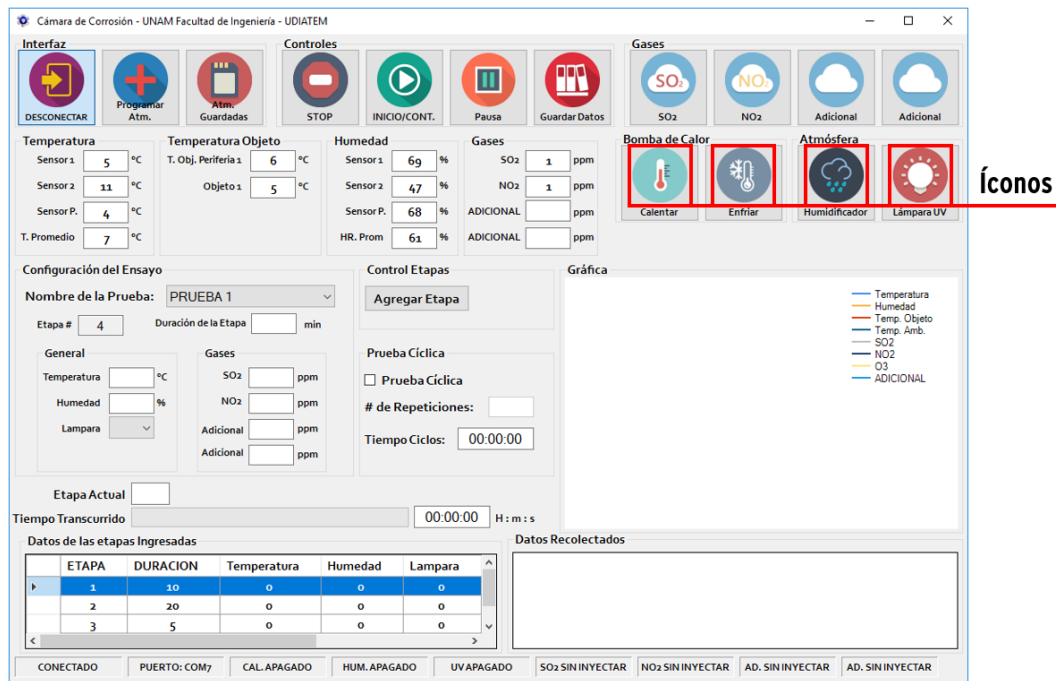


Fig.2.21 Íconos Interfaz Cámara de Corrosión

- **Lista:** Es una relación de datos ordenados u clasificados según su tipo, puede mostrar datos recabados durante un proceso, información importante para el usuario.

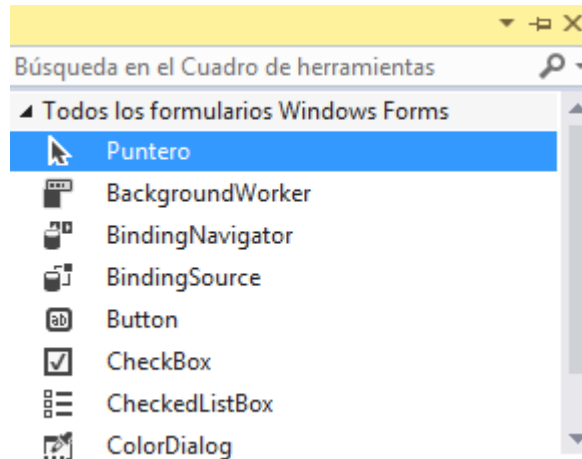


Fig.2.22 Lista Microsoft Visual Studio

- **Lista desplegable:** Es un elemento que permite al usuario seleccionar de una lista una serie de opciones propuestas por el programador.

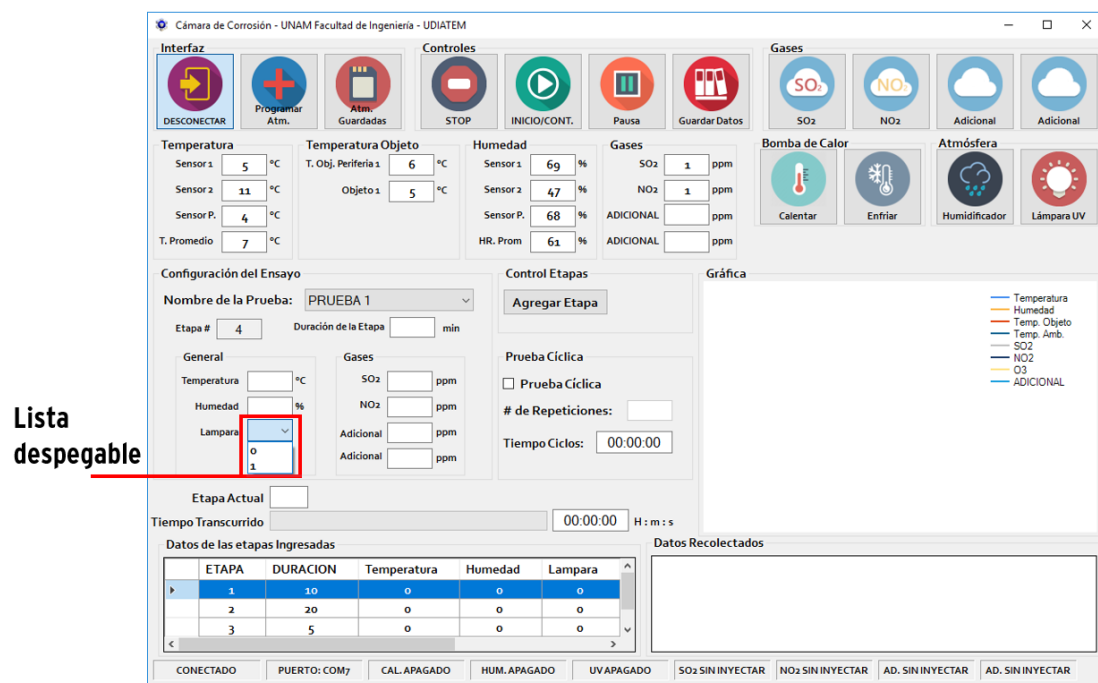


Fig.2.23 Lista desplegable Interfaz Cámara de Corrosión

- **Menú:** Es una herramienta grafica que consta de una serie de opciones que se despliegan para mostrar al usuario más opciones o funciones.

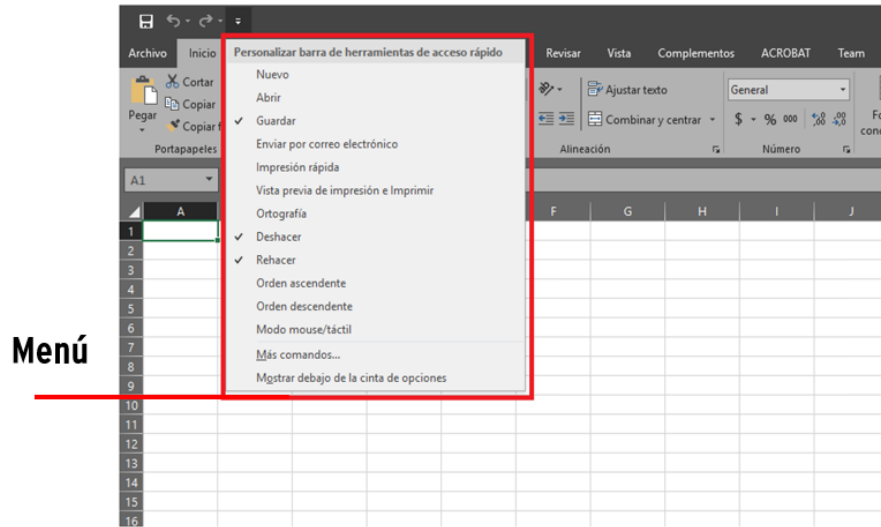


Fig.2.24 Menú Microsoft Excel

- **Menú contextual:** Es un tipo de menú que se adapta al contexto en el cual se accede. Puede mostrar una serie de opciones que van acorde a lo que se está trabajando.

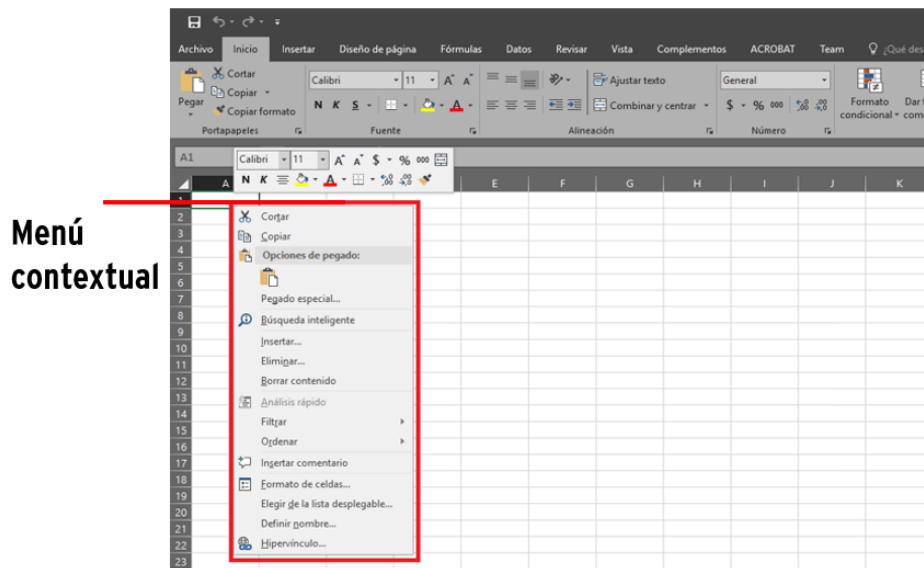


Fig.2.25 Menú Contextual Microsoft Excel



- **Menú desplegable:** Este elemento permite al usuario seleccionar de una lista que se despliega una de varias opciones, se distingue por ser una lista que se despliega según el usuario lo requiera.

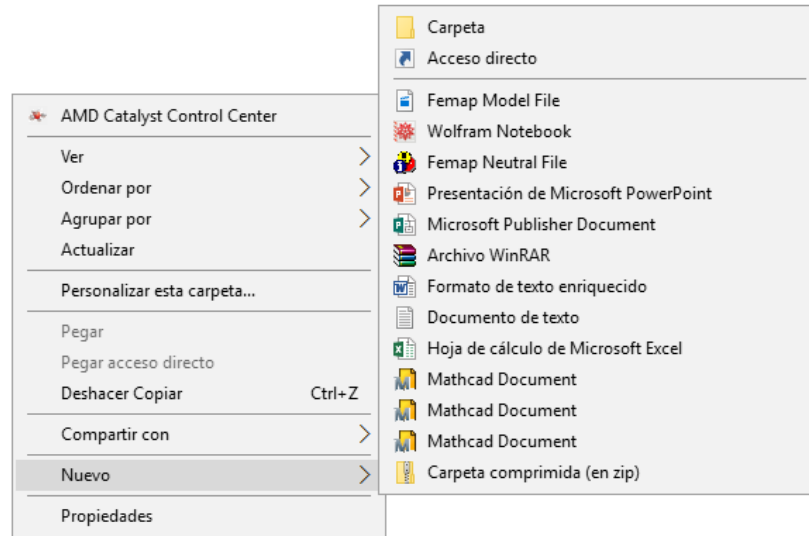


Fig.2.26 Menú desplegable Windows 10

- **Panel lateral:** Permite mostrar una serie de opciones, este elemento se encuentra en algún lateral dentro de la interfaz.

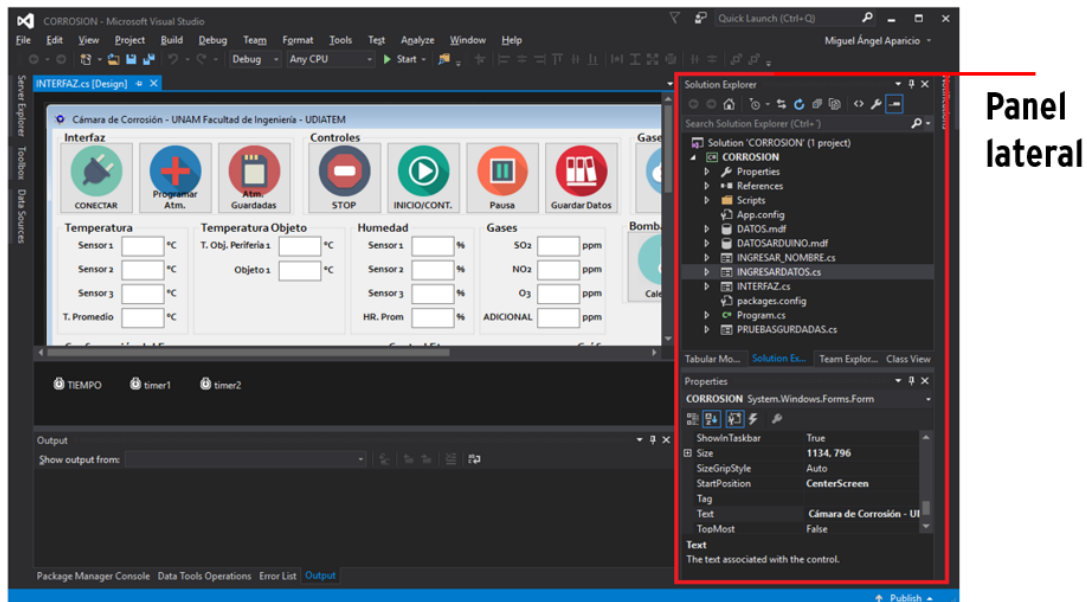


Fig.2.27 Panel lateral Microsoft Visual Studio

- **Pestaña:** Es un elemento que permite navegar entre distintas secciones u opciones de manera rápida.

Pestaña

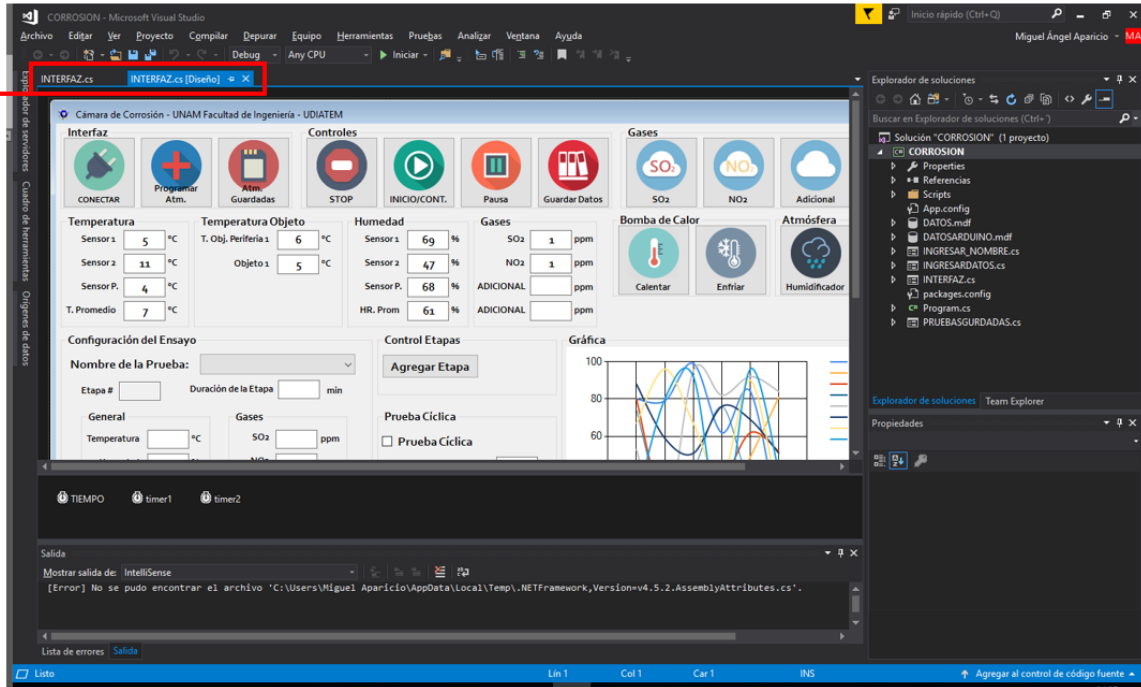


Fig.2.28 Pestaña Microsoft Visual Studio

- **Slider:** Es un elemento que permite seleccionar un valor dentro de un rango establecido por el programador.

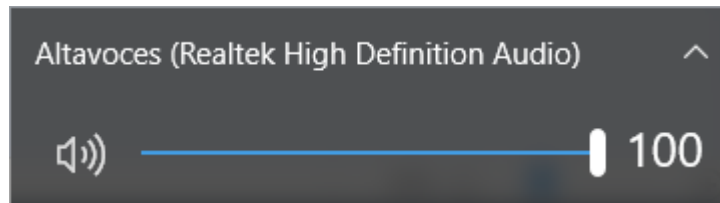


Fig.2.29 Slider Windows 10

- **Ventana:** es un elemento que se usa para la visualización navegación y jerarquización de la información dentro de la interfaz, en ella se presentan todos los elementos dispuestos en la interfaz.

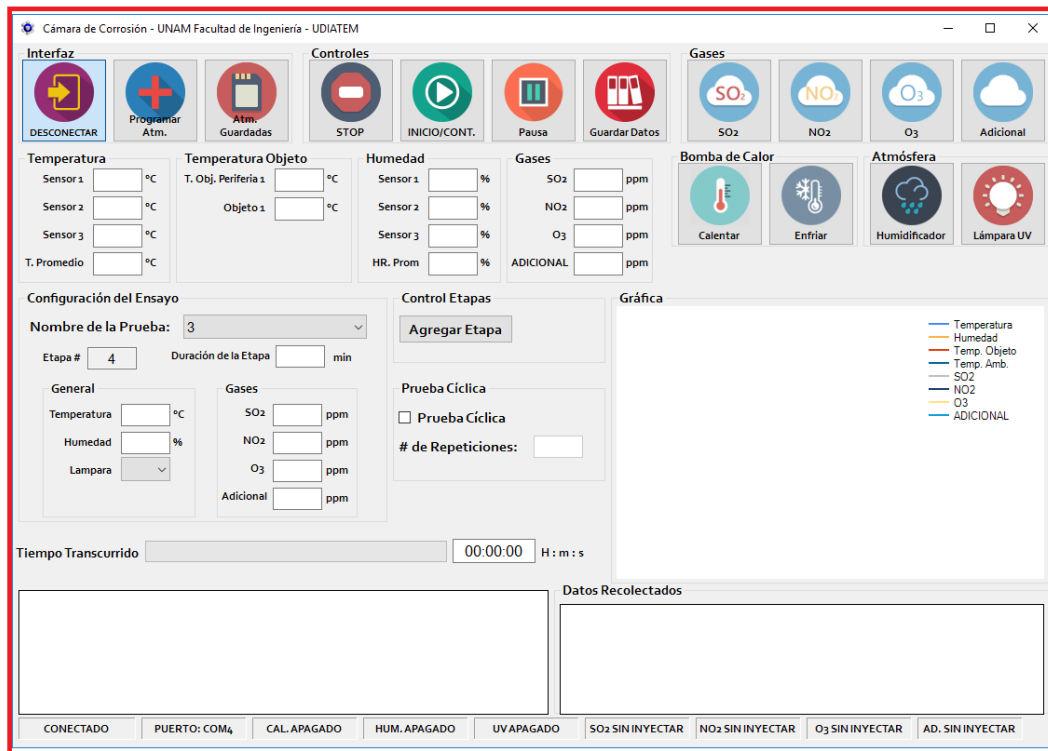


Fig.2.30 Ventana Interfaz Cámara de Corrosión

# Capítulo 3

## DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PARA EQUIPO DE CORROSIÓN

### 3.1 ANTECEDENTES DE EQUIPOS DE ENSAYOS ACELERADOS

Hoy en día existen diversas alternativas para realizar pruebas mediante equipos de ensayos acelerados. En el mercado existe una gran diversidad de equipos dedicados a hacer este tipo de pruebas, dichos equipos pueden dividirse según la tarea para la cual estén desarrollados.

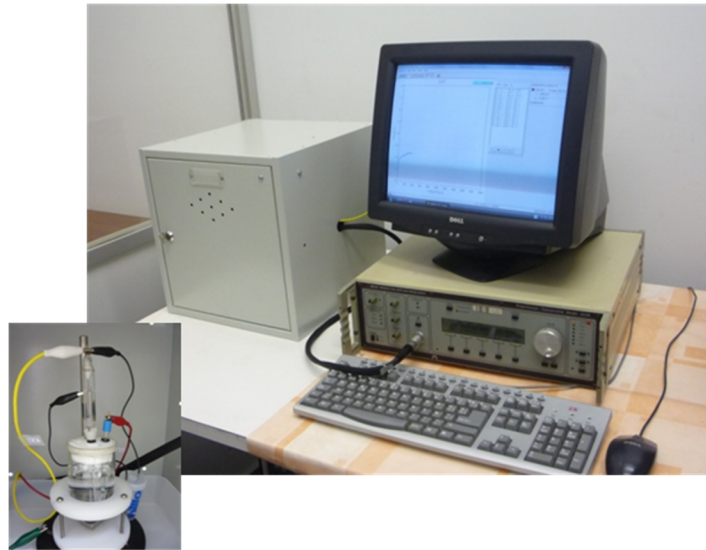
Existen también laboratorios que se dedican a realizar pruebas de ensayos acelerados para lo cual usan ciertas normas estandarizadas que permiten evaluar el comportamiento de los materiales según el ambiente al que sean sometidos.

El centro de investigación CPT (Centre de Projecció Térmica) por ejemplo, cuenta con un laboratorio de corrosión dedicado a hacer este tipo de ensayos acelerados. A continuación, se mencionan algunas de las pruebas que realizan.

#### **Ensayos acelerados de Corrosión Electroquímica**

La corrosión es un proceso electroquímico de reacciones de oxidación y reducción. Los ensayos electroquímicos controlados pueden utilizarse para caracterizar las propiedades de corrosión de metales en electrolitos diferentes.

Equipo: Potenciostato/galvanostato EG&GPRINCENTON RESEARCH 263 conectado a una celda electroquímica. El control, adquisición y análisis de los resultados se lleva a cabo mediante el software Power Suite.<sup>38</sup>



*Fig.3.1 Equipo usado por el centro de investigación CPT para realizar Ensayos acelerados de Corrosión Electroquímica*

### **Ensayo en niebla salina**

Consiste en un ataque corrosivo acelerado por una niebla salina artificial de composición definida, en las condiciones precisas de temperatura y presión.

Equipo: Cámara de niebla salina DYCOMETAL modelo SSC 400 con una capacidad máxima de 400 litros.



*Fig.3.2 Equipo usado por el centro de investigación CPT para realizar Ensayos en niebla salina*

Por otro lado, existe una empresa dedicada a proveer de productos para ensayos acelerados. Q-Lab Corporation diseña y fabrica equipos para ensayos estándar, así como cámaras de ensayos acelerados, estabilidad a la luz y corrosión.

Uno de los equipos que ofrecen es la Q-FOG SSP & CCT CYCLIC CORROSION TESTERS que es una máquina de ensayos de corrosión cíclicos los cuales proporcionan la mejor simulación de laboratorio posible de la corrosión atmosférica natural.

Este equipo puede realizar ensayos de niebla salina tradicionales, ensayos Prohesion y la mayoría de los ensayos cíclicos de automoción.

### **Modelo SSP para ensayos Prohesion o niebla salina convencional**

Se pueden realizar numerosos ensayos de corrosión acelerados en la cámara de corrosión Q-FOG SSP, como Prohesion, ASTM B117 y G85, BS 3900 F4 y F9, DIN 50.021 e ISO 9227.

El ensayo Prohesion utiliza un ciclo rápido, cambios de temperatura rápidos, un ciclo de secado de baja humedad y una solución corrosiva diferente para proporcionar un ensayo más realista.

### **Modelo CCT para investigación de la corrosión y ensayos cíclicos de automoción**

La Q-FOG modelo CCT tiene todas las ventajas del modelo SSP, pero agrega la flexibilidad de incluir 100% de humedad.

Los métodos de ensayo de automoción de la actualidad necesitan normalmente exponer las muestras a un ciclo repetitivo de niebla salina, alta humedad, secado de baja humedad y condiciones ambientales. Estos métodos de ensayo se desarrollaron originalmente como procedimientos manuales con utilización intensiva de mano de obra. La cámara de corrosión multifuncional Q-FOG CCT está diseñada para realizar estos ensayos cíclicos automáticamente en una única cámara.

Las ventajas de la Q-FOG modelo CCT incluyen la eliminación de:

- El traslado manual de las muestras de una cámara a otra.
- La trabajosa pulverización de las muestras
- La variabilidad de resultados por el excesivo manejo de las muestras

Las unidades del modelo CCT vienen equipadas con una ventanilla de observación en el lateral de la tapa y una luz interna para permitir la fácil monitorización de las condiciones del ensayo.<sup>39</sup>



*Fig.3.3 Equipo Q-FOG de la Empresa Q-Lab para ensayos de corrosión*

### **QUV CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO**

La cámara de envejecimiento acelerado QUV reproduce el daño causado por la luz solar, la lluvia y el rocío. En unos pocos días o semanas, la cámara de envejecimiento UV QUV puede reproducir el daño que ocurriría en el transcurso de meses o incluso años a la intemperie.

Para simular el envejecimiento en exteriores, la cámara QUV expone los materiales a ciclos alternados de luz ultravioleta (UV) y humedad, todo ello a temperaturas elevadas y controladas. Los efectos de la luz solar se simulan mediante el uso de lámparas fluorescentes UV especiales. El rocío y la lluvia se simulan mediante la condensación de humedad y/o la pulverización de agua.<sup>40</sup>



*Fig.3.4 Equipo QUV de la Empresa Q-Lab para ensayos de envejecimiento acelerado*

También se puede encontrar al Instituto Tecnológico del Plástico, cuentan con los equipos xenotest que son equipos que simulan condiciones de envejecimiento artificial acelerado. En ellos reproducen el efecto causado por la luz solar, la lluvia y el rocío sobre la pieza ensayada. En unos pocos días o semanas, la cámara de envejecimiento puede reproducir el efecto causado en el transcurso de meses o incluso años a la intemperie.<sup>41</sup>

De igual manera, la UDIATEM en la Facultad de Ingeniería cuenta con un laboratorio de corrosión el cual cuenta con dos equipos para realizar ensayos acelerados, dichos equipo son una cámara de niebla salina y una cámara de ensayos acelerados de corrosión atmosférica. Dichos equipos son utilizados para realizar proyectos tanto internos como externos.

### **CÁMARA DE ENSAYOS ACELERADOS USADA POR LA UDIATEM**

Este equipo cuenta con las siguientes características:

- Cuenta con la capacidad de controlar la temperatura (calentar o enfriar) con ayuda de una bomba de calor de 1.5 toneladas.
- Puede controlar la inyección de humedad con ayuda de un humidificador (equipo que simula el rocío del agua).
- Cuenta con la opción de inyectar gases como el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Cabe mencionar que esta característica es manual, es decir, el usuario es el encargado de medir y regular las ppm (parte por millón) de los gases inyectados.
- Cuenta con lámpara de rayos ultravioleta tipo B que simula la radiación de la luz solar. Este equipo usa este tipo de lámparas debido a que producen principalmente rayos de onda corta, lo que ayuda a lograr aceleración máxima en este tipo de ensayos.
- Por último, cuenta con la posibilidad de exportar los datos obtenidos durante una prueba a un documento de Excel.

Cabe mencionar que en este equipo es donde se implementará el sistema de control que se describe más adelante en el presente trabajo.



### **3.2 VARIABLES POR CONTROLAR EN EL SISTEMA DE CONTROL PARA EQUIPO DE CORROSIÓN**

Para el desarrollo del sistema de control para equipo de corrosión es necesario tomar en cuenta tres variables a ser controladas, ya que de ellas depende la realización de las pruebas de los ensayos acelerados. Estas variables son la temperatura, humedad y gases, dentro de los cuales se debe de considerar el control de 3 gases muy importantes, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y del Ozono (O<sub>3</sub>).

#### **Temperatura**

La temperatura es una de las variables principales que se presentan en los procesos químicos, por ello es necesario medirla para posteriormente controlarla.

Uno de los factores que aceleran los procesos de corrosión es la temperatura. Este factor actúa de dos formas: por un lado, la velocidad de corrosión aumenta con ella y por otro se incrementa la movilidad de los iones. Un descenso de la temperatura puede provocar un incremento local de contenido en humedad, condensaciones, y si no se alcanza el grado de saturación en los poros, se llega a la situación más favorable para producir la corrosión. En la atmósfera seca, la velocidad de corrosión es pequeña y depende poco de la temperatura.<sup>42</sup>

#### **Humedad**

La humedad se define como la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, la cual, depende de diversos factores tales como la cercanía al mar, las plantas, la condición atmosférica es decir si ha llovido o no, etc.

La humedad es el mayor factor que influye en el desarrollo de la corrosión. Es importante destacar que la humedad, el oxígeno y la temperatura pueden tener efectos contrapuestos ya que una mayor humedad, facilita la corrosión, pero impide el acceso de oxígeno, o bien un incremento de temperatura, acelera el movimiento de los iones, pero disminuye la condensación.<sup>43</sup>

## **Gases (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)**

Los gases como el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y del Ozono (O<sub>3</sub>) son variables que deben de ser consideradas. Por una parte, el ozono es un gas que por sí solo no tiene la capacidad de afectar a los materiales, pero al encontrarse en contacto con el dióxido de azufre, el ozono acelera el proceso de corrosión.

El dióxido de nitrógeno al reaccionar con el agua genera ácido nítrico, un compuesto que tiene la característica de ser un agente corrosivo, por lo cual acelera la corrosión de los materiales. De igual manera al estar el dióxido de nitrógeno en contacto con el dióxido de azufre, produce un efecto en conjunto que lleva como consecuencia la corrosión en los materiales.

Por lo antes mencionado es necesario tener en cuenta dichas variables para lo cual se seleccionaron sensores capaces de controlar las cantidades de las mismas.

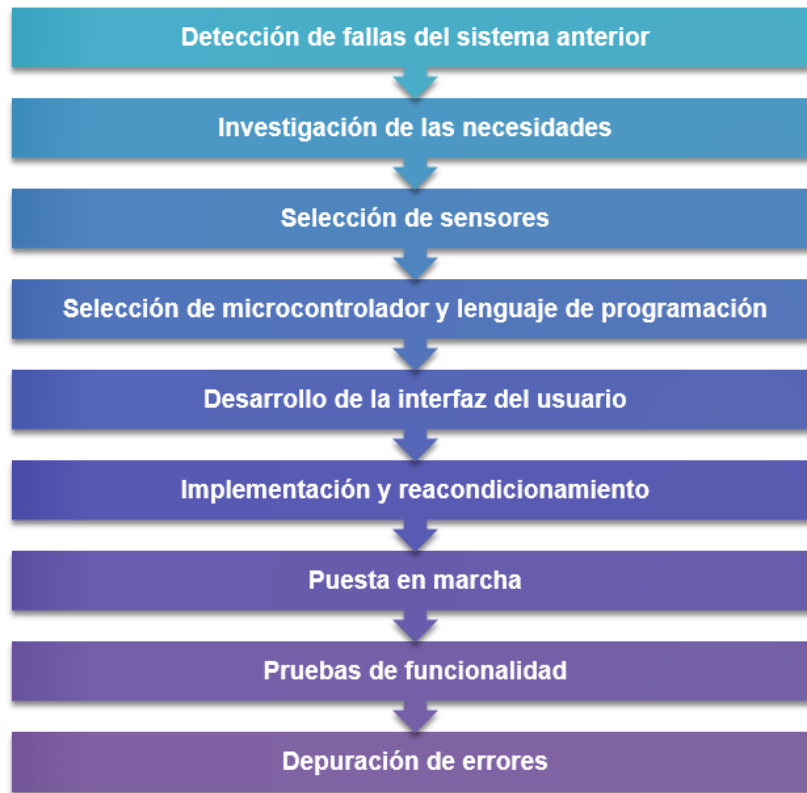
### **3.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN**

En la actualidad existen equipos creados para realizar tareas específicas, pero debido a que el costo de los mismos es muy elevado surge la necesidad de crear un sistema tal que cumpla con los requerimientos del usuario, en este caso el área de corrosión de la UDIATEM.

Como ya se mencionó, la UDIATEM cuenta con equipo para realizar ensayos acelerados de corrosión atmosférica, el cual, con el paso del tiempo tendió a fallar. Esto ocasionó que surgiera la necesidad de una renovación en todos los aspectos, tanto en hardware como en software.

Dado que el sistema con el que se contaba en el laboratorio de corrosión de la UDIATEM era hasta cierto punto obsoleto, ya que no trabajaba de manera eficiente y no se contaban con los diagramas necesarios para realizar mantenimiento, surgió la necesidad de crear una nueva interfaz junto con una nueva selección de sensores, tal que en conjunto ayuden a crear un sistema que cumpla con las necesidades requeridas, es decir, crear un sistema de control para una máquina de ensayos acelerados.

Como parte de la renovación del sistema, es necesario seguir un procedimiento para la resolución del problema, el cual se muestra a continuación:



*Fig.3.5 Procedimiento para la renovación del sistema*

### **3.4 DETECCIÓN DE FALLAS DEL SISTEMA ANTERIOR**

Como primer paso fue necesario detectar cuáles fueron las fallas del sistema con el que se contaba, debido a su tiempo de vida este tendió a presentar diversos problemas.

Para poder detectar las fallas del sistema anterior fue necesario dividir en subsistemas el mismo y a cada subsistema se le realizó un diagnóstico. El sistema se compone de 4 subsistemas esenciales, el sistema de control, la cámara de ensayos, la bomba de calor y por último el sistema que inyecta los gases.

La detección de fallas se realizó mediante la comparación entre lo que se espera que haga el sistema y lo que realmente mostró al momento de realizar una prueba de ensayo acelerado, como lo es el cambio de temperatura (aumentarla o disminuirla), el control de la humedad mediante la activación del humidificador que simula el rocío del agua, la activación de válvulas encargadas de dar paso a la inyección de los gases y la activación de los relevadores encargados de encender la lámpara UV.

En primer lugar, se realizó el diagnóstico a la bomba de calor, la cual era la encargada de elevar o disminuir la temperatura al momento de realizar los ensayos acelerados, aquí

es donde se presenta la primera falla. Debido a que este sistema se había deteriorado con el tiempo, presentaba fallas al momento de hacer los cambios entre calentar y enfriar, lo que ocasionaba problemas al tratar de realizar los ensayos. Estos no se podían realizar de manera correcta y como resultado presentaba datos incorrectos, debido a que en ocasiones no se hacían los cambios en el momento que eran requeridos. Este fue el primer problema a atacar.

En segundo lugar, se realizó el diagnóstico a la cámara de ensayos. Esta contaba con sensores de humedad y temperatura, así como de una lámpara de luz ultravioleta. Todos estos dispositivos trabajaban en conjunto para determinar las condiciones de la cámara y verificar que las pruebas de ensayos acelerados se realizaran de manera correcta.

Como la cámara estaba hecha para realizar ensayos acelerados de corrosión atmosférica, los dispositivos dentro de ella tendían a deteriorarse de manera rápida, por lo cual era necesario estar cambiándolos constantemente para no ver afectado su rendimiento. Esta fue otra de las fallas que presentaba el sistema anterior ya que era necesario asegurar la vida de los dispositivos teniendo en cuenta las consideraciones necesarias.

En tercer lugar, se realizó el diagnóstico al sistema de control. Este, a pesar de cumplir con su función, trabajaba de manera ineficiente. El problema más significativo que presentaba era el manejo del tiempo, el sistema de control al momento de realizar las pruebas tenía un retardo, ya que un segundo lo tomaba por aproximadamente dos segundos lo cual afectaba considerablemente su eficiencia, y era necesario estar verificando el tiempo para que no se viera afectada la prueba que se estaba realizando.

Por último, no fue necesario realizar un diagnóstico al sistema que inyectaba los gases, ya que este trabajaba sin problemas. Cabe mencionar que, para el desarrollo de la nueva interfaz, se requería que este trabajara de manera autónoma, ya que como se tenía al inicio era necesaria la presencia del usuario que estuviera regulando la cantidad de gases que se inyectaban.

### 3.5 INVESTIGACIÓN DE LAS NECESIDADES REQUERIDAS

Tabla.3.1 Valores requeridos por el usuario para la selección de los sensores

Variable	Valores requeridos	Unidades
<b>Humedad</b>	<b>10 – 90</b>	<b>[% RH]</b>
<b>Temperatura</b>	<b>4 – 45</b>	<b>[°C]</b>
<b>Dióxido de nitrógeno (NO2)</b>	<b>11</b>	<b>[ppm]</b>
<b>Dióxido de azufre (SO2)</b>	<b>13</b>	<b>[ppm]</b>

**Nota:** Para los ensayos acelerados, los valores de los gases corresponden a 100 veces el valor límite permitido por la norma oficial mexicana de salud de concentraciones permitidas para el ser humano en México (NOM-022-SSA1-2010 y NOM-023-SSA1-1993).

#### **Dióxido de azufre (SO2) - NOM-022-SSA1-2010<sup>44</sup>**

Descripción:

- 0.110 ppm, máximo promedio de 24 horas
- 0.200 ppm, segundo máximo anual como promedio móvil de 8 horas
- 0.025 ppm, promedio anual

#### **Dióxido de nitrógeno (NO2) - NOM-023-SSA1-1993<sup>45</sup>**

Descripción:

- 0.210 ppm, promedio horario

Como siguiente paso del procedimiento de solución, fue necesario sondear las necesidades requeridas por el usuario, para lo cual fue necesario acudir con el Ingeniero Francisco Sánchez Pérez encargado del laboratorio de corrosión de la UDIATEM.

- ✓ En primer lugar, se requería un sistema eficiente tal que no presentara problemas durante el desarrollo de los ensayos acelerados.
- ✓ En segundo lugar, se requería realizar un sistema completamente automático tal que no necesitara ayuda del usuario para estar verificando las cantidades de gases, humedad o temperatura que debían de inyectarse durante la realización de los ensayos acelerados.

- ✓ En tercer lugar, se requería una nueva selección de sensores tales que ayudaran al sistema a tener mediciones mucho más precisas y con ello hacer al sistema más eficiente.
- ✓ En cuarto lugar, se requería que el microcontrolador fuera de fácil acceso y con el cual se pudiera hacer mantenimiento, por ello mismo también era necesario realizar los diagramas de todo el sistema para poder llevar a cabo dicha tarea.

### 3.6 SELECCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y GAS

Como siguiente paso del procedimiento de solución, fue necesario realizar una búsqueda de los sensores de humedad, temperatura y gases presentes en el mercado y seleccionar aquellos que cumplieran con las necesidades requeridas.

En primer lugar, se realizó la búsqueda de los sensores de humedad y temperatura existentes en el mercado, los cuales se presentan a continuación.

#### DHT11

El DHT11 es un sensor de humedad y temperatura de bajo costo y de uso general. Como ventajas es su bajo costo y su facilidad de uso, aunque como desventaja es que este sensor toma los valores puramente enteros es decir que no se pueden tomar mediciones decimales con este sensor. Cuenta con cuatro terminales de las cuales dos son para alimentación, una para datos y la última no se conecta.

#### Características generales.

Tabla.3.2 Características generales DHT11

Rango de medición	Humedad	20 – 90% RH
	Temperatura	0 – 50 °C
<b>Precisión</b>	Humedad	±5% HR
	Temperatura	±2°C
<b>Resolución</b>	-	1
<b>Encapsulado</b>	-	4 pin



Fig.3.6 Sensor de humedad y temperatura DHT11

## Especificaciones detalladas

Tabla.3.3 Especificaciones detalladas DHT11

Parámetros	Condiciones	Mínimas	Típicas	Máximas
<b>Humedad</b>				
<b>Resolución</b>		±1% HR	±1% HR	±1% HR
<b>Repetibilidad</b>			±1% HR	
<b>Exactitud</b>	25° C		±4% HR	
	0 – 50 °C			±5% HR
<b>Rango de medición</b>	0°C	30%HR		90%HR
	25°C	20%HR		90%HR
	50°C	20%HR		80%HR
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	1/e(63%)25°C, 1m/s Aire	6 S	10 S	15 S
<b>Temperatura</b>				
<b>Resolución</b>		1 °C	1 °C	1 °C
<b>Repetibilidad</b>			± 1 °C	
<b>Exactitud</b>		±1 °C		±2 °C
<b>Rango de medición</b>		0 °C		50 °C
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	1/e(63%)	6 S		30 S

## Características eléctricas

Tabla.3.4 Características eléctricas DHT11

	Condiciones	Mínimas	Típicas	Máximas
<b>Fuente de alimentación</b>	DC	3V	5V	5.5V
<b>Corriente de alimentación</b>	Medición	0.5mA		2.5mA
	Promedio	0.2mA		1mA
	Espera	100uA		150uA
<b>Periodo de muestreo</b>	Segundos	1		

## DHT22

El DHT22 al igual que el DHT11 es un sensor de humedad y temperatura, aunque a comparación del DHT11 este sensor puede tomar valores decimales, su rango de medición para la humedad es de 0 al 100% HR y para la temperatura de -40 hasta 80°C.

### Características generales.

Tabla.3.5 Características generales DHT22

Rango de medición	Humedad	0 – 100% RH
		Temperatura
Precisión	Humedad	±2% HR
	Temperatura	±0.5°C
Resolución	-	0.1
Encapsulado	-	4 pin



Fig.3.7 Sensor de humedad y temperatura DHT22

### Especificaciones detalladas

Tabla.3.6 Especificaciones detalladas DHT22

Parámetros	Condiciones	Mínimas	Típicas	Máximas
<b>Humedad</b>				
Resolución			0.1%HR	
Repetibilidad			±0.3%HR	
Exactitud	25°C		±2%HR	
Rango de medición		0%HR		99.9%HR
Tiempo de Respuesta (Seg)	1/e(63%)		< 5S	
<b>Temperatura</b>				
Resolución			0.1°C	



<b>Repetibilidad</b>			$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	
<b>Exactitud</b>			$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
<b>Rango de medición</b>		$-40^{\circ}\text{C}$		$80^{\circ}\text{C}$
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	$1/e(63\%)$		$< 10\text{S}$	

## Características eléctricas

Tabla.3.7 Características eléctricas DHT22

	Condiciones	Mínimas	Típicas	Máximas
<b>Fuente de alimentación</b>	DC	3.3V	5V	6V
<b>Corriente de alimentación</b>	Medición	1mA		1.5mA
	Espera	40uA		50uA
<b>Periodo de muestreo</b>	Segundos		2	

## SHT-31D

El SHT-31D es un sensor de humedad y temperatura fabricado por SENSIRION y desarrollada como módulo para microcontroladores por Adafruit Industries. A diferencia de los sensores DHT este sensor cuenta con la comunicación I2C para su fácil uso al momento de tomar valores, es compatible con sistemas de 3V o 5V lo que lo hace compatible con casi cualquier microcontrolador.

Tiene un rango de medición para la humedad del 0 a 100% HR y para la temperatura de -40 hasta los  $125^{\circ}\text{C}$ .

## Especificaciones

Tabla.3.8 Especificaciones SHT-31D

Parámetros	Condiciones	Mínimas	Típicas	Máximas
<b>Humedad</b>				
<b>Resolución</b>			0.01%HR	
<b>Repetibilidad</b>			$\pm 0.1\%HR$	
<b>Exactitud</b>			$\pm 2.0\%HR$	
<b>Rango de medición</b>		0%HR		100%HR
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	$1/e(63\%)$		2s	
<b>Temperatura</b>				

<b>Resolución</b>			0.015°C	
<b>Repetibilidad</b>			±0.1°C	
<b>Exactitud</b>			±0.3°C	
<b>Rango de medición</b>		-40°C		125°C
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	1/e(63%)		2S	

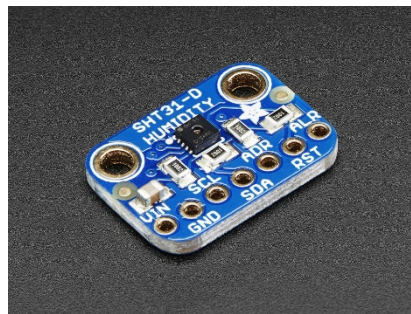


Fig.3.8 Sensor de humedad y temperatura SHT31-D

## SHT-21

Al igual que el sensor SHT-31D el SHT-21 es un sensor de humedad y temperatura fabricado por SENSIRION. Es un sensor de gama media que al igual que el SHT-31D cuenta con comunicación I2C y su rango de medición es similar.

### Especificaciones

Tabla.3.9 Especificaciones SHT-21

Parámetros	Condiciones	Mínimas	Típicas	Máximas
<b>Humedad</b>				
<b>Resolución</b>	12 bit		0.04%HR	
	8 bit		0.7%HR	
<b>Repetibilidad</b>			±0.1%HR	
<b>Exactitud</b>			±2.0%HR	
<b>Rango de medición</b>		0%HR		100%HR
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	1/e(63%)		8S	
<b>Temperatura</b>				
<b>Resolución</b>	14 bit		0.01°C	

	12 bit		0.04°C	
<b>Repetibilidad</b>			±0.1°C	
<b>Exactitud</b>			±0.3°C	
<b>Rango de medición</b>		-40°C		125°C
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	1/e(63%)	5S		30S



Fig.3.9 Sensor de humedad y temperatura SHT21

## MLX90614

El MLX90614 es un sensor de temperatura, a diferencia de la mayoría de los sensores de temperatura este es un sensor que tiene la capacidad de medir la temperatura de los objetos mediante infrarrojos, es decir sin la necesidad de tocarlos. Además de medir la temperatura de un objeto puede medir la temperatura de su entorno. Cuenta con un rango de medición muy alto, para la temperatura de los objetos va de -40 hasta los 380°C, por otro lado, tiene un rango de medición de -40 hasta los 125°C para la medición de temperatura de su entorno. Cuenta con comunicación I2C.

### Especificaciones

Tabla.3.10 Especificaciones MLX90614

Parámetros	Condiciones	Mínimas	Típicas	Máximas
<b>Temperatura</b>				
<b>Resolución</b>			0.02°C	
<b>Repetibilidad</b>				
<b>Exactitud</b>			±0.5°C	
<b>Rango de medición</b>	Ambiente	-40°C		125°C
	Objeto	-70°C		380°C
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>				



Fig.3.10 Sensor de temperatura MLX90614

### 3.7 SELECCIÓN DE LOS SENSORES CON BASE EN SUS ESPECIFICACIONES

En primer lugar, era necesario un sensor de humedad y temperatura que fuera capaz de tomar valores de entre 4°C y 45°C. Al inicio, se pensó considerar dos sensores independientes, es decir, uno de humedad y uno de temperatura, pero por cuestiones prácticas se optó por seleccionar uno que tuviera incorporado en él ambos sensores, para lo cual consideramos las especificaciones de cada uno. Las principales características que fueron consideradas fueron el rango de medición, la resolución, la precisión y el tiempo de respuesta. Estos valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla.3.11 Comparación entre las principales características de los sensores

Sensor	Rango de Medición		Resolución [Unidad]	Tiempo de respuesta [S]	Precisión	
	Hum. [%HR]	Temp. [°C]			Hum. [%HR]	Temp. [°C]
<b>DHT11</b>	20 – 90	0 – 50	1	1	±5	±2
<b>DHT22</b>	0 – 100	–40~80	0.1	1	±2	±0.5
<b>SHT31-D</b>	0 – 100	–40 – 125	0.015	2	0.7	0.04
<b>SHT-21</b>	0 – 100	–40 – 125	0.7	5	0.7	0.04

Una vez comparados estos valores y presentados al Ingeniero Francisco Sánchez Pérez, se optó por seleccionar el sensor de temperatura SHT31-D, esto es debido a sus características sobresalientes de los demás. Estas mismas características cumplían con los requisitos tanto mínimos como máximos que son requeridos para realizar las pruebas de ensayos acelerados, además de que su disposición en el mercado es de fácil acceso.

El sensor SHT-21 cuenta con características muy similares pero debido a su disposición en el mercado fueron descartados.

Debido a sus características de medir la temperatura, se seleccionó el sensor de temperatura MLX90614 como un extra, ya que se tiene contemplado aplicar su característica de medir la temperatura de algún objeto en específico.

Como ya se mencionó, los gases necesarios para realizar las pruebas de ensayos acelerados son el O<sub>3</sub>, el NO<sub>2</sub> y el SO<sub>2</sub> para los cuales era necesario buscar sensores que fueran capaces de medir estos mismos.

Debido a que generalmente esos gases no son censados más que para ciertas aplicaciones en específico, los sensores cuentan con características muy similares. Los sensores considerados fueron los siguientes.

#### 4-SO2-20

El 4-SO<sub>2</sub>-20 es un sensor de Dióxido de azufre de la empresa Euro-Gas, puede medir este gas de 0 a 20 ppm, cuenta con las siguientes características.

*Tabla.3.12 Especificaciones 4-SO2-20*

Parámetros	Condiciones
<b>Resolución</b>	0.1 ppm
<b>Rango de medición</b>	0 – 20 ppm
<b>Rango máximo</b>	150 ppm
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	≤ 45 s
<b>Precisión</b>	0.1 ppm
<b>Sensibilidad</b>	0.5 ± 0.1 uA/ppm
<b>Tiempo de vida</b>	2 años

#### ME3-SO2

El ME3-SO<sub>2</sub> es un sensor de Dióxido de azufre de la empresa Winsen, de igual manera puede medir de 0 a 20 ppm, sus características son las siguientes.

*Tabla.3.13 Especificaciones ME3-SO2*

Parámetros	Condiciones
<b>Resolución</b>	0.1 ppm
<b>Rango de medición</b>	0 – 20 ppm
<b>Rango máximo</b>	150 ppm
<b>Tiempo de Respuesta (Seg)</b>	≤ 30 s
<b>Precisión</b>	0.1 ppm
<b>Sensibilidad</b>	0.55 ± 0.15 uA/ppm
<b>Tiempo de vida</b>	2 años

## ME3-NO2

El ME3-NO2 es un sensor de Dióxido de nitrógeno de la empresa Winsen, puede medir este gas de 0 a 20 ppm, cuenta con las siguientes características.

Tabla.3.14 Especificaciones ME3-NO2

Parámetros	Condiciones
Resolución	0.1 ppm
Rango de medición	0 – 20 ppm
Rango máximo	250 ppm
Tiempo de Respuesta (Seg)	≤ 30 s
Precisión	0.1 ppm
Sensibilidad	0.60 ± 0.15 uA/ppm
Tiempo de vida	2 años

## 4-NO2-20

El 4-NO2-20 es un sensor de Dióxido de nitrógeno de la empresa Euro-Gas, puede medir este gas de 0 a 20 ppm, cuenta con las siguientes características.

Tabla.3.15 Especificaciones ME3-NO2

Parámetros	Condiciones
Resolución	0.1 ppm
Rango de medición	0 – 20 ppm
Rango máximo	150 ppm
Tiempo de Respuesta (Seg)	≤ 25 s
Precisión	0.1 ppm
Sensibilidad	0.78 ± 0.42 uA/ppm
Tiempo de vida	2 años

Por último, se buscaron sensores de O3 comerciales para el cual se encontró el MQ 131. Este es un sensor de la empresa Henan Hanwei Electronics y cuenta con las siguientes características.

Tabla.3.16 Especificaciones MQ 131

Parámetros	Condiciones
Resolución	0.1 ppm
Rango de medición	10 – 1000 ppm
Rango máximo	150 ppm
Tiempo de	≤ 25 s

<b>Respuesta (Seg)</b>	
<b>Precisión</b>	0.1 ppm

Ya que las características de los sensores de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> son semejantes y cumplen con los requisitos tanto mínimos como máximos para realizar los ensayos acelerados de corrosión, no hubo problema en seleccionar los sensores y consultando al Ingeniero Francisco Sánchez Pérez se optó por elegir los de la empresa Euro-Gas.

### 3.8 SELECCIÓN DE MICROCONTROLADOR

Una vez detectadas las fallas del sistema anterior, consideradas las variables a controlar y seleccionados los sensores de gas, temperatura y humedad, el siguiente paso fue considerar el microcontrolador y con ello el lenguaje de programación.

Como ya se mencionó en el primer capítulo, existen diversos microcontroladores, cada uno con diversas características que los diferencia unos con los otros. No sólo era necesario considerar las especificaciones del mismo sino también era necesario considerar las características de los sensores, es decir, la forma en la que proporcionan los datos (de forma analógica o digital, tipo de comunicación I<sup>2</sup>C o SPI, por ejemplo). A continuación, se muestra una tabla de los sensores seleccionados.

*Tabla.3.17 Sensores seleccionados*

<b>SENSOR</b>	<b>TIPO</b>
<b>SHT31-D</b>	Humedad y Temperatura
<b>MLX90614</b>	Temperatura Periferia/Objeto
<b>4-SO2-20</b>	Gas, Dióxido de azufre
<b>4-NO2-20</b>	Gas, Dióxido de nitrógeno
<b>MQ131</b>	Gas, Ozono

De los microcontroladores presentados en el primer capítulo, la mayoría no fueron seleccionados debido a que no cumplían con las características necesarias para el desarrollo del sistema de control. También, aunque algunos microcontroladores contaban con las características básicas necesarias, no fueron seleccionados en primer lugar, por el costo del mismo y en segundo lugar porque fueron desarrollados para tareas de mayor complejidad.

De los microcontroladores presentados, en primer lugar, el microcontrolador PIC fue descartado, ya que para trabajar con él es necesario desarrollar por completo una tarjeta

que lo ayude a funcionar de manera correcta, además de que es necesaria una estación especial que es la encargada de “quemar” el código de programación en el microcontrolador y, en caso de querer actualizar el sistema, surgiría una complicación para el usuario. Como ya se mencionó, se requiere que el microcontrolador sea de fácil acceso y con el cual se pudiera hacer mantenimiento, por lo tanto, el problema por el cual fue descartado planteado previamente iría en contra de dicho requerimiento.

Por otra parte, las tarjetas Launchpad y Arduino en su modelo UNO y NANO, no fueron seleccionadas ya que, aunque contaban con las entradas suficientes, se requiere que el sistema pueda ser actualizado en un futuro, por lo que la disposición de entradas limita a dichas tarjetas.

En cuanto a la tarjeta de desarrollo Arduino Due, aunque cuenta con las entradas suficientes y, además cuenta con entradas suficientes para que el sistema pueda ser actualizado en un futuro, se descartó debido a que es un microcontrolador de 32 bits el cual fue desarrollado para tareas mayores, además de contar con características que no serán utilizadas.

Debido a que el microcontrolador sólo realizará el encendido y apagado de los relevadores y la toma de datos de los sensores, no se requiere tomar en cuenta muchas consideraciones. Un punto importante que sí debe de ser considerado es la comunicación I2C, ya que los sensores SHT31-D y MLX90614 utilizan dicho tipo de comunicación.

Para el encendido y apagado de la bomba de calor, la inyección de los gases y la humedad fue necesaria la utilización de relevadores, este es otro punto que se tomó en cuenta para la selección del microcontrolador.

Por lo anteriormente mencionado, se seleccionó la tarjeta de desarrollo Arduino Mega. En primer lugar, por la disposición de las entradas con las que cuenta, además de contar con suficientes entradas tanto analógicas como digitales, las cuales permitirán en un futuro la actualización del sistema. Esto ayudará a que se puedan ampliar las características del sistema, teniendo la posibilidad de agregar nuevos sensores e incluso contar con la posibilidad de realizar cambios que se consideren necesarios.

## **LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN A UTILIZAR**

Para el lenguaje de programación se consideró usar C#. Para programar en dicho lenguaje se utilizó Visual Studio trabajando en Windows Form, para con ello crear una



interfaz gráfica, interfaz que es requerida para el desarrollo del sistema de ensayos acelerados.

Dicho lenguaje fue elegido por tiempo y comodidad, también se consideró que contaba con las herramientas suficientes (tales como los elementos que puede contener una interfaz gráfica previamente listados en el capítulo 2, capacidad de conectarse con periféricos externos, además de otras herramientas como la que permite la exportación de información en documentos tales como excel), para poder desarrollar la interfaz gráfica de usuario.

Cabe mencionar que, para el desarrollo del sistema en cuanto al uso de lenguaje de programación, no hubo restricción alguna por el usuario, por lo que, al presentar la solución del problema, y dado que cumplía con lo requerido fue aceptado.

### **3.9 DESARROLLO DE LA INTERFAZ DEL USUARIO**

Una vez seleccionados los sensores, seleccionado el microcontrolador y seleccionado el lenguaje de programación el siguiente paso fue desarrollar la interfaz del usuario. Cabe mencionar que dicha interfaz será en su modalidad *“Interfaz Gráfica de Usuario”* debido a los elementos que va a contener.

Cabe mencionar que no se puede contabilizar el número de elementos con los que puede contar una interfaz gráfica, esto es debido a la aplicación que se les den, es decir que puede o no contener uno u otro elemento. La interfaz desarrollada cuenta con los elementos básicos que generalmente se presentan en una interfaz gráfica, tales como botones, íconos, barras de desplazamiento, barra de título, barra de progreso, cuadros de texto, lista desplegable y cuadro de diálogo, por mencionar algunos.

A continuación, se muestra una captura de pantalla de la interfaz gráfica de usuario final, la cual será detallada según las funciones que realiza cada parte de ella.

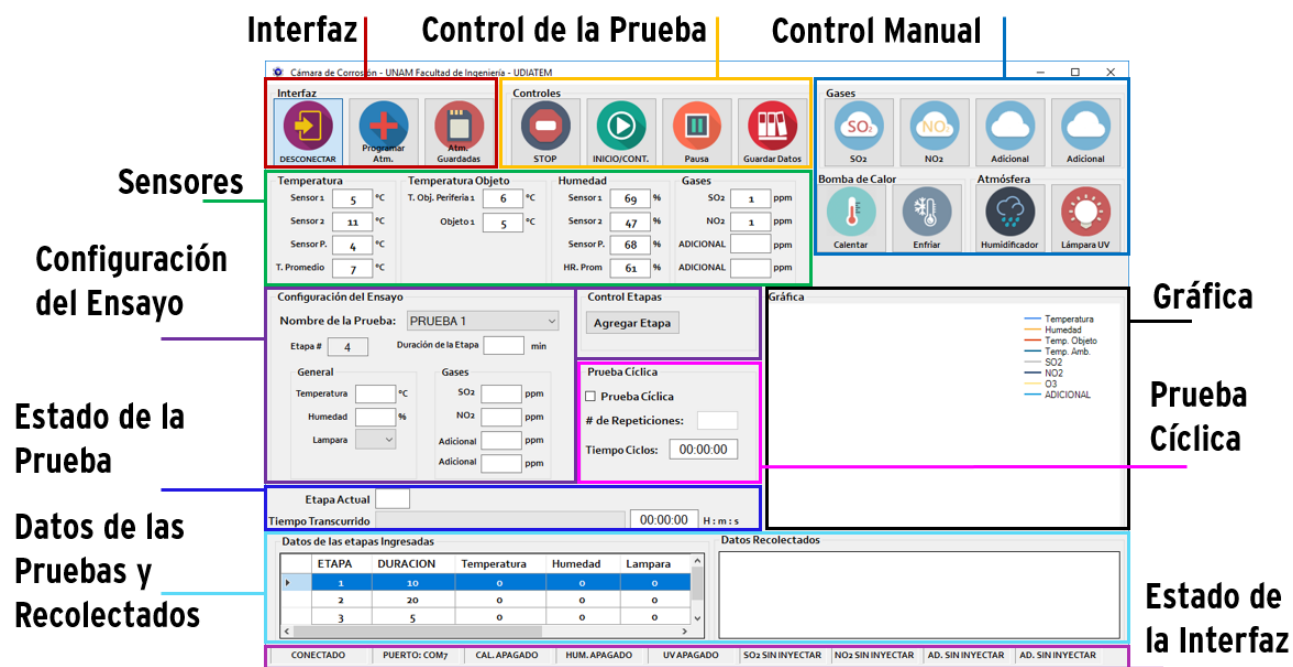


Fig.3.11 Interfaz Cámara de Corrosión

## Interfaz

En esta área de la interfaz se encuentran tres botones:

- **Conectar/Desconectar:** Este botón se encarga de iniciar o finalizar la comunicación entre la interfaz y el microcontrolador.
- **Programar atmosfera:** Este botón se encarga de iniciar el proceso para agregar una nueva atmosfera para posteriormente ser realizada.

La ventana que se muestra al ingresar en esta opción es la siguiente:

Nombre de la Prueba

**Ingrese el Nombre de la Prueba**

Prueba Corrosión

Continuar Cancelar

Fig.3.12 Ventana programar atmósfera

Una vez seleccionado el nombre de la prueba y al dar clic al botón continuar, se muestra la ventana en la cual se deben de ingresar las variables para la prueba. A continuación, se muestra la captura de pantalla.

Prueba

Nombre:  Duración de la Prueba  H : m : s     Realizado

Datos de la Prueba

Etapa #  Duración de la Etapa  min

General

Temperatura  °C

Humedad  %

Lampara

Gases

SO<sub>2</sub>  ppm

NO<sub>2</sub>  ppm

Adicional  ppm

Adicional  ppm

Datos Ingresados

	ETAPA	DURACION	Temperatura	Humedad	Lampara	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Adicional	Adicional
*									

Fig.3.13 Ventana ingresar etapas

Dentro de la misma es posible agregar, eliminar o actualizar alguna de las etapas de la prueba que se pretende realizar.

- **Atmosferas guardadas:** Este botón se encarga de mostrar al usuario las atmosferas que han sido previamente introducidas a la interfaz y que se encuentran almacenadas en una base de datos. A continuación, se muestra una captura de pantalla.

Pruebas Guardadas

Nombre:     Realizado

Datos Ingresados

	ETAPA	DURACION	Temperatura	Humedad	Lampara	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Adicional	Adicional
▶	1	10	0	0	0	0	0	0	0
	2	20	0	0	0	0	0	0	0
	3	5	0	0	0	0	0	0	0
*									

Fig.3.14 Ventana Pruebas guardadas

Dentro de la misma es posible visualizar los datos de las pruebas previamente almacenadas, también es posible modificar la prueba o eliminarla si se requiere.

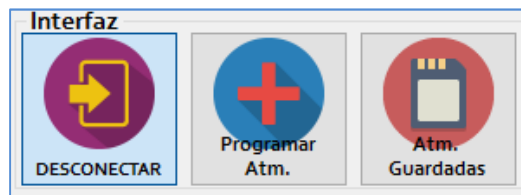


Fig.3.15 Área interfaz

## Control de la prueba

En esta área de la interfaz se encuentran cuatro botones encargados del control de la prueba en curso:

- **STOP:** Este botón se encarga de detener la prueba que se encuentra en curso.
- **INICIO/CONTINUAR:** Este botón se encarga de iniciar o continuar (continuar en caso de que la prueba se encuentre en pausa) la prueba que se encuentra en curso.
- **Pausa:** Este botón se encarga de pausar la prueba que se encuentra en curso.
- **Guardar Datos:** Este botón se encarga de exportar los datos a un documento de Excel obtenidos durante la prueba.

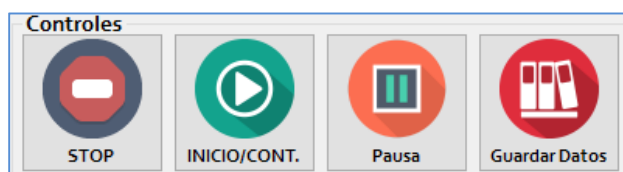


Fig.3.16 Área de controles de la prueba

## Control Manual

En esta área de la interfaz se encuentran ocho botones encargados de encender los relevadores encargados de encender tanto la inyección de los gases como la bomba de calor (calentar y enfriar), el humidificador y la lámpara UV.



Fig.3.17 Área control manual

## Sensores

En esta área de la interfaz se muestran los valores que son tomados por los sensores de Humedad/Temperatura y Gases.

Temperatura	Temperatura Objeto	Humedad	Gases
Sensor 1: 5 °C	T. Obj. Periferia 1: 6 °C	Sensor 1: 69 %	SO <sub>2</sub> : 1 ppm
Sensor 2: 11 °C	Objeto 1: 5 °C	Sensor 2: 47 %	NO <sub>2</sub> : 1 ppm
Sensor P.: 4 °C		Sensor P.: 68 %	ADICIONAL: ppm
T. Promedio: 7 °C		HR. Prom: 61 %	ADICIONAL: ppm

Fig.3.18 Área de sensores

## Configuración del ensayo

Una vez iniciada la prueba es posible agregar a la misma una o más etapas, pudiendo agregar todas las variables necesarias por el usuario. También en esta área de la interfaz es donde se selecciona qué prueba será puesta en marcha.

Configuración del Ensayo	Control Etapas
Nombre de la Prueba: PRUEBA FUNCIONAMIE... Etapa #: 6      Duración de la Etapa: min General: Temperatura: °C Humedad: % Lampara: Gases: SO <sub>2</sub> : ppm NO <sub>2</sub> : ppm Adicional: ppm Adicional: ppm	Agregar Etapa

Fig.3.19 Área configuración del ensayo

## Prueba cíclica

Si se requiere que una prueba se repita cierto número de veces, en esta área se puede seleccionar dicha opción. Se puede ingresar el número de repeticiones y se muestra el tiempo total que tardará la prueba considerando el número de repeticiones agregadas.

Prueba Cíclica
<input type="checkbox"/> Prueba Cíclica
# de Repeticiones:
Tiempo Ciclos: 00:00:00

Fig.3.20 Área prueba cíclica

## Gráfica

En esta área de la interfaz se muestra la gráfica del comportamiento que tiene tanto la humedad y temperatura como los gases mientras se encuentra en curso la prueba.

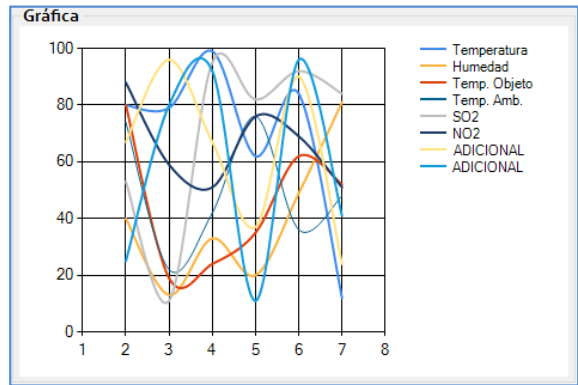


Fig.3.21 Área de gráfica

### Estado de la prueba

En esta área se muestra la etapa en la que se encuentra la prueba en curso, así como el tiempo transcurrido.

Etapa Actual	<input type="text"/>
Tiempo Transcurrido	<input type="text" value="00:00:00"/> H : m : s

Fig.3.22 Área estado de la prueba

### Datos de las pruebas y recolectados

En esta área se muestran dos tablas, del lado izquierdo se mostrarán los datos ingresados por el usuario según sea la prueba seleccionada en el área de "Configuración del ensayo". Del lado derecho se mostrarán los datos recolectados por los sensores. Estos datos se comenzarán a mostrar únicamente cuando la prueba esté en curso.

Datos de las etapas Ingresadas	Datos Recolectados
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fig.3.23 Área datos de las pruebas y recolectados

## Estado de la interfaz

En esta área se muestra el estado de la interfaz, si la comunicación entre la interfaz y el microcontrolador se encuentra activa, el puerto serial al cual se encuentra conectada, el estado de los relevadores para la bomba de calor y la inyección de gases.

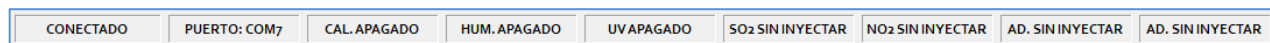


Fig.3.24 Área estado de la interfaz

Cabe mencionar que la interfaz de usuario tuvo previas versiones. Al principio se contemplaba una interfaz en la cual se podían ingresar hasta un máximo de veinte etapas por prueba, pero al consultar con el Ingeniero Francisco Sánchez Pérez, se tomó como consideración que el número de etapas no fuera tan limitado, por lo que se optó por usar una base de datos, lo cual solucionó dicha limitación.

De igual manera no estaba contemplada la opción de poder agregar etapas durante una prueba dentro del “*área configuración del ensayo*”. Pero debido a la comodidad que esta opción daba fue considerada. Este mismo caso ocurrió con la opción de prueba cíclica, esto para ayudar al usuario a no ingresar los datos de una misma etapa en repetidas ocasiones.

# Capítulo 4

## IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

### 4.1 IMPLEMENTACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE LA INTERFAZ JUNTO CON EL HARDWARE (SENSORES)

Una vez desarrollada la interfaz el siguiente paso fue implementarla junto con el hardware. Para ello, fueron necesarias ocho entradas digitales de la tarjeta Arduino que activarán los ocho relevadores encargados de controlar:

- Inyección de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y dos gases adicionales,
- Bomba de calor,
- Humidificador y
- Lámpara UV.

Fue necesaria la expansión de la comunicación I2C para conectar los sensores de humedad y temperatura SHT-31D, así como del sensor de temperatura objeto y ambiente MLX90614. Esta expansión también ayuda en caso de que en un futuro se agreguen más sensores que usen este tipo de comunicación.

Para su posterior reacondicionamiento (de ser necesario) fue necesario considerar algunas de las entradas tanto analógicas como digitales del microcontrolador.

Para realizar las conexiones se desarrolló una tarjeta de expansión para la tarjeta Arduino Mega en el software Eagle. Posteriormente dicha tarjeta fue manufacturada. Los diagramas se encuentran en el anexo 1.

Para iniciar con el reacondicionamiento de la máquina de corrosión se montó la tarjeta de expansión previamente soldada con los componentes requeridos para conectar tanto los sensores como los relevadores.



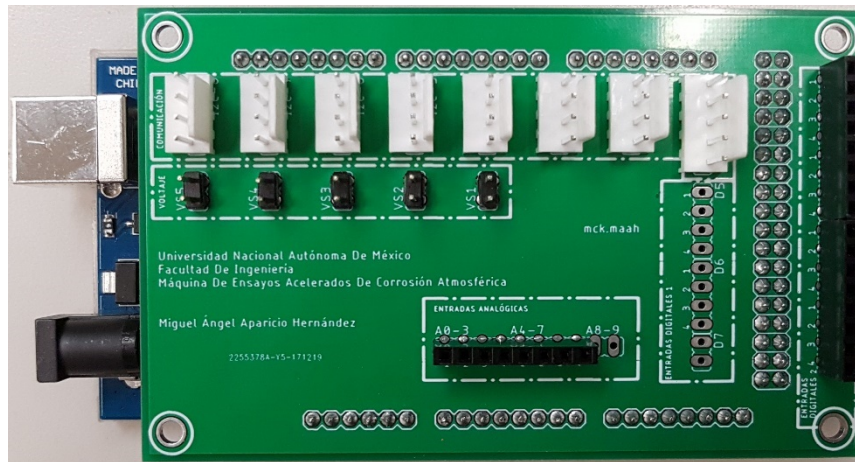


Fig.4.5 Tarjeta de expansión montada en la tarjeta de desarrollo Arduino Mega

Posteriormente se realizaron las conexiones de los relevadores y sensores en la tarjeta de expansión.

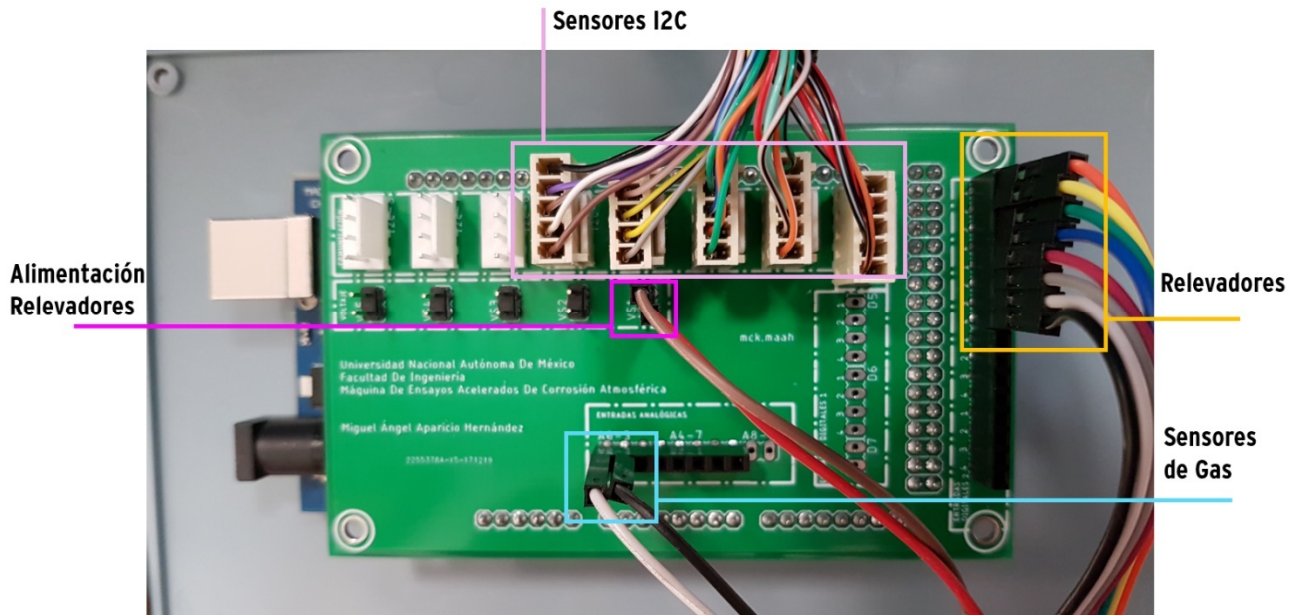


Fig.4.6 Conexiones en la Tarjeta de expansión montada en el microcontrolador

La tarjeta de expansión tiene conexiones para hasta ocho dispositivos I2C, para el sistema se utilizaron dos sensores de humedad/temperatura SHT31-D, uno de temperatura ambiente/objeto MLX90614 y dos adicionales por si se llegaran a utilizar en un futuro.

Se realizaron las conexiones de los ocho relevadores en las “Entradas digitales 2” de la tarjeta de expansión los cuales pertenecen a los pines impares del 23 al 37 del microcontrolador.

De igual manera se conectaron los sensores de gas en dos de las 10 entradas analógicas disponibles en la tarjeta de expansión.

Y por último se conectó en la tarjeta de expansión en el área de “Voltaje” la alimentación lógica de los relevadores.

Una vez realizadas dichas conexiones se montó tanto el microcontrolador como los relevadores en una caja que contendrá todas las conexiones del sistema.

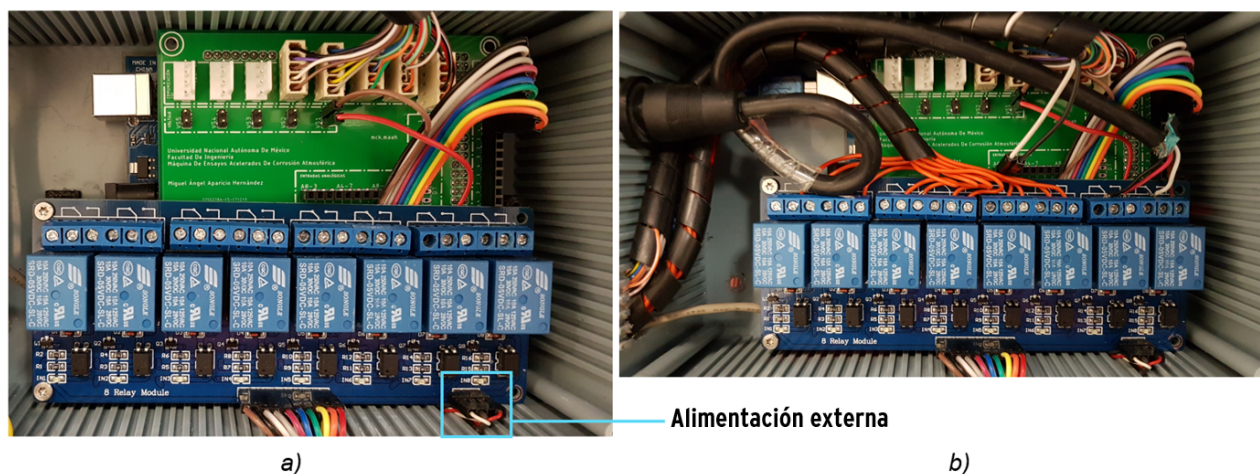


Fig.4.7 a) Relevadores y microcontrolador montados  
b) Conexiones realizadas de los relevadores a las válvulas de los gases

Como se mencionó anteriormente para los relevadores fue necesaria considerar una fuente de alimentación externa de 5V como se muestra en a) de la Figura 4.7. Por otra parte, en b) de la Figura 4.7 se muestran las conexiones que van a la bomba de calor (los dos primeros relevadores de la derecha) y las conexiones que van de los relevadores a las válvulas que controlarán el paso de los gases (los seis relevadores restantes).

Una vez realizadas las conexiones se puso en marcha el sistema para verificar su funcionamiento. Los diagramas de conexiones se encuentran en el anexo 2.



Fig.4.8 Máquina de ensayos acelerados de corrosión atmosférica ubicada en el área de corrosión de la UDIATEM Edificio "O", Anexo de Ingeniería

Cabe mencionar que el sistema de control final cuenta con los mismos cuatro subsistemas con los que contaba el sistema anterior:

1. La interfaz gráfica de usuario.
2. La cámara donde se realizan los ensayos acelerados.
3. La bomba de calor.
4. El sistema que se encarga de inyectar los gases.

El sistema cuenta con el siguiente funcionamiento:

1. En primer lugar, se inicia la comunicación entre el microcontrolador y la interfaz (la computadora).
2. Se puede programar una nueva prueba a realizar, editar o eliminar alguna que previamente se había ingresado, o sólo ver cuales pruebas han sido ingresadas y se encuentran almacenadas por la interfaz.
3. En caso de requerirse, cuenta con un sistema de control independiente que activa los relevadores que controlan las válvulas que permiten el paso de los gases, así como la humedad, temperatura y lampara de rayos UV.
4. La interfaz cuenta con la opción de prueba cíclica, lo que ayuda al usuario a no ingresar las etapas de forma repetida.
5. Una vez ingresada una prueba o verificadas las que se tienen se puede seleccionar en el área de "configuración de ensayo" para que pueda ser iniciada. Durante la prueba esta puede ser pausada o detenida de ser necesario.

6. Durante la prueba es posible agregar nuevas etapas a la prueba que se está realizando, los datos se pueden ingresar en cualquier momento en el área de “configuración de ensayo”.
7. En la ventana principal se pueden visualizar los datos ingresados para la prueba que se está realizando, también se pueden observar los datos recabados por los sensores que se van tomando durante la prueba. De igual manera se puede visualizar en una gráfica el comportamiento de las variables con respecto al tiempo.
8. Por último, al finalizar la prueba o al detenerla, se pueden exportar los datos obtenidos a un documento de Excel para su posterior estudio.

## 4.2 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE CONTROL

Una vez montados los sensores dentro de la cámara de corrosión y habiendo realizado las conexiones necesarias, el siguiente paso fue poner en marcha el funcionamiento del sistema en conjunto.

El primer paso fue verificar la correcta detección de los sensores, verificar que los valores observados en la interfaz fueran los correctos.

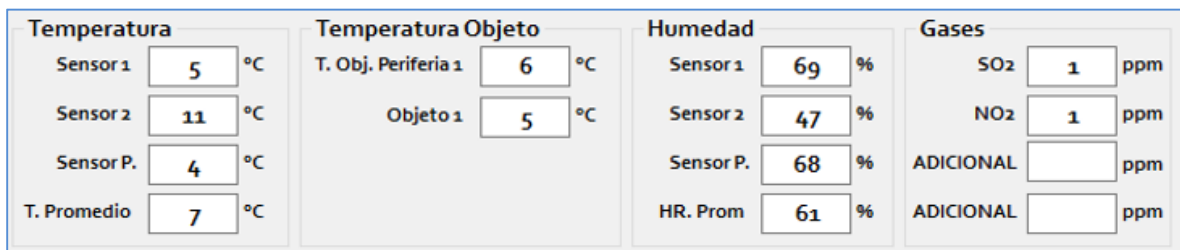


Fig.4.5 Área de sensores, prueba de lectura de sensores

En el área de sensores dentro de la interfaz, se pueden observar los valores proporcionados por los sensores de humedad, temperatura y gases.

Para verificar dichos valores se recurrió al uso de un termo hidrómetro para el caso de los sensores de humedad y temperatura, y de equipo Drager para medir las ppm (partes por millón) de los sensores de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno.

Al realizar esta verificación fu notoria una diferencia del 2% contra el equipo que fue usado como referencia. Para el caso de los sensores de gas hubo una diferencia del 1%.

Tanto para el caso de los sensores de humedad, temperatura y de gases, la diferencia entre la referencia y el valor obtenido por los sensores usados, son considerados como aceptables, ya que un error del 1% y 2% no afecta en los ensayos acelerados. Esto es debido a que una atmosfera tiene constantes variaciones y los valores de estas variables no son siempre estables, puede existir una ligera variación.

Verificados los valores el siguiente punto fue comprobar el funcionamiento del control manual de la interfaz junto con los relevadores. La interfaz fue programada para mostrar en el área de “Estado de la interfaz” los cambios realizados mediante el control manual y también cuando se hagan los cambios durante una prueba.



Fig.4.6 Interfaz cámara de corrosión control manual activado

Al realizar esta prueba se comprobó el correcto funcionamiento de la interfaz junto con los relevadores, los cuales activaban a su vez las válvulas de los gases, la lámpara UV, el humidificador y la bomba de calor.

El siguiente paso fue comprobar el correcto funcionamiento al momento de programar una prueba. De igual manera se debe comprobar que en la pantalla principal de la interfaz se pueda visualizar de manera correcta la prueba seleccionada para ser realizada.

Para ello lo primero es programar una nueva prueba que llevará el nombre “PRUEBA FUNCIONAMIENTO”.

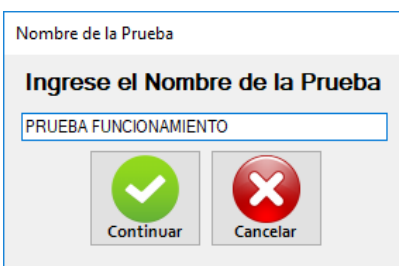


Fig.4.7 Ventana programar atmósfera

Posteriormente se procedió a agregar cinco etapas a dicha prueba. Dichas etapas contaron con las siguientes características:

Tabla.4.1 Datos de las etapas programadas

Etapa	Duración [min]	Temperatura [°C]	Humedad [%HR]	Lampara [0/1]	SO2 [ppm]	NO2 [ppm]	Adic. [ppm]	Adic. [ppm]
1	10	50	20	1	1	3	0	0
2	5	40	10	1	1	3	0	0
3	15	60	30	1	0	0	0	0
4	30	10	90	0	0	0	0	0
5	20	20	10	0	0	0	0	0

Una vez ingresados los datos de la prueba, esta se selecciona en la ventana principal de la interfaz en el área “Configuración de ensayo”, para posteriormente iniciarla.

Prueba previamente programada

Datos de la prueba seleccionada

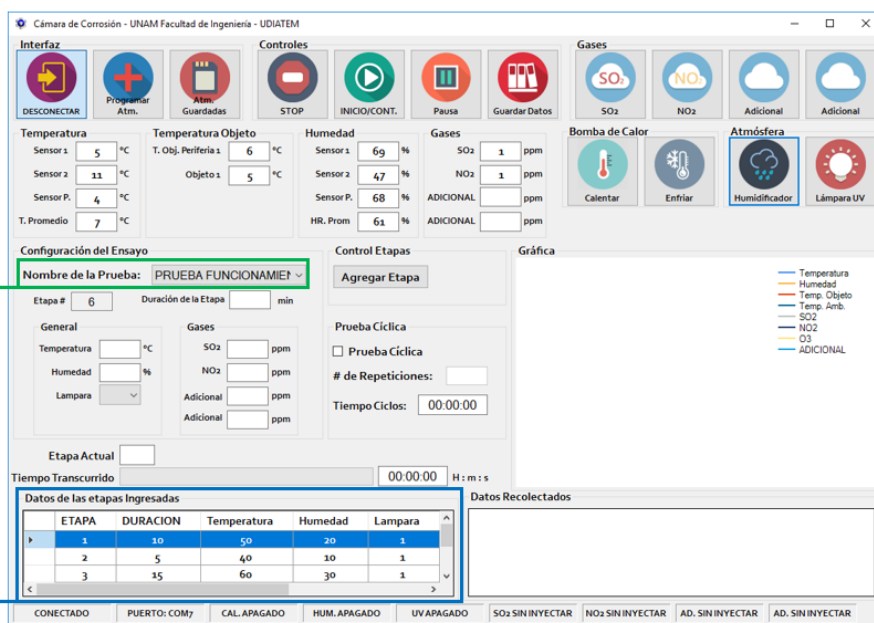


Fig.4.9 Interfaz cámara de corrosión prueba seleccionada

Con esto se comprobó el correcto funcionamiento al momento de programar una prueba. Cabe mencionar que dicho proceso se realizó reiterativamente, esto para comprobar que no se presentara problema alguno.

#### **4.3 PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD Y DEPURACIÓN DE ERRORES DEL SISTEMA DE CONTROL**

Como parte de las pruebas de funcionalidad y depuración de errores, es importante mencionar qué errores son los que se pueden esperar, desde iniciar la comunicación entre la interfaz, la comunicación con los sensores y relevadores y al momento de realizar una prueba, desde programarla hasta el momento en que se ponga en marcha.

En primer lugar, se puede presentar un problema entre la conexión de la interfaz y el microcontrolador, dicho problema se puede presentar si el puerto serial al cual está vinculado el microcontrolador no es el correcto. De igual manera puede presentarse si el mismo no se encuentra conectado a la computadora.

También la comunicación con los sensores y relevadores puede presentarse, esto debido a una conexión errónea entre estos componentes y el microcontrolador, o incluso puede existir un error en la programación en el código de Arduino.

Al momento de programar una prueba pueden presentarse los siguientes problemas:

1. Ya que la interfaz fue programada para que los datos de las pruebas ingresadas se almacenen en una base de datos, el sistema podría no detectar dichas bases de datos, esto ocasionaría que la interfaz fuera incapaz de permitir al usuario ingresar una nueva prueba.
2. Aunque el sistema permita programar una prueba, el sistema podría no permitir que la misma pueda ser modificada o eliminada, esto de igual manera se puede presentar si la interfaz no detecta las bases de datos en las cuales se almacenan todas las pruebas.

Los problemas generales que podría presentar la interfaz son los siguientes:

1. Al iniciar una prueba, el sistema podría tener fallas en la programación al momento de tratar de “leer” los datos de cada etapa que se tienen que realizar, esto ocasionaría una gran falla durante una prueba y esta no se realizaría como se espera.
2. Otro error que podría presentarse durante la realización de una prueba es que no se visualicen los datos tomados por los sensores en la tabla de “*datos*”

- recolectados*”, de igual manera podría presentarse un error en la visualización de la gráfica que muestra el comportamiento de la temperatura, humedad y gases.
3. Ya que la interfaz fue programada para realizar pruebas cíclicas, si la programación fue incorrecta esta no será capaz de realizar las pruebas con esta modalidad.
  4. La interfaz también fue programada y diseñada para que, durante una prueba, se puedan agregar nuevas etapas sin necesidad de detener la prueba que se está realizando, esta es otra característica que puede fallar si la programación no fue la adecuada.
  5. El control manual, así como los controles de la prueba podrían fallar debido a la mala programación.
  6. Por último, un error que también podría presentarse es al momento de exportar los datos recabados durante la prueba.

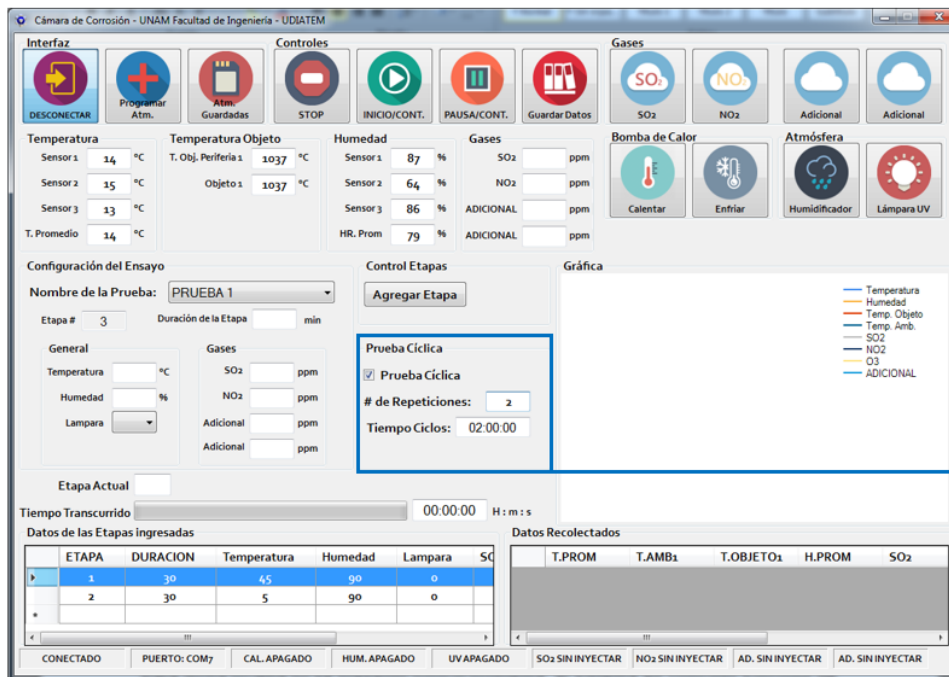
En su mayoría, los problemas que pueden presentarse son debido a la programación errónea, por lo que desde el inicio, al momento de programar la interfaz se tomó en consideración la verificación de cada parte que se iba programando, esto para que al final, en caso de que se presenten fallas fueran fáciles de detectar y no provocaran un problema mayor.

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema al momento de realizar una prueba, se realizó una prueba con un lapso de dos horas. Para esta prueba se seleccionó la modalidad de prueba cíclica. La prueba consistió en las siguientes etapas:

*Tabla.4.2 Datos de las etapas ingresadas*

Etapa	Duración [min]	Temperatura [°C]	Humedad [%HR]	Lampara [0/1]	SO2 [ppm]	NO2 [ppm]	Adic. [ppm]	Adic. [ppm]
1	30	45	90	0	1	1	0	0
2	30	5	90	0	1	1	0	0



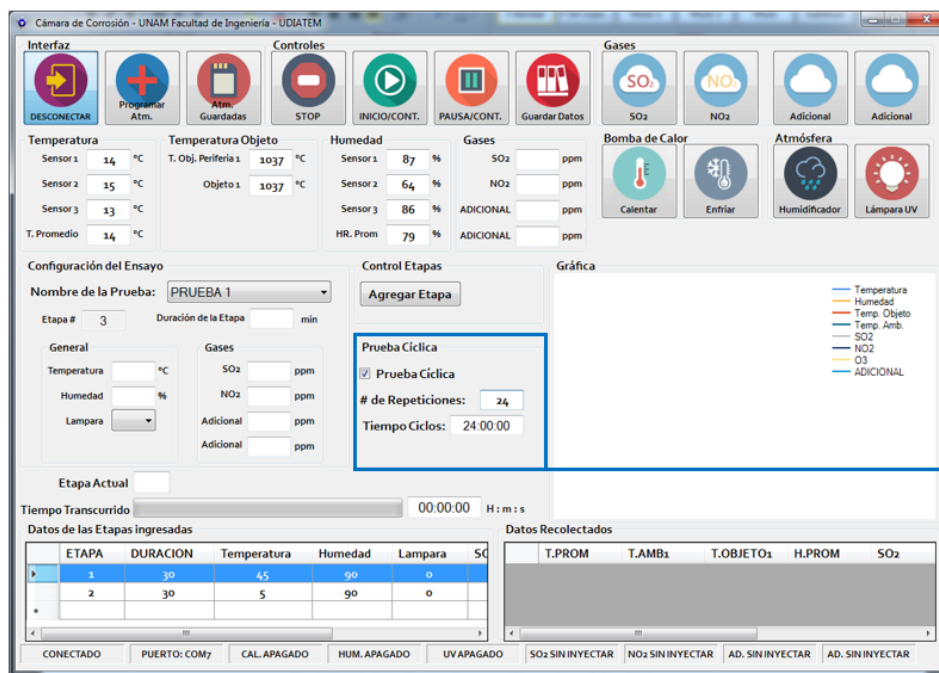


**Prueba cíclica con un total de 2 horas**

Fig.4.10 Interfaz cámara de corrosión prueba cíclica 2 horas

Para dicha prueba no se presentó ningún problema, el sistema en conjunto funcionó de manera correcta realizando los cambios pertinentes según lo programado en cada etapa. También se comprobó el correcto funcionamiento de la modalidad de prueba cíclica, ya que la prueba se realizó según el número de repeticiones ingresados.

Una vez comprobada la prueba de dos horas se realizó una prueba de veinticuatro horas para comprobar de nuevo el funcionamiento.



**Prueba cíclica con un total de 24 horas**

Fig.4.11 Interfaz cámara de corrosión prueba cíclica 24 horas

Dicha prueba no finalizó como se esperaba ya que después de cuatro horas de haber iniciado se presentó un problema. El primer problema que se presentó fue un error entre la comunicación de la interfaz y el microcontrolador, el puerto serial se cerraba causando dicho problema.

La prueba estuvo en monitoreo y después de las cuatro horas se observó que los valores mostrados en el área de "Sensores" no cambiaban, de igual manera no había cambio en los relevadores según fuera lo requerido en la prueba tanto para calentar, enfriar o encender el humidificador, la lámpara UV y las válvulas que permiten el paso de los gases.

La prueba continuaba en cuanto a tiempo por lo cual fue detenida para resolver dicho problema. Al analizar el problema se determinó que la comunicación era interrumpida al momento de hacer los cambios por la bomba de calor, para resolver dicho problema se implementó una función dentro del código de la interfaz. La tarea de dicha función era verificar el estado de la conexión con el puerto serial entre la interfaz y el microcontrolador, si había un cambio entre dicha comunicación, es decir si el puerto serial se cerraba esta función se encargaba de abrirlo logrando que la comunicación se restableciera. En caso de que la comunicación no fuera restablecida el sistema mostraba un mensaje de error al tratar de restablecer la comunicación.

A continuación, se muestra la función implementada.

```
private void PUERTO()
{
    try
    {
        if (myport.IsOpen == false)
        {
            myport.Open();
        }
    }
    catch(Exception)
    {
        MessageBox.Show("Error al restablecer la comunicación");
    }
}
```

Una vez implementada la función se volvió a realizar la prueba de 24 horas para verificar el funcionamiento del sistema. Para esta tercera prueba la prueba finalizó de manera correcta, el sistema realizó los cambios pertinentes según lo programado para cada etapa. Los sensores tomaban los valores correctos y se mostraban en el área “*Datos de las Pruebas y Recolectados*”. La comunicación entre la interfaz y el microcontrolador no volvió a tener problemas y los datos se pudieron exportar a un documento de Excel sin ninguna complicación.

El único problema que se presentó fue al momento de finalizar la prueba, ya que el sistema volvía a encender la bomba de calor en lugar de apagar por completo los relevadores que se encargan de esto. Este problema fue mínimo, ya que las instrucciones en el código base que se encargaban de apagar todos los relevadores estaban mal colocadas dentro del código. Una vez modificada la localización de dichas líneas dentro del código se volvió a implementar una prueba y la misma finalizó sin ninguna complicación.

Una vez corregidos los problemas presentados al momento de correr pruebas de simulación y verificada la funcionalidad del sistema, se realizaron las primeras pruebas externas.

### **Primeras pruebas solicitadas**

- Instituto de Ingeniería: Las primeras pruebas externas fueron solicitadas para trabajo de tesis de Maestría, siendo proyecto externo de una Mina ubicada en Zimapán, Hidalgo por parte del instituto de ingeniería. Para dichas pruebas se solicitó el uso de condiciones Humedad y temperatura, en especímenes del material retirado de la mina, la finalidad de estas pruebas es evaluar las condiciones y afecciones existentes en dichos especímenes sometidos a mínimo

365 ciclos equivalentes a 73 horas bajo las condiciones citadas de forma acelerada.

Tabla.4.3 Datos de las primeras pruebas solicitadas

Etapa	Duración [min]	Temperatura [°C]	Humedad [%HR]	Lampara [0/1]	SO2 [ppm]	NO2 [ppm]	Adic. [ppm]	Adic. [ppm]
1	6	45	90	0	0	0	0	0
2	6	5	90	0	0	0	0	0

**Nombre de la Prueba**

**Prueba cíclica con un total de 73 horas**

**Datos de la prueba seleccionada**

ETAPA	DURACION	Temperatura	Humedad	Lampara	SO2	NO2	ADICIONAL
1	6	45	90	0	0	0	0
2	6	5	90	0	0	0	0

Fig.4.12 Interfaz cámara de corrosión prueba Zimapán, Hidalgo

Posteriormente ya se tienen planeadas pruebas para trabajo de tesis de Doctorado y tesis de Licenciatura. Estas pruebas se realizarán en el mes de enero y las condiciones solicitadas fueron humedad, temperatura e inyección de gases.

# Resultados y trabajo a futuro

A continuación, se presenta una lista de las actividades logradas en el desarrollo de este trabajo:

- Se aplicaron los conocimientos de programación e instrumentación en el desarrollo y la implementación de un sistema de control para cámara de ensayos acelerados.
- Se automatizaron los procesos que requiere un equipo dedicado al desarrollo de pruebas de ensayos acelerados, esto es debido a que el sistema anterior contaba con un subsistema que requería la presencia del usuario, el subsistema que controlaba las ppm de gases a inyectar.
- Se desarrolló una tarjeta de expansión tal que permite al usuario actualizar en un futuro el sistema desarrollado, teniendo la posibilidad de agregar más sensores o elementos que llegaran a ser necesarios.
- Se verificó el correcto funcionamiento del sistema implementado, lo que permitió realizar las pruebas de ensayos acelerados requeridas, pudiendo controlar las variables consideradas, tales como la humedad, temperatura, gases y lampara UV que simula la radiación solar.
- Se desarrolló un manual de usuario en el que se describe el uso de la interfaz, así como el mantenimiento de la misma.

El desarrollo de este trabajo posibilita la realización de nuevos trabajos relacionados con la evaluación y prevención de la corrosión, en este caso corrosión atmosférica, ya que se proporciona una herramienta útil que no solo puede ser usada por la Facultad de Ingeniería para trabajos internos sino también para trabajos externos (Industria) que pudieran ser solicitados a la misma como uno de los que previamente se mencionaron.

# Conclusiones

Una vez identificadas las fallas que se presentaban en el sistema de control de la cámara de ensayos acelerados utilizada por el laboratorio de corrosión de la UDIATEM en la facultad de Ingeniería, y tras haber solucionado dichos problemas al implementar un nuevo sistema tanto en hardware como en software, se logró satisfacer las necesidades de usuario previamente analizadas.

El proceso de solución implementado fue pensado para cumplir totalmente con lo requerido. El sistema desarrollado fue pensado para que, a futuro de ser necesario, pueda ser actualizado de tal forma que ayude a que las pruebas aceleradas sean realizadas de forma aún más rápidas y confiables, bajo las condiciones que sean requeridas. Para ello se entregaron diagramas de conexión junto con el código de programación tanto de la interfaz como del microcontrolador, de igual manera se creó un manual de usuario detallado en el que se especifica el uso y mantenimiento del sistema.

Los resultados obtenidos en las pruebas externas solicitadas verificaron la funcionalidad del sistema, además con ellas se logró validar la tarea principal para la cual se desarrolló el sistema, ayudar al usuario a realizar pruebas aceleradas de corrosión atmosférica. Dicho sistema ayudará al usuario a simular atmósferas en un tiempo menor al que se tendría si las pruebas se realizaran en alguna zona que tenga las condiciones necesarias por el usuario.

Una vez resuelto el problema del sistema anterior y al compararlo con los elementos utilizados en el nuevo sistema, se confirmó que la selección de los mismos fue la adecuada. Como ya se mencionó, el nuevo sistema fue pensado para que a futuro sea actualizado recalando que la actualización, así como el mantenimiento de la misma debe ser sencilla ya que en comparación al sistema anterior la búsqueda de los sensores, por ejemplo, tuvo problemas al no conseguirse los que se tenían al inicio lo que ocasionó que se optara por usar otros. De igual manera al no contar con los diagramas pertinentes, así como el no contar con los códigos base de programación dificultó el mantenimiento del sistema, lo que ocasionó que la misma se fuera haciendo obsoleta presentando fallas al momento de realizar simulaciones.

# Anexos

## A.1 Diagrama de conexiones de la tarjeta de expansión junto con su respectivo diagrama del PCB y presentación final.

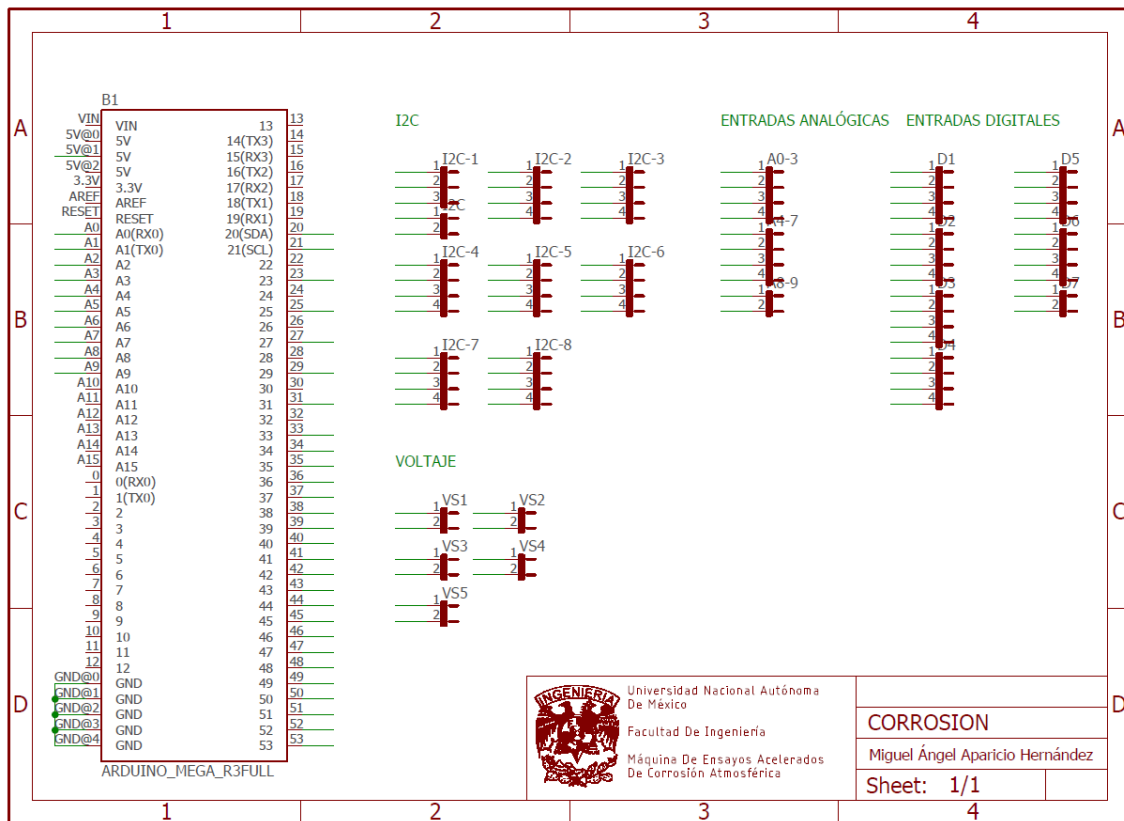


Fig.A.1 Diagrama tarjeta de expansión hecho en Eagle

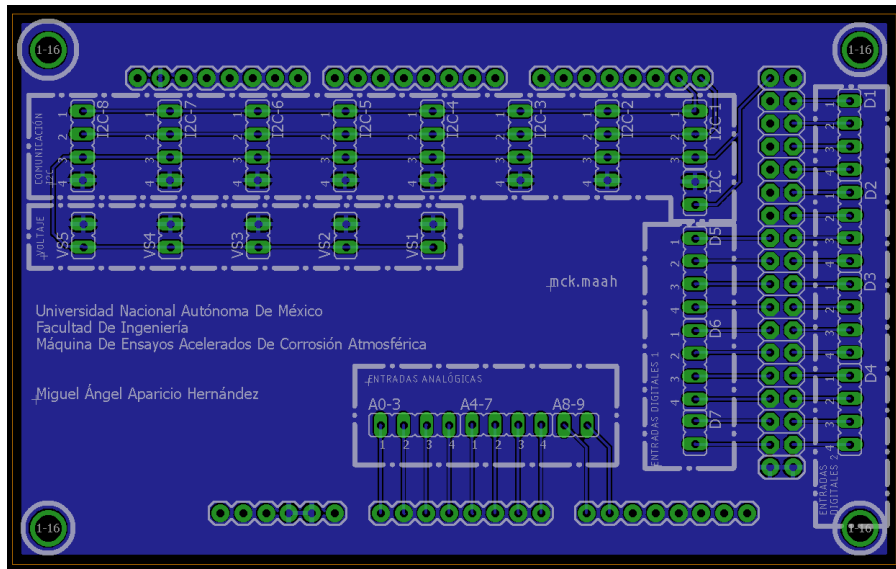


Fig.A.2 Diseño de la PCB de la tarjeta de expansión hecho en Eagle

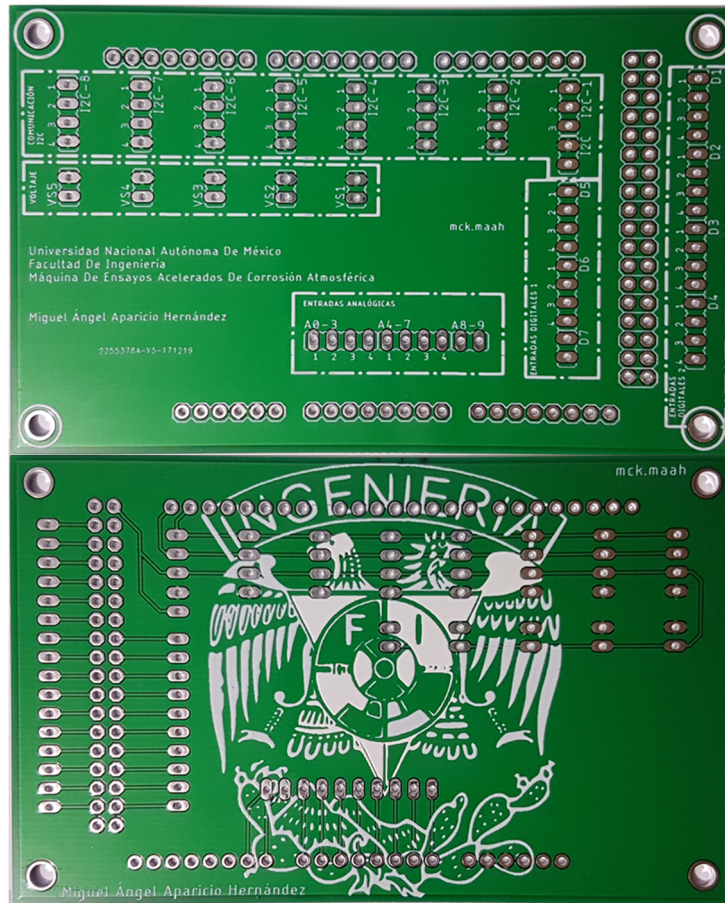


Fig.A.3 Tarjeta de expansión manufacturada



## A.2 Diagrama de conexiones entre los sensores, relevadores y el microcontrolador.

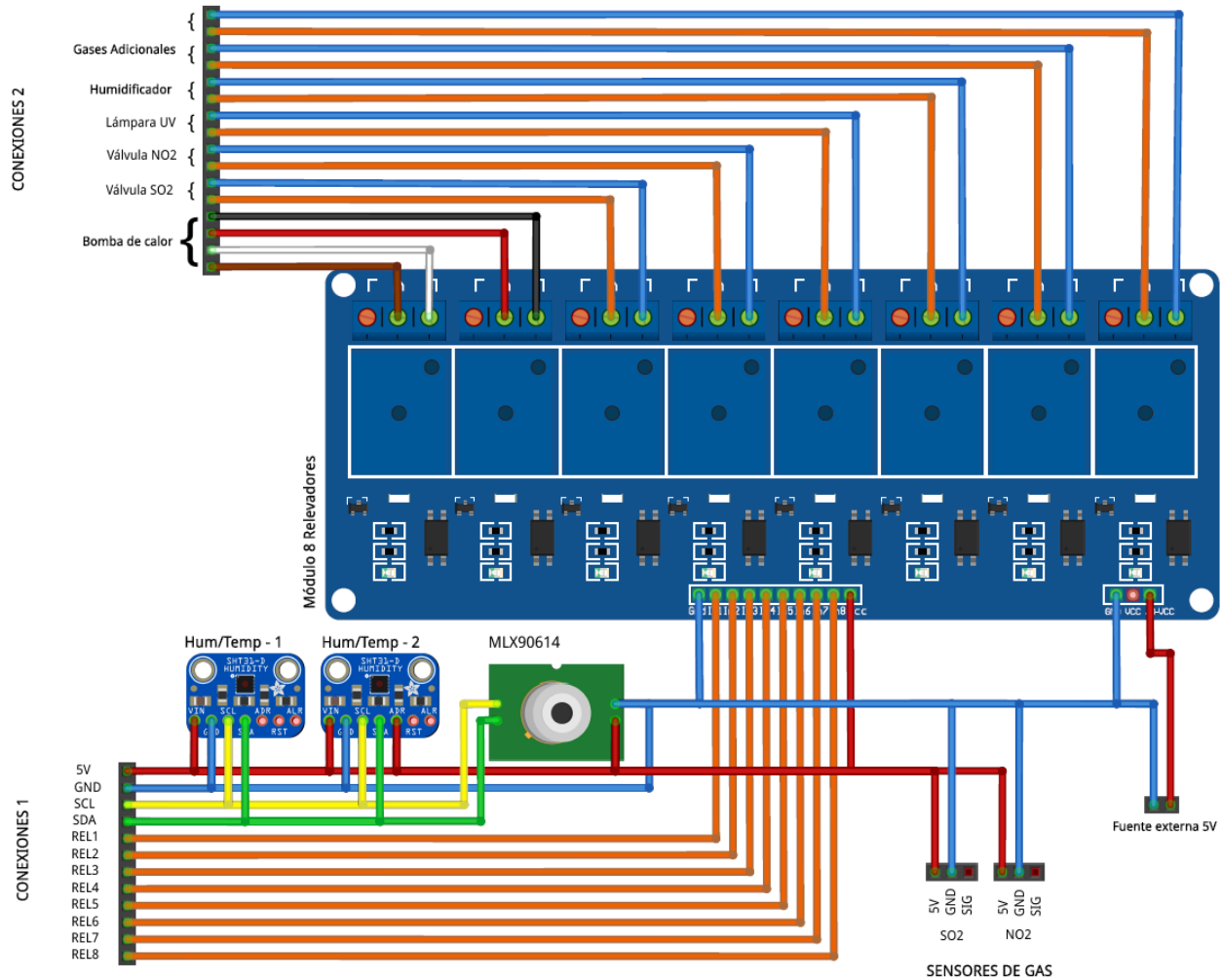


Fig.A.4 Diagrama de conexiones para los sensores y relevadores del sistema creado

Del diagrama de conexiones anterior, “Conexiones 1” van a la tarjeta Arduino Mega:

### Conexiones 1:

- 5V/GND del área de “POWER”
- SDA pin 20
- SCL pin 21
- REL1 a REL8 pines impares del 23 al 37

## **Conexiones 2:**

- El color café, blanco, rojo y negro de Bomba de calor son los colores respectivos de las conexiones hacia la misma. Para encender la bomba y enfriar se activa el segundo relevador el cual tiene las conexiones roja y negra. Para encender la bomba y calentar se activan tanto el primer relevador como el segundo.
- En las conexiones denominadas válvula de SO<sub>2</sub>, válvula NO<sub>2</sub> y gases adicionales se conectan a las válvulas que se encuentran en la cámara de corrosión.
- La lámpara UV y el humidificador se conectan directamente a cada equipo dedicados a realizar cada tarea. Dichos equipos se encuentran en la cámara de corrosión.

## **Sensores de Gas:**

- El sensor de dióxido de nitrógeno y el de dióxido de azufre va conectado cada uno a una entrada analógica del micro controlador, el A0 y A1.

Para los relevadores es necesaria considerar una fuente de alimentación externa de 5V.

# Referencias

- 
- <sup>1</sup> Roberge, P. R. *Handbook of Corrosion Engineering*: McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto.
- <sup>2</sup> Beskeen/Cram/Duffy/Friedrichsen/Reding. (2012). Serie Libro Visual Microsoft Office 2010 Introducción (1ra ed.): Cengage Learning.
- <sup>3</sup> Beskeen/Cram/Duffy/Friedrichsen/Reding. (2012). Serie Libro Visual Microsoft Office 2010 Introducción (1ra ed.): Cengage Learning.
- <sup>4</sup> Mano, M. M. (1993). *Arquitectura de Computadoras* (3ra ed.): Pearson.
- <sup>5</sup> Axelson, J. (1998). *Serial Port Complete: Programming and Circuits for RS-232 and RS-485 Links and Networks*: Lakeview Research.
- <sup>6</sup> Ibídem
- <sup>7</sup> Ibídem
- <sup>8</sup> Ibídem
- <sup>9</sup> Ibídem
- <sup>10</sup> Axelson, J. (1998). *Serial Port Complete: Programming and Circuits for RS-232 and RS-485 Links and Networks*: Lakeview Research.
- <sup>11</sup> Pérez, I. E. L. INGENIERIA EN MICROCONTROLADORES; Protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) [En línea]. Disponible en: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>
- <sup>12</sup> Ibídem
- <sup>13</sup> Ibídem
- <sup>14</sup> Ibídem
- <sup>15</sup> Ibídem
- <sup>16</sup> Bus I2C [En línea]. Disponible en: [https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/7351/mod\\_resource/content/0/4\\_Telecontrol\\_e\\_domotica/Bus\\_I2C.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/7351/mod_resource/content/0/4_Telecontrol_e_domotica/Bus_I2C.pdf)
- <sup>17</sup> Protocolo I2C / TWI [En línea] Disponible en: <http://www.quadruino.com/guia-2/sensores/protocolo-i2c-twi>
- <sup>18</sup> Bus I2C [En línea]. Disponible en: [https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/7351/mod\\_resource/content/0/4\\_Telecontrol\\_e\\_domotica/Bus\\_I2C.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/7351/mod_resource/content/0/4_Telecontrol_e_domotica/Bus_I2C.pdf)
- <sup>19</sup> Pérez, I. E. L. INGENIERIA EN MICROCONTROLADORES; Protocolo SPI (Serial Peripheral Interface). [En línea]. Disponible en: <http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>
- <sup>20</sup> Ibídem
- <sup>21</sup> Nuño Fernando; BUS I2C. [En línea]. Disponible en: [http://iglona.eu5.org/I2C\\_PRACTICO\\_TC74.pdf](http://iglona.eu5.org/I2C_PRACTICO_TC74.pdf)
- <sup>22</sup> TUTORIAL ARDUINO: I2C. [En línea]. Disponible en: <http://www.electroensaimada.com/i2c.html>
- <sup>23</sup> Villalobos Sebastián; FAMILIAS DE MICROCONTROLADORES; [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/102891072/Familias-de-microcontroladores>
- <sup>24</sup> Sánchez Sergio; MICROCONTROLADORES PIC Y SUS VARIEDADES; [En línea]. Disponible en: <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>
- <sup>25</sup> Especificaciones Arduino UNO; [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

- 
- <sup>26</sup> Especificaciones Arduino Mega; [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- <sup>27</sup> Especificaciones Arduino Due; [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>
- <sup>28</sup> Especificaciones Arduino Nano; [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- <sup>29</sup> Captura interfaz Xerox PARC; [En línea]. Disponible en: <http://www.catb.org/esr/writings/taouu/html/graphics/starscreen.jpg>
- <sup>30</sup> Captura interfaz Apple Lisa; [En línea]. Disponible en: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/5/50/Apple\\_Macintosh\\_Desktop.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/5/50/Apple_Macintosh_Desktop.png)
- <sup>31</sup> Captura interfaz DESQview; [En línea]. Disponible en: <http://toastytech.com/guis/dvxappmgr.png>
- <sup>32</sup> Captura interfaz AmigaWB; [En línea]. Disponible en: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/b7/AmigaOS4.png>
- <sup>33</sup> Captura interfaz Windows; [En línea]. Disponible en: <http://zdnet3.cbsstatic.com/hub/i/r/2015/07/23/db9b07b8-1bd3-4451-9365-7bd336f4d7dd/resize/1170x878/6a5511eafc6e9a454add33945466f8ed/cmwindows1-0jul15a.jpg>
- <sup>34</sup> Captura interfaz BeOS; [En línea]. Disponible en: [http://netdna.webdesignerdepot.com/uploads/2009/03/800px-beos\\_desktop.jpg](http://netdna.webdesignerdepot.com/uploads/2009/03/800px-beos_desktop.jpg)
- <sup>35</sup> Interfaz gráfica de usuario (GUI); [En línea]. Disponible en: [http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Interfaces/enlightment/guis\\_3.html](http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Interfaces/enlightment/guis_3.html)
- <sup>36</sup> Captura interfaz Mac OS X; [En línea]. Disponible en: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/7/78/Macosxpb.png>
- <sup>37</sup> Captura Leap Motion [En línea]. Disponible en: <http://dulce.com/wp-content/uploads/2016/02/uxgcfuxdufcgkkyt9oxf.jpg>
- <sup>38</sup> Laboratorio de Corrosión CPT; [En línea]. Disponible en: <http://www.cptub.com/index.php/en/es/instalaciones/198-corrosion>
- <sup>39</sup> Q-FOG SSP & CCT CYCLIC CORROSION TESTERS; [En línea]. Disponible en: <http://www.q-lab.com/es-es/products/q-fog-cyclic-corrosion-chamber/q-fog-ssp-cct>
- <sup>40</sup> QUV ACCELERATED WEATHERING TESTER; [En línea]. Disponible en: <http://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv>
- <sup>41</sup> Laboratorio de polímeros: Envejecimiento artificial acelerado; [En línea]. Disponible en: <http://www.aimplas.es/blog/laboratorio-de-polimeros-envejecimiento-artificial-acelerado>
- <sup>42</sup> Climent Llorca Miguel Ángel, G. T. P., Zornoza Gómez Emilio. (2008). Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado (1ra Edición ed.): Club Universitario.
- <sup>43</sup> Ibídem
- <sup>44</sup> Normatividad dl monitoreo de la calidad del aire; [En línea]. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhtml=&dc=%27Yw>
- <sup>45</sup> Ibídem