



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Tecnológico de Boca del Río



SERETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

**SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE
LLUVIA PARA LA MEDICIÓN DE SU ACIDEZ**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA

I.M. Juan García Hernández

DIRECTOR:

Dr. Arturo García Saldaña

CO-DIRECTOR:

M.C. Irma Angélica García González

ASESOR:

Dra. Fabiola Lango Reynoso

Dr. Jesús Montoya Mendoza

MARZO, 2020

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO



Instituto Tecnológico de Boca del Río
Subdirección Académica
División de Estudios de Posgrado e Investigación

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Boca del Río, Ver **25/ mayo/ 2020**

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

ING. JUAN GARCÍA HERNÁNDEZ
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE

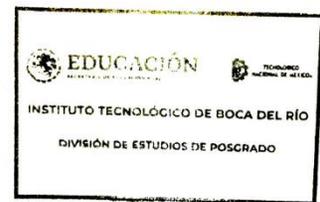
De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA LA MEDICIÓN DE SU ACIDEZ"

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos

M.C. ANA LETICIA PLATAS PINOS
JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente





"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: A-0709-130818

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 4 del mes de mayo de 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

"DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA LA MEDICIÓN DE SU ACIDEZ"

Que presenta el (la) alumno(a):

ING. JUAN GARCÍA HERNÁNDEZ
Aspirante al Grado de:

Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:

Dr. Arturo García Saldaña
Director

M.C. Irma Angélica García González
Co-Director

Dra. Fabiola Lango Reynoso
Asesor

Dr. Jesús Montoya Mendoza
Asesor



RESUMEN

Por definición la lluvia ácida es el agua de lluvia con un valor de pH inferior a 5.65. Gran parte se debe a la dilución del Dióxido de Carbono (CO_2), lo que genera la formación de ácido carbónico, por tanto, la acidez del agua. Sin embargo, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxido de azufre (SO_x), de manera natural o antropogénica y principales precursores de la lluvia ácida, al reaccionar con la humedad atmosférica pueden generar ácido nítrico y ácido sulfúrico respectivamente. Tales ácidos son fuertes y logran bajar el pH del agua de lluvia. Según el Inventario Nacional de Emisiones de México 1999, el Estado de Veracruz se ubica en el segundo lugar a nivel nacional con respecto a las emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2) y en el tercero con respecto a las emisiones de NO_x , de ahí la importancia en el monitoreo de la lluvia ácida.

Se diseñó un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia para la medición de su acidez. El dispositivo se desarrolló en el laboratorio de Investigación y Recursos Acuáticos (LIRA), dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río. Se estableció un sistema de control automatizado del tipo ON-OFF de lazo cerrado, para el control de la apertura y cierre de la tapa, en de la cual se implementó la programación del microcontrolador del sistema (Arduino Mega). Para la medición del PH, se utilizó un controlador tipo proporcional (P). La implementación permitió recopilar datos de lluvia acida. Dicho sistema cuenta con baterías recargables para asegurar su movilidad y así obtener la información instantáneamente en cada monitoreo. Para contener resguardado todos los componentes, se construyó una estructura y un gabinete de acero inoxidable grado 304 opaco para evitar la corrosión del sistema. El sensor de acidez se calibró con soluciones de calibración (buffers) neutro (7) y ácido (4). Los niveles de acidez medidos se almacenaron en una memoria SD. Posteriormente se descargaron en una computadora personal. En la evaluación del funcionamiento se obtuvo un desempeño superior a sus similares de acuerdo a la literatura. Se detectó que la evaporización del agua acumula la acidez, por lo que tomar la medición al instante es una solución a tal fenómeno que algunos otros dispositivos no contemplan. Por tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue diseñar un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia para la medición de su acidez, en tiempo real.

Palabras clave: Captador de lluvia, grado de pH, lluvia acida, Sistema Automatizado.

ABSTRACT

By definition acid rain is rainwater with a pH value less than 5.65. Much of it is due to the dilution of Carbon Dioxide (CO_2), which generates the formation of carbonic acid, therefore, the acidity of the water. However, emissions of nitrogen oxides (NO_x) and sulfur oxide (SO_x), naturally or anthropogenic and main precursors of acid rain, when reacting with atmospheric humidity, can generate nitric acid and sulfuric acid respectively. Such acids are strong and manage to lower the pH of rainwater. According to the National Inventory of Emissions of Mexico 1999, the State of Veracruz is in second place at the national level with respect to Sulfur Dioxide (SO_2) emissions and in third with respect to NO_x emissions, hence the importance in monitoring acid rain.

An automated rainwater collection system was designed to measure its acidity. The device was developed in the Aquatic Resources and Research Laboratory (LIRA), within the facilities of the Technological Institute of Boca del Rio. An automated closed-loop ON-OFF control system was established to control the opening and closing the lid, in which the programming of the system microcontroller (Arduino Mega) was implemented. For the measurement of the PH, a proportional type controller (P) was used. The implementation allowed to collect acid rain data. This system has rechargeable batteries to ensure its mobility and thus obtain the information instantly at each monitoring. To contain all components protected, an opaque grade 304 stainless steel frame and cabinet were constructed to prevent system corrosion. The acidity sensor was calibrated with neutral (7) and acid (4) calibration solutions (buffers). The measured acidity levels were stored in SD memory. They were later downloaded to a personal computer. In the evaluation of the operation, a performance superior to its peers was obtained according to the literature. It was detected that the evaporation of water accumulates acidity, so taking the measurement instantly is a solution to such a phenomenon that some other devices do not contemplate. Therefore, the objective of this research work was to design an automated rainwater collection system to measure its acidity, in real time.

(Key words: Rain collector, pH degree, acid rain, Automated System)

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

Tecnológico Nacional de México por haber financiado el proyecto: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA LA MEDICIÓN DE SU ACIDEZ.**

A todos mis profesores del Instituto Tecnológico de Boca del Rio por su aportación de conocimientos y que fueron parte de mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado una beca para realizar mis estudios de maestría y la aportación para realizar el proyecto.

Al Dr. Arturo García Saldaña por todo el apoyo, paciencia y comprensión que tuvo para que pudiera realizar el trabajo.

A las Dras. Irma Angélica García González y Fabiola Lango Reynoso, también al Dr. Jesús Montoya Mendoza por los aportes y comentarios durante el desarrollo de mi tesis.

A mi familia, por contar con la comprensión y motivación para que siguiera estudiando hasta el final de la maestría.

ÍNDICE GENERAL

Resumen-----	iii
Abstract-----	iv
Dedicatoria-----	v
Agradecimientos-----	vi
Índice-----	vii
Índice de tablas-----	xi
Índice de figuras-----	xii
1.- INTRODUCCIÓN-----	1
2.- MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL-----	2
2.1.- Ciclos del ácido atmosférico-----	2
2.1.1.- Etapa fotoquímica-----	4
2.1.2.- Etapa catalítica-----	4
2.2.- Tipos de lluvias-----	6
2.2.1.- Lluvia normal-----	6
2.2.2.- Lluvia radiactiva-----	6
2.2.3.- Lluvia ácida-----	7
2.3.- Contaminación antrópica o industrial-----	7
2.3.1.- Fuentes de Óxidos de Azufre SO _x -----	7
2.3.2.- Fuentes Óxidos de Nitrógeno NO _x -----	9
2.4.- Contaminación natural (polución)-----	10
2.4.1.- Efectos de la lluvia ácida-----	11
2.4.2.- Efectos en la salud-----	11
2.4.3.- Efecto sobre el agua-----	11
2.4.4.- Efecto en los bosques-----	12
2.4.5.- Daños en los edificios y objetos-----	13
2.5.- Sistema de control-----	14
2.5.1.- Sensores-----	15

2.5.2.- Controladores-----	15
2.5.3.- Actuador-----	15
2.5.4.- Tipos de control-----	16
2.5.4.1.- Sistema de control abierto-----	16
2.5.4.2.- Sistema de control cerrado-----	17
2.6.- Placa electrónica Arduino-----	18
2.6.1.- Arduino Mega 2560-----	18
2.6.2.- Especificaciones técnicas Arduino mega 2560-----	19
2.6.3.- Programación-----	19
2.6.4.- Protección-----	20
2.6.5.- Alimentación eléctrica-----	20
2.6.6.- Los pines de alimentación-----	20
2.6.7.- Memoria-----	21
2.6.8.- Entrada y Salida-----	21
2.6.9.- Funciones algunos pines especializados-----	21
2.6.10.- Interrupciones externas-----	22
2.6.11.- Par de pines en la placa-----	22
2.6.12.- Comunicación-----	23
2.6.13.- Características físicas y compatibilidad con Escudos-----	23
2.6.14.- Reset (Software) automático-----	24
2.7.- Tipos de módulos Arduino-----	25
2.7.1.- Memoria SD y micro SD-----	25
2.7.2.- Módulos SD-----	26
2.7.3.- Módulo de reloj RTC DS1302 con batería-----	27
2.7.4.- Módulo adaptador LCD a I2C-----	29
2.7.4.1.- Conexiones entre Arduino y Módulo adaptador LCD a I2C-----	30
2.7.5.- Módulo Arduino para lluvia-----	31
2.7.6.- Electrodo y módulo de pH-----	32
2.7.6.1.- Descripción módulo de pH-----	33

2.7.7.- Servomotor-----	35
2.7.7.1.- Programa-----	37
2.7.8.- Flotador switch de nivel de agua -----	38
2.7.9.- Electroválvula-----	39
2.7.10.- Relevador para Arduino 1 canal 5 V-----	40
2.7.11.- Batería 12 V recargable sellada-----	41
3.- MARCO REFERENCIAL-----	42
3.1.- Lugar de estudio-----	42
3.2.- Antecedentes-----	43
3.2.1.- Impactos de la precipitación ácida-----	46
3.2.2.- Precipitación ácida en México-----	49
3.2.3.- Precursores de la precipitación ácida-----	50
4.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN-----	51
4.1.- Situación problemática-----	51
4.2.- Pregunta de investigación-----	52
4.3.- Justificación-----	52
5.- HIPÓTESIS-----	52
6.- OBJETIVOS-----	52
7.- MATERIALES Y METODOS-----	53
7.1.- Avances-----	55
7.2.- Placa detectora de lluvia-----	57
7.3.- Unidad de alimentación (UDA)-----	60
7.4.- Unidad de carga para las baterías -----	60
7.5.- Unidad reguladora para el Arduino -----	61
7.6.- Circuito alimentador para Arduino-----	62
7.7.- Rele o relevador de electroválvula-----	63
7.8.- Tarjeta impresa de 16 pines-----	63
7.9.- Funcionamiento del sistema-----	65
7.10.- Sistema de control operando -----	66

7.11.- Normas aplicadas-----	68
8.- RESULTADOS-----	69
9.- DISCUSIÓN-----	69
10.- CONCLUSIONES-----	69
11.- LITERATURA CITADA-----	70

12 anexos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Fuentes de contaminación antropogénica de SO ₂ -----	8
Tabla 2.- Fuentes de contaminación antropogénica de NOx-----	9
Tabla 3.- Fuentes de contaminación natural-----	11
Tabla 4.- Especificaciones técnicas Arduino mega 2560-----	19
Tabla 5.- Tipos de Arduino para modulo SD lector-----	27
Tabla 6.- Tipos o modelos de Arduino-----	30
Tabla 7.- Conexión del módulo del sensor de lluvia al Arduino-----	32
Tabla 8.- Especificaciones técnicas del módulo PH-4502C-----	33
Tabla 9.- Disposiciones de pines del módulo pH-----	33
Tabla 10.- Especificaciones técnicas servomotor TowerPro MG995-----	36
Tabla 11.- Especificaciones técnicas del sensor de nivel-----	38
Tabla 12.- Especificaciones técnicas de electroválvula MD201173-----	40
Tabla 13.- Especificaciones técnicas del relevador Arduino-----	41
Tabla 14.- Especificaciones técnicas de batería sellada-----	42
Tabla 15.- Resistencia de organismos a ambientes ácidos-----	48
Tabla 16.- Resultados de monitoreo en DF y alrededores-----	49
Tabla 17.- Componentes del sistema de software-----	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Proceso foto lítico de formación de oxidantes fotoquímicos-----	10
Figura 2.- pH crítico para el Pez Seleccionado en los Lagos y Arroyos-----	12
Figura 3.- Efectos de la lluvia ácida en el Bosque-----	13
Figura 4.- Diagrama de bloques de un sistema de control-----	15
Figura 5.- Sistema de control genérico-----	16
Figura 6.- Control lazo cerrado vs. Control lazo abierto-----	17
Figura 7.- Arduino Mega 2560-----	18
Figura 8.- Tipos de tarjetas SD -----	26
Figura 9.- Módulo SD lector Arduino electrónica-----	26
Figura 10.- Modulo de reloj modelo DS1302-----	27
Figura 11.- Diagrama esquemático DS1302-----	28
Figura 12.- Modulo adaptador LCD a I2C -----	29
Figura 13.- Conexiones entre Arduino y Módulo adaptador LCD a I2C -----	30
Figura 14.- Conectado de módulo con el Arduino -----	31
Figura 15.- Sensor de lluvia-----	32
Figura 16.- sensor y módulo de pH-----	33
Figura 17.- Buffer calibrador pH-----	34
Figura 18.- Servomotor con Arduino-----	37
Figura 19.- Sensor de nivel-----	39
Figura 20.- Sensor normalmente abierto y normalmente cerrado-----	39
Figura 21.- Válvula eléctrica 24 voltios-----	40
Figura 22.- Relevador 1 canal 5v-----	41
Figura 23.- Batería de ácido recargable sellada 12 V 4.5 Ah-----	42
Figura 24.- laboratorio de Investigación y Recursos Acuáticos (LIRA)-----	53
Figura 25.- Simulador de lluvia-----	54
Figura 26.- Cilindro con embudo interno -----	55
Figura 27.- Gabinete de acero inoxidable -----	56
Figura 28.- Conexiones internas del dispositivo -----	56
Figura 29.- Estructura interna del dispositivo-----	57

Figura 30.- Sistema mecánico de captación-----	57
Figura 31.- Sensor de lluvia mod SRR01-----	58
Figura 32.- Diagrama de bloques de circuito electrónico-----	59
Figura 33.- fuente unidad de alimentación (UDA)-----	60
Figura 34.- Circuito alimentador para baterías y electroválvula-----	61
Figura 35.- Unidad fuente reguladora de 12 v a 5 v-----	61
Figura 36.- Circuito electrónico con componentes completo-----	62
Figura 37.- Diagrama eléctrico de relevador 24 VCD para electroválvulas-----	63
Figura 38.- Diagrama eléctrico de conexiones multifuncional 5 VCD-----	64
Figura 39.- Partes internas del sistema de control-----	65
Figura 40.- Parte frontal del sistema de control-----	66
Figura 41.- Sistema de control de datos en funcionamiento-----	67

1.- INTRODUCCIÓN

Actualmente las personas están expuestas a más de 500,000 sustancias extrañas, y muchas de ellas invaden el aire que se respira y son nocivas para la salud. Otras sustancias de naturaleza coloidal o gaseosa como el monóxido de carbono, el ozono, polvos y humos son prácticamente ubicuas en el ambiente aéreo y los de procesos naturales como abióticos y bióticos: actividad volcánica y geotérmica, descargas eléctricas, incendios forestales, fermentación y respiración celular (Herrera Londoño, 1999).

Uno de los problemas asociados a la contaminación atmosférica es la lluvia ácida. Por definición la lluvia ácida es el agua de lluvia con un valor de pH inferior a 5.65. Gran parte es la dilución del CO_2 en el agua de lluvia, se tiene la formación de ácido carbónico, el cual genera que el pH natural del agua de lluvia tenga cierto grado de acidez. Las primeras apariciones de este fenómeno se observaron en Suecia (1848), Inglaterra (1877) y en Alemania (1867), donde se publicó que por alguna razón las lluvias eran más ácidas de lo normal.

En otras palabras, el agua de lluvia es considerada ácida, dado que su pH suele ser de 5.6 estos debido a que el agua es un excelente solvente. Cuando esta cae disuelve algo de dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmósfera y retorna a la superficie en forma ácido carbónico, por esta razón el daño ambiental no empeoraría.

A fines de los 80 y principio de los 90, los países industrializados comenzaron a desarrollar estrategias y políticas medioambientales para el control de la emisión de gases de efecto invernadero, y como medida precautoria se fueron emitiendo impuestos a todas las industrias que emitían SO_2 , de NO_x u otro tipo de contaminante atmosférico.

Lamentablemente los organismos reguladores adoptados no fueron efectivos, pues durante más de una década la emisión de gases de efecto invernadero avanzó a pasos agigantados y pese a todas las medidas de control y mitigación, los efectos adversos medioambientales sobre la atmósfera no pudieron ser controlados. Actualmente la lluvia ácida es uno de los problemas ambientales que sufre nuestro planeta. Es por esto que, el objetivo del presente trabajo de investigación fue diseñar un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia en tiempo real para la medición de su acidez con precisión.

2.- MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Todas las sustancias se mantienen durante largo tiempo en rangos de concentración bajos, debido a los eficientes mecanismos de la naturaleza. Sin embargo, la actividad industrial genera grandes cantidades de sustancias extrañas, y está alcanzando el nivel de contaminantes peligrosos para la vida en el planeta. Al rebasar la capacidad del ecosistema para transformarlos, sus niveles tienden hacia el aumento, permanencia e irreversibilidad (Likens & Bormann, 1974).

La mayor fuente de contaminación atmosférica es el uso de combustibles fósiles como energéticos: Petróleo, gas y carbón son usados en grandes cantidades, del orden de millones de toneladas por día, y los desechos de su combustión se arrojan a la atmósfera en forma de polvo, humo y gases. Los dos primeros se pueden ver y desagradan, pero los gases que no se pueden ver, y son los más peligrosos (Likens & Bormann, 1974).

En teoría, al menos polvo y el humo pueden evitarse, pero los gases no, y pueden causar desde lluvia ácida hasta el calentamiento de la tierra (efecto invernadero), así como el incremento en los niveles del ozono y el monóxido de carbono, que son altamente tóxicos para los humanos.

2.1.- Ciclos del ácido atmosférico

El bióxido de azufre gaseoso, componente del ciclo del azufre, y los óxidos de nitrógeno, del ciclo del nitrógeno, se combinan en la atmósfera, así como los óxidos de carbono. La lluvia ácida y la nieve ácida se forman cuando estos gases contaminantes, los óxidos de azufre, de nitrógeno y de carbono, se combinan con el agua, teniendo como acelerador de las reacciones a la luz solar.

Los óxidos de azufre se convierten en ácido sulfúrico (H_2SO_4), los óxidos de nitrógeno en ácido nítrico (HNO_3) y el bióxido de carbono en ácido carbónico (H_2CO_3). Parte de esta mezcla, que vuelve a la tierra como finas partículas (sulfatos y nitratos), se conoce como deposición seca. Una porción mayor es transportada lejos de la fuente, y la dirección que toma depende en gran medida de la circulación atmosférica general.

Durante su transporte por la atmósfera, el SO_2 y el NO_2 , y sus productos de oxidación, participan en reacciones complejas que incluyen al monóxido de cloro y otros

compuestos, además del oxígeno y el vapor de agua. Estas reacciones producen ácidos fuertes, principalmente ácido nítrico y ácido sulfúrico, que se diluyen en vapor de agua, para finalmente caer a la tierra en forma de lluvia ácida, nieve y niebla, fenómeno que se conoce como deposición húmeda. La lluvia ácida se forma a través de las siguientes reacciones fotoquímicas (Granados-Sánchez, López-Ríos, & Sánchez-Hernández, 2010).



El agua de lluvia no contaminada, considerada agua pura, tiene un pH de 5.6, pero raramente llueve agua pura. Incluso en regiones no sometidas a contaminación industrial, la humedad atmosférica se ve expuesta a cantidades variables de ácidos de origen natural; de este modo las precipitaciones tienen un pH de alrededor de 5. Sin embargo, en las regiones que se extienden alrededor de centros de actividad humana, y que pueden llegar a cientos de kilómetros, el pH de la precipitación es más bajo, de 3.5 a 4.5 o aún menor ocasionalmente (Mohnen, 1988); (Minoura & Iwasaka, 1996).

La precipitación húmeda es más conocida por ser la causante de la acidificación en el medio, dejando muchas veces a un lado las precipitaciones secas. Este tipo de deposición tiene lugar cuando los compuestos gaseosos precursores de la lluvia ácida entran en contacto con el vapor de agua, la luz y el oxígeno de la atmósfera, y se forma una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Después de estos procesos y de estas reacciones catalíticas iniciadas en forma fotoquímica en la atmósfera, esta mezcla viaja muchos kilómetros, precipitándose y cayendo al medio en forma de deposición húmeda. El ácido producto de este proceso, se deposita en solución en el terreno y los vegetales durante las precipitaciones atmosféricas. El proceso de generación de las precipitaciones ácidas húmedas sigue, entonces, dos etapas:

2.1.1.- Etapa fotoquímica

Esta ocurre en fase gaseosa. El bióxido de azufre y el óxido de nitrógeno se oxidan a trióxido de azufre (SO_3) y bióxido de nitrógeno (NO_2), respectivamente, gracias a la energía proporcionada por la radiación ultravioleta del Sol y por demás agentes oxidantes de la atmósfera.

2.1.2.- Etapa catalítica

Tiene lugar en fase líquida y consiste en la transformación del SO_2 original en ácido sulfúrico (H_2SO_4), por disolución acuosa, siendo catalizada principalmente por la reacción con sales de hierro y de manganeso presentes en las gotas de agua. Parte de este ácido es neutralizado en la atmósfera por el amoníaco, originándose iones amonio (NH_4^+); el resto aparece disuelto en las gotas de lluvia, acidificándola, en forma de iones sulfato (SO_4^{2-}) y de iones hidrógeno. A partir de aquí se forman los ácidos ya mencionados.

Estos contaminantes así precipitados son después transportados por ríos, lagos y océanos, evaporándose a la atmósfera y formando nubes que viajan empujadas por el viento, pudiendo así alcanzar casi cualquier lugar sobre la superficie terrestre. Los contaminantes como bióxido de azufre, óxido nitroso y en un grado menor los cloratos, pueden unirse al *smog* y a las partículas de polvo y caer como polvo ácido cerca de las fuentes que los emiten, o pueden permanecer en la atmósfera como gas.

La lluvia es naturalmente ácida a causa de que es disuelta por el dióxido de carbono en su descenso a través del aire. La deposición húmeda ocurre cuando los compuestos de SO_x y NO_x son residentes por tanto tiempo en el aire como para combinarse con la humedad para formar ácidos sulfúrico y nítrico diluidos.

Estos ácidos están en la lluvia, en la nieve y en el aire. El bióxido de azufre y el óxido nitroso son producidos en forma natural por los volcanes. Los sulfuros atmosféricos fueron los primeros sustratos para metabolizar las primeras reacciones fotosintéticas hace 3.5 billones de años (Graveland, Van Der Wal, Van Balen, & Van Noordwijk, 1994). El bióxido de azufre y los óxidos nítricos son gases raros que encontramos de forma natural en la atmósfera, pero las actividades humanas del siglo pasado hicieron que sus concentraciones se incrementaran en gran proporción, a partir de que se empezó a quemar el combustible fósil. Los óxidos de nitrógeno están relacionados con la combustión de la gasolina, y a pesar de la tecnología de los convertidores catalíticos,

mofles, tuberías y escapes a la atmósfera, la emisión de los vehículos es hoy la fuente más importante de emisión de gases (Graveland et al., 1994)

El carbón es el resultado de la fosilización de plantas de pantano que murieron durante el período carbonífero. Los pantanos son ricos en bacterias descomponedores que producen sulfuros de hidrógeno. A pesar de la actividad de las bacterias, las plantas se derrumbaron dentro de los pantanos donde no se degradaron completamente, y se acumularon como turba orgánica.

A través del tiempo la turba se convirtió en carbón, y durante los procesos de fosilización los sulfuros provenientes de los cuerpos de las plantas se transformaron en moléculas de carbón. Sin embargo, hay un tipo de carbón que se conoce como carbón bajo en sulfuro (1 %). Cuando los restos de sulfuro en el carbón son quemados se transforma en bióxido de azufre (Schwartz, 1989).

El bióxido de sulfuro no es un gas reactivo, pero es soluble en agua y de esta forma no se acumula en la atmósfera. Dentro de un periodo entre los 7 y los 14 días, el bióxido de azufre que está en la atmósfera se disuelve con el vapor de agua. La lluvia lava el bióxido de sulfuro que no se ha disuelto, y las grandes cantidades de esta sustancia crean una solución de ácido sulfúrico. Aunque la lluvia ácida puede ser producida por causas naturales, tales como las erupciones volcánicas o las dosis emitidas por la naturaleza de óxidos de azufre y nitrógeno, éstas quedan minimizadas por la contaminación industrial.

Todos los años se liberan en el mundo alrededor de 100 millones de toneladas métricas de bióxido de azufre, de las cuales sólo Europa y Norteamérica contribuyen con 38 millones de toneladas. Asimismo, más de un 90 por ciento del azufre depositado se ha fabricado por el hombre. Los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) generan alrededor de 37 millones de toneladas métricas de óxidos de nitrógeno al año (Fleischer et al., 1993).

2.2.- Tipos de lluvias

2.2.1.- Lluvia normal

La lluvia se forma cuando las moléculas de vapor de agua se condensan sobre cristales de hielo o de sal en la atmósfera, o sobre minúsculas partículas de polvo en las nubes, para formar gotitas de agua que responden a la gravedad terrestre y caen formando lluvia.

A medida que la lluvia cae atraviesa la atmósfera, y va arrastrando elementos y productos químicos y otros contaminantes (Stumm, Sigg, & Schnoor, 1987). El agua de la atmósfera natural registra un pH de 5.0 a 5.5 por lo que es considerada ácida, ya que contiene ácido carbónico que viene de la disolución del dióxido de carbono (Stumm et al., 1987).

2.2.2.- Lluvia radiactiva

La lluvia radiactiva son deposición de partículas, liberadas en la atmósfera por explosiones nucleares o escapes de instalaciones y centrales nucleares, sobre la superficie de la Tierra. Este fenómeno se observó desde el periodo de las pruebas nucleares atmosféricas a gran escala realizadas en la década de 1950 y 1960. Se hicieron alegatos sobre sus efectos dañinos durante muchos años, pero hasta 1984 cuando un juez federal de Utah dictaminó que 10 personas habían enfermado de cáncer debido a la negligencia del gobierno en lo referente a la exposición de los ciudadanos a la lluvia radiactiva en aquel estado.

En 1985 el Tribunal de apelación de pensiones de Inglaterra y Gales llegó a una conclusión similar en el caso de un veterano de las pruebas nucleares británicas en las islas Christmas durante la década de 1950. Desde la firma del tratado de limitación de pruebas nucleares en 1963, los niveles de lluvia radiactiva han disminuido en todo el mundo (Lee & Weber, 1982).

2.2.3.- Lluvia ácida

La lluvia se vuelve ácida debido al descenso del pH, encontrándose de 4.0 a 4.2 esto debido a la combinación con dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos gases pueden alcanzar niveles muy altos en la atmósfera, donde se mezclan y reaccionan con agua, oxígeno y otras sustancias químicas, para dar paso a la formación de la lluvia ácida (Lee & Weber, 1982).

El *pH* es una medida de la acidez o alcalinidad del agua con compuestos químicos disueltos. Su expresión viene dada por el logaritmo de la inversa de la concentración del ion *H*, expresada en moles por litro (Creus, 2010).

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

Señalemos que el agua pura neutra tiene una concentración de ion hidrógeno de 10^{-7} moles por litro. Luego, el pH será:

$$pH = \log \frac{1}{[10^{-7}]} = 7$$

Una disolución ácida tiene mayor concentración de ion hidrógeno que el agua pura y, por lo tanto, su pH será menor de 7. Una disolución básica le ocurre a la inversa y su pH será mayor de 7. Las medidas prácticas del pH se encuentran entre los valores 0 a 14 (Tabla 1).

Tabla 1.- Valores de pH de varias soluciones. Fuente: (Creus, 2010)

pH	Concentración H+ Mols/litro	Concentración OH- Mols/litro	pH de productos alimenticios comunes	pH de varios productos químicos a 25° c
0	1	0,00000000000001		0 Ácido sulfúrico 4,9 % (1 N)
1	0,1	0,0000000000001		1 Ácido hidroclicórico 0,37 % (0,1 N)
2	0,01	0,0000000000001	Jugo de limón	2 Ácido acético 0,6 % (0,1 N)
3	0,001	0,000000000001	Jugo de naranja	
Acido	4 0,0001	0,0000000001	Cerveza	4
	5 0,00001	0,0000000001	Queso	5 Ácido hidroclicórico 0,27 % (0,1 N)
	6 0,000001	0,00000001	Leche	6
Neutro	7 0,0000001	0,00000001	Agua pura	7
	8 0,00000001	0,000001	Huevos blancos	8 Bicarbonato sódico 0,84 % (0,1 N)
	9 0,000000001	0,00001	Bórax	9 Acetato de potasio 0,98 % (0,1 N)
	10 0,0000000001	0,0001	Magnesia	10
Básico	11 0,00000000001	0,001		11 Amoniaco 0,017 % (0,01 N)
	12 0,000000000001	0,01		Amoniaco 1,7 % (1,0 N)
	13 0,0000000000001	0,1		12 Sosa cáustica 0,04 % (0,01 N)
	14 0,00000000000001	1		13
				14 Sosa cáustica 4 % (1,0 N)

2.3.- Contaminación antrópica

La deposición de sustancias ácidas ha sido calificada como un problema ambiental de carácter mundial. Las principales causas se encuentran en las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno durante las actividades industriales, transporte y la quema de combustibles fósiles. Los compuestos son considerados como las principales fuentes de la lluvia ácida. La sociedad industrial genera otros tipos de contaminantes, puede contribuir a la formación de lluvias ácidas. También los compuestos orgánicos volátiles y los hidrocarburos que pueden reaccionar por si mismos o pueden combinarse (Eichler & Fagundes, 2004).

2.3.1.- Fuentes de Óxidos de Azufre SO₂

El SO₂ es un gas incoloro, no explosivo, no combustible, de olor astringente y entre los gases que contienen azufre están SO₂ SO₃ H₂S SO₄= donde el SO₂ es la emisión más importante de los contaminantes con S (Tabla 2).

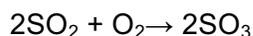
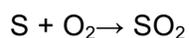
Tabla 2.- Fuentes de contaminación antropogénica de SO₂. Fuente: (Wrigley, 1999)

Fuentes de SO ₂	Porcentaje
Centrales térmicas de carbón o combustibles líquidos.	66
Industrias que usan combustible fósil.	25
Refinerías de petróleo.	6
Transporte	3

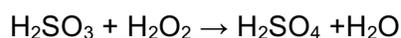
Los más representativos de los compuestos de azufre son:

SO₂: incoloro, de olor picante e irritante.

SO₃: incoloro y muy reactivo que condensa fácilmente.



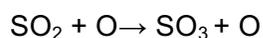
Oxidación heterogénea del SO₂: En las superficies de gotas de agua o de partículas:



Por oxidación homogénea del SO₂.

Fotooxidación directa.

Fotooxidación directa:



En condiciones normales el SO₃ no se encuentra en la atmósfera ya que reacciona con el agua atmosférica formando H₂SO₄ (González Gaudiano & Arias Ortega, 2009).



2.3.2.- Fuentes Óxidos de Nitrógeno NO_x

Los óxidos de nitrógeno están conformados por un grupo de compuestos químicos gaseosos muy reactivos, que son generados por las siguientes actividades antrópicas (Tabla 3).

Tabla 3.- Fuentes de contaminación antropogénica de NOx. Fuente: (Wrigley, 1999)

Fuentes de NOx.	Porcentaje.
Producción eléctrica.	61
Otros procesos industriales.	31
Transporte (combustible fósil).	6
Otras actividades residenciales.	2

Dentro de los óxidos de nitrógenos se consideran las siguientes especies:

- Como óxidos están, N₂O, NO₂, NO₃, N₂O₅
- Como ácidos HNO₂, HNO₃

Donde los más importantes son: NO₂, NO y N₂O (concentraciones muy bajas).

- N₂O: Gas no tóxico, que no participa en los procesos fotoquímicos troposféricos.
- NO: incoloro, inodoro y tóxico, participa en los procesos fotoquímicos troposféricos como se muestra en la Figura 1.
- NO₂: pardo-rojizo y olor asfixiante, interfiere en los procesos fotoquímicos troposféricos (Manahan, 1994).

Combustión a altas temperaturas (> 1200°C)

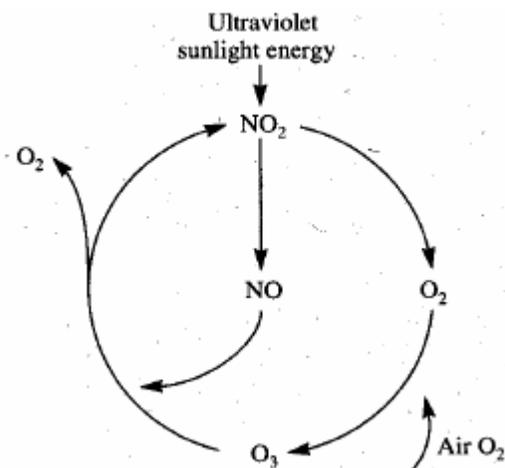
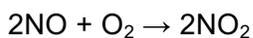
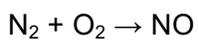
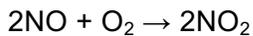
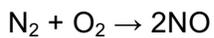


Figura 1.- Proceso foto lítico de formación de oxidantes fotoquímicos

2.4.- Contaminación natural (polución)

Los compuestos de azufre y nitrógeno son producidos por la descomposición de la materia orgánica. Los pantanos, humedales, áreas de mareas y aguas poco profundas del océano, emiten gases a la atmósfera contribuyendo a la formación de la lluvia ácida.

La cantidad que se produce de esta manera no es bien conocida, pero es muy considerable. Las estimaciones de la producción natural de los sulfatos y otros compuestos de azufre son del 35 al 85% del total, un rango bastante amplio. Y los compuestos de nitrógeno de origen natural se calculan entre el 40 al 60% del total.

La contribución de los relámpagos a la acidez de las lluvias es importante. Dos ocurrencias de relámpagos sobre un kilómetro cuadrado, producen suficiente ácido nítrico para que 20 mm de lluvia tengan un pH 3.5. De hecho, se calcula que solamente los relámpagos mantienen al promedio mundial de lluvias con un pH de 5.0. Aunque se reconoce que la contribución del dióxido de azufre de los volcanes es considerable, nunca se ha tomado muy en serio pues los que estudian estos fenómenos afirman que es difícil de predecir estos eventos y por lo tanto es difícil medirlos (Stumm et al., 1987)

De manera natural los compuestos que forman la lluvia ácida son producidos por diversas formas entre ellas las más importantes se resumen en la Tabla 4.

2.4.1.- Efectos de la lluvia ácida

La lluvia ácida está afectando la estabilidad de diversos ecosistemas, ya que este fenómeno está llegando a formar parte del ciclo del agua y, por tanto, está modificando los patrones climáticos, llegando a alterar los siguientes ecosistemas.

Tabla 4.- Fuentes de contaminación natural. Fuente: (Wrigley, 1999)

Fuente Polución.	Producción Total Aprox.
Óxidos de Nitrógeno NOx.	
Descomposición de MO.	35 %.
Relámpagos.	85 %.
Óxidos de Azufre SO₂.	

Descomposición de MO.	35%.
Actividad Volcánica.	Mas del 100%.
Fumarolas.	Millones de toneladas.
Termas.	Millones de toneladas.
Spray de los mares.	Millones de toneladas.

2.4.2.- Efectos en la salud

La lluvia ácida al caer en la superficie terrestre libera partículas pequeñas cuyos efectos son perjudiciales para la salud humana, cuando estas partículas ingresan a los pulmones estos pueden causar enfermedades respiratorias tales como el asma o la bronquitis crónica, neumonía dificultando de esta manera que la gente pueda respirar sin ningún tipo de contratiempo, por otra estas pueden derivar a afecciones cardiovasculares.

2.4.3.- Efecto sobre el agua

La lluvia ácida ha hecho que muchos lagos y arroyos en la región noreste de los Estados Unidos y en otros lugares tengan niveles de pH mucho más bajos. Este aumento de la acidez y de los niveles de aluminio puede ser mortal para la vida acuática silvestre, incluido el fitoplancton, las efímeras, las truchas arco iris, las alubinas de boca chica, las ranas, las salamandras manchadas, los cangrejos de río, y si la acidez aumenta, más especies de plantas y animales declinan o desaparecen y la relación presa-depredador de la red de alimentación se verá afectada.

Actualmente más de 18000 lagos están acidificados lo que está provocando grandes daños sobre la vida acuática, así como la perdida de sus poblaciones piscícolas como se menciona en la Figura 2.

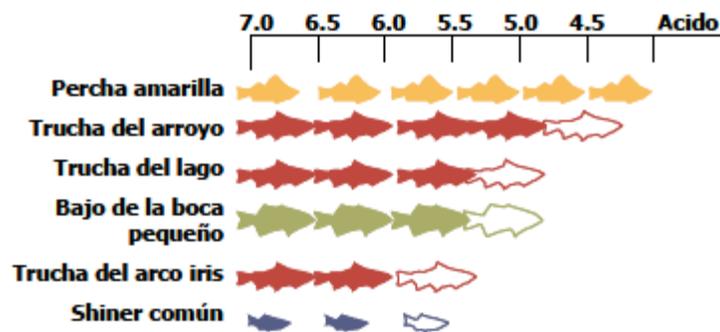


Figura 2.- pH crítico para el Pez Seleccionado en los Lagos y Arroyos

Este problema puede llegar a ser mucho más grave durante las lluvias fuertes o al escurrimiento de la nieve cuando se derrite en la primavera. Estos tipos de aumentos breves se conocen como acidificación episódica.

2.4.4.- Efecto en los bosques

La lluvia ácida puede ser extremadamente perjudicial para los bosques. El agua que cae al suelo puede disolver muchos minerales y nutrientes que los árboles necesitan para mantenerse sanos como se muestra en la Figura 3.

Dentro del ciclo hidrológico este fenómeno penetra a las reservas de aguas subterráneas y solubiliza los metales entre ellos al Ca^{2+} y el Mg^{2+} presentes en el suelo, incrementando los niveles de metales tóxicos tales como cobre, mercurio y aluminio siendo este último el más tóxico para plantas pues si la concentración de Al^{3+} y además la proporción de $\text{Ca}^{2+}/\text{Al}^{3+}$ es menor a uno (<1) aumenta la absorción de Al por las raíces de los árboles de manera tal que los bosques se tornan susceptibles a ingreso de bacterias, patógenos u otro tipo de vectores que generan enfermedades que pueden derivar en la muerte de estos ecosistemas, este siniestro fenómeno no solo altera a los bosques si no también genera alteraciones en la regeneración natural y el sotobosque (Labandeira, 1995).

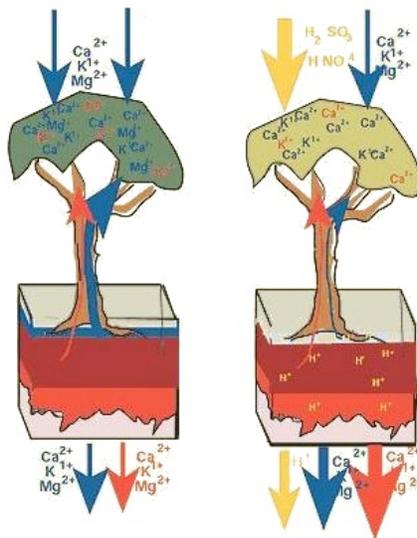


Figura 3.- Efectos de la lluvia ácida en el Bosque

Los árboles que se hallan en regiones montañosas muy elevadas, tales como Piceas y Abetos, corren mucho más riesgo porque están expuestos a las nubes y la niebla ácidas, con mucha más acidez que la lluvia. Las nubes y la niebla ácidas disuelven los nutrientes

importantes que los árboles tienen en sus hojas. Esta pérdida de nutrientes disminuye la resistencia de los árboles y los bosques a los daños causados por infecciones e insectos, y también por el frío del invierno (Labandeira, 1995).

2.4.5.- Daños en los edificios y objetos

La lluvia ácida y la deposición seca de partículas ácidas contribuyen a la corrosión de metales (como bronce) y la deterioración de pintura y piedra (como mármol y caliza). Daña construcciones que tienen carbonatos CaCO_3 .



Estos efectos reducen el valor social de edificios, los puentes, significativamente los objetos culturales (como las estatuas, monumentos, y lápidas), al igual que los automóviles son afectados (Thomas, 1986).

Cuando esta lluvia es captada por alcantarillas puede disolver Pb y Cu, además de trasportarlas a grandes distancias, que podrían ser perjudiciales.

2.5.- Sistema de control

Dicho lo anterior, un sistema dinámico puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control. En la (Figura 4) se muestra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.

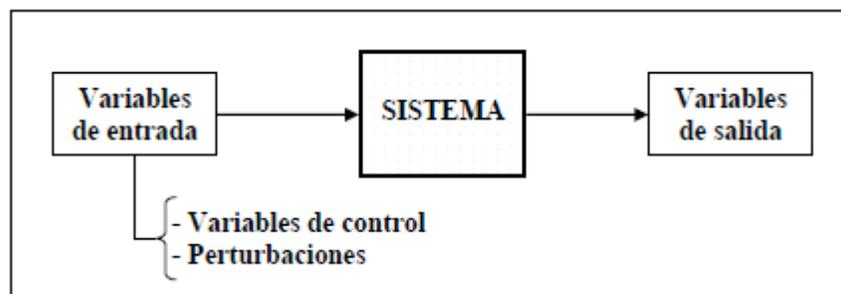


Figura 4.- Diagrama a bloques de un sistema de control

Dentro de los sistemas se encuentra el concepto de sistema de control. Un sistema de control se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos;
2. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales; y
3. Operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

La **precisión** en tiempo real, es la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas de una a otra, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. Puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión (Creus, 2010).

2.5.1.- Sensores

Son dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad o un sensor capacitivo), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

2.5.2.- Controladores

Estos programas sirven de intermediarios entre Windows (u otro sistema operativo) y los **dispositivos** o componentes de hardware del PC. Son necesarios **para** que funcionen impresoras, escáneres, la tarjeta gráfica, de sonido, de red, la placa base, etc.

Calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.

2.5.3.- Actuador

Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

Se ilustra el esquema de funcionamiento de un sistema de control genérico como se muestra en la Figura 5.

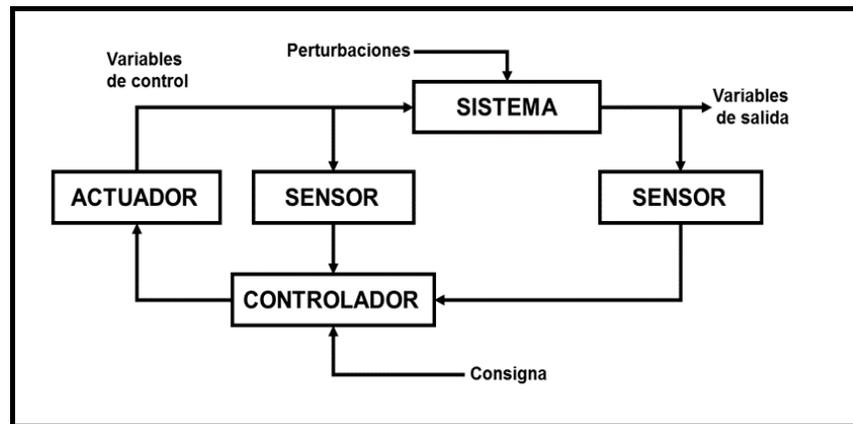


Figura 5.- Sistema de control genérico

2.5.4.- Tipos de control

El tipo de control hace referencia a la naturaleza y la dirección de los lazos existentes entre las variables medidas y/o controladas y las variables de control. Se distinguen dos tipos de estrategias en función de la naturaleza de la información utilizada para calcular la acción de control del sistema, lazo abierto y lazo cerrado.

2.5.4.1.- Sistema de control de lazo abierto

Lazo abierto: La acción de control se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones. Por ello, es común la asociación de lazo cerrado-lazo abierto, de modo que el lazo cerrado permite compensar los errores generados por el lazo abierto.

2.5.4.2.- Sistema de control de lazo cerrado

Lazo cerrado: La acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La gran mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado como se muestra en la Figura 6.

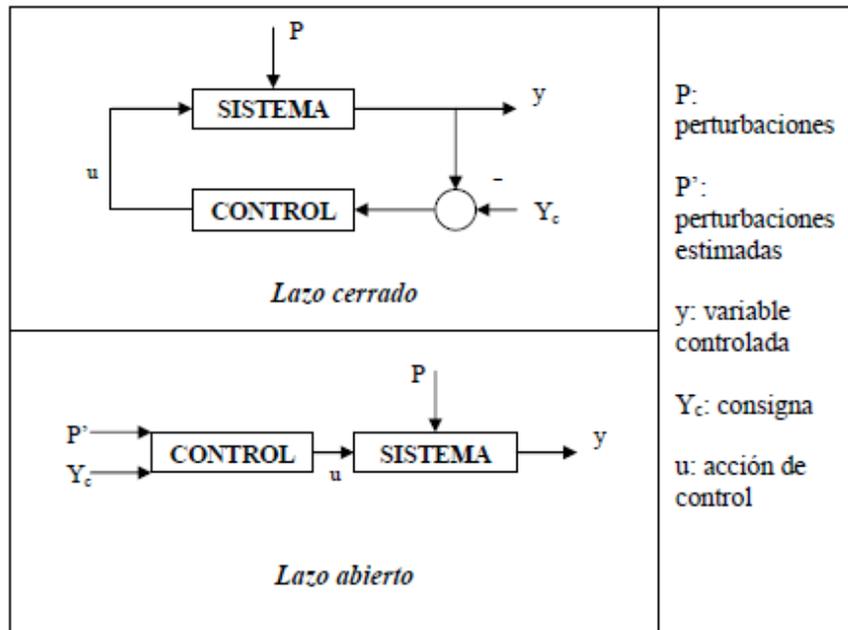


Figura 6.- Control lazo cerrado vs. Control lazo abierto

2.6.- Placa electrónica Arduino

2.6.1.- Arduino Mega 2560

La Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o a la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los shield para el Uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila como se muestra en la Figura 7.

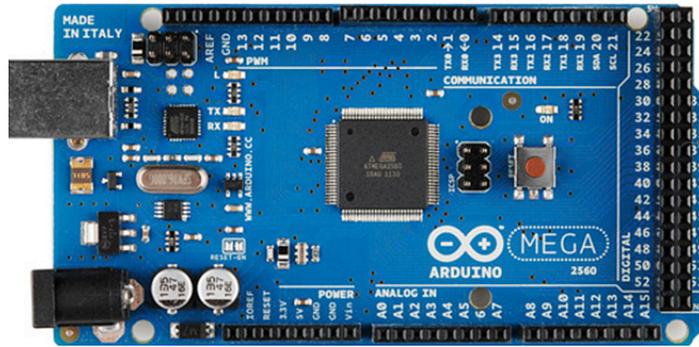


Figura 7.- Arduino Mega 2560

La placa tiene infinidad de usos pero uno de los mas importantes es su adaptabilidad para controladores motor de paso dando una placa potente para Impresoras 3D, CNC, ect. A continuación se menciona las características técnicas del Arduino Mega en la Tabla 5.

2.6.2.- Especificaciones técnicas Arduino mega 2560

Tabla 5.- Especificaciones técnicas Arduino mega 2560

Microcontrolador	ATmega 2560
Tensión de trabajo	5 v
Tensión de entrada (recomendada)	7-12 v
Tensión de entrada (limite)	6-20 v
Pines digitales 1/0	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entradas Analógicas	16
DC Corriente por Pin 1/0	20 mA
CD Corriente por Pin 3.3 v	50 mA
Memoria Flash	256 KB de los cuales 8 KB se usan por el bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Largo	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37 g

2.6.3.- Programación

La placa Mega 2560 se puede programar con el software de Arduino (IDE). Para más detalles, las Atmega2560 y Mega 2560 vienen preprogramadas con un cargador de arranque (bootloader) que le permite cargar nuevo código en ella sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo original STK500 (referencia, archivos de cabecera C).

También puede pasar por alto el gestor de arranque y programar el microcontrolador a través del conector ICSP (programación serie en circuito) utilizando Arduino ISP o similar. En las placas ATmega16U2 (o 8U2 Rev1 y Rev2) el código fuente del firmware está disponible en el repositorio Arduino. El ATmega 16U2 / 8U2 se carga con un cargador de arranque DFU, que puede ser activado por:

En las placas Rev1: el puente de soldadura en la parte posterior de la placa (cerca del mapa de Italia) y luego reiniciar el 8U2.

En las placas de Rev2 o posteriores: existe una resistencia que pone la línea HWB 8U2 / 16U2 a tierra, por lo que es más fácil poner en modo DFU. A continuación, puede utilizar el software FLIP de Atmel (Windows) o el programador DFU (Mac OS X y Linux) para cargar un nuevo firmware. O puede utilizar el conector ISP con un programador externo (sobrescribir el gestor de arranque DFU).

2.6.4.- Protección

El 2560 mega tiene un polyfusible reajutable que protege a los puertos USB de su ordenador desde cortocircuitos y sobre corriente. Aunque la mayoría de los ordenadores establecen su propia protección interna, el fusible proporciona una capa adicional de protección. Si circulan más de 500 mA por el puerto USB, el fusible interrumpirá automáticamente la conexión hasta que se repara el cortocircuito o se elimina la sobrecarga.

2.6.5.- Alimentación eléctrica

El Mega 2560 puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.

La alimentación externa (no USB) puede venir de un adaptador de CA a CC o de una batería. El adaptador se puede conectar al enchufe de 2.1 mm de centro positivo en la

clavija de alimentación de la placa. Los cables desde una batería pueden ser insertados en GND y en el pin Vin del conector de alimentación.

La tarjeta puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si se alimenta con menos de 7 V, sin embargo, el pin de 5 V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa se puede volver inestable. Si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

2.6.6.- Los pines de alimentación

Vin. La tensión de entrada a la placa cuando se utiliza una fuente de alimentación externa (en contraposición a 5 voltios de la conexión USB o de otra fuente de alimentación regulada). Se puede suministrar tensión a través de este pin, o, si el suministro de tensión es a través de la toma de alimentación, acceder a él a través de este pin.

5V. Este pin es una salida de 5 V regulada del regulador de la placa. La placa puede ser alimentada ya sea desde el conector de alimentación de CC (7-12 V), por el conector USB (5 V), o por el pin VIN de la placa (7-12 V). El suministro de tensión a través de los pines de 5 V o 3.3 V no pasa por el regulador, y puede dañar la placa. No es aconsejable.

3V3. Un suministro de 3,3 voltios generado por el regulador de la placa. El consumo de corriente máximo es de 50 mA.

GND. Ips pines de tierra.

IOREF. Este pin en la placa proporciona la referencia de tensión con la que opera el microcontrolador. Un escudo bien configurado puede leer la tensión del pin IOREF y seleccionar la fuente de alimentación adecuada o habilitar traductores de tensión en las salidas para trabajar con el 5 V o 3.3 V.

2.6.7.- Memoria

El Atmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para almacenar el código (de la que se utilizan 8 KB para el cargador de arranque), 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM.

2.6.8.- Entrada y Salida

Cada uno de los 54 pines digitales de la Mega se puede utilizar como una entrada o como una salida, utilizando las funciones `pinMode ()`, `digitalWrite ()` y `digitalRead ()`. Operan a 5

voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir 20 mA como condición de funcionamiento recomendada y tiene una resistencia de pull-up (desconectada por defecto) de 20-50 k ohmios. Un máximo de 40 mA es el valor que no debe superarse para evitar daños permanentes en el microcontrolador.

2.6.9.- Funciones algunos pines especializados

Serie: 0 (RX) y 1 (TX); Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos serie (TX) TTL. Los pines 0 y 1 también están conectados a los pines correspondientes del chip serie ATmega16U2 USB-a-TTL.

2.6.10.- Interrupciones externas

2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3), y 21 (interrupción 2). Estos pines pueden configurarse para activar una interrupción en un nivel bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el nivel.

PWM: 2 a 13 y 44 a 46. proporcionan una salida PWM de 8 bits con la función `analogWrite ()`.

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Estos pines soportan la comunicación SPI utilizando la biblioteca SPI. Los pines SPI también se repiten en el conector ICSP, que es físicamente compatible con el Arduino / Genuino Uno y las antiguas placas Duemilanove y Diecimila Arduino.

LED: 13. Hay un LED incorporado conectado al pin digital 13. Cuando el pin está a nivel HIGH, el LED está encendido, cuando el pin está a nivel LOW, está apagado.

TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL). TWI soporte de comunicación utilizando la biblioteca Wire. Teniendo en cuenta que estos pines no están en la misma ubicación que los pines TWI de las antiguas placas Duemilanove o Diecimila Arduino.

El Mega 2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporcionan 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto se miden de masa a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando la función `analogReference ()` y el pin AREF.

2.6.11.- Par de pines en la placa

AREF. Tensión de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con analogReference ().

Reset. Llevar esta línea a nivel LOW para reiniciar el microcontrolador. Normalmente se utiliza para añadir un botón de reinicio para escudos que bloquean la la placa.

2.6.12.- Comunicación

La placa Mega 2560 tiene una serie de facilidades para la comunicación con un ordenador, otra placa, u otros microcontroladores. El Atmega2560 ofrece cuatro UART hardware para TTL (5 V) para la comunicación serie. Una ATmega16U2 (ATmega 8U2 revisión 1 y 2) tiene canales que uno de ellos a través de USB y proporciona un puerto COM virtual para el software en el equipo (en las máquinas Windows necesitará un archivo inf, pero las máquinas OSX y Linux reconocen la placa como un puerto COM automáticamente).

El software de Arduino (IDE) incluye un monitor serie que permite que los datos de texto simples puedan ser enviados hacia y desde la placa. Los LEDs RX y TX de la placa parpadean cuando se están transmitiendo datos a través de la ATmega8U2 / ATmega16U2 chip y conexión USB al ordenador (pero no para la comunicación serie en los pines 0 y 1).

Una biblioteca Software Serial permite la comunicación serie en cualquiera de los pines digitales del Mega 2560. El Mega 2560 también es compatible con la comunicación TWI y SPI. El software de Arduino (IDE) incluye una biblioteca Wire para simplificar el uso del bus TWI. Para la comunicación SPI, se debe utilizar la biblioteca SPI.

2.6.13.- Características físicas y compatibilidad con Escudos

La longitud máxima y la anchura del Mega 2560 PCB son 4 y 2,1 pulgadas, respectivamente, con el conector USB y el Jack de alimentación eléctrica que se extienden más allá de la dimensión anterior. Tres orificios para los tornillos permiten que la placa se pueda montar en una superficie o caja. Teniendo en cuenta que la distancia entre los pines digitales 7 y 8 es de 160 mil (0,16 "), no como la separación de 100 milésimas de pulgada de los otros pines.

El Mega 2560 está diseñado para ser compatible con la mayoría de los shield para el Uno y las placas más antiguas Diecimila o Duemilanove Arduino. Los pines digitales 0 a 13 (y el AREF adyacente y los pines GND), entradas analógicas de 0 a 5, el conector de alimentación, y conector de ICSP están todos en ubicaciones equivalentes.

Por otra parte, la UART principal (puerto serie) se encuentra en los mismos pines (0 y 1), al igual que las interrupciones externas 0 y 1 (pines 2 y 3, respectivamente). SPI está disponible a través del conector ICSP en ambas placas Mega 2560 y Duemilanove / Diecimila. Tomando en cuenta que I2C no se encuentra en los mismos pines en la placa Mega 2560 (20 y 21) como en las placas Duemilanove / Diecimila (entradas analógicas 4 y 5).

2.6.14.- Reset (Software) automático

En lugar de necesitar una activación del pulsador de reset antes de un proceso de carga, la Mega 2560 está diseñada de manera que permite que pueda ser reseteada por el software que se ejecuta en un ordenador conectado. Una de las líneas de control de flujo por hardware (DTR) de la ATmega8U2 está conectada a la línea de reset de la Atmega2560 a través de un condensador de 100 nanofaradios.

Cuando esta línea se afirma (pasa a nivel LOW), la línea de reset pasa a nivel HIGH el tiempo suficiente para restablecer el chip. El software de Arduino (IDE) utiliza esta capacidad que le permite subir el código con sólo pulsar el botón de subida en el entorno Arduino. Esto significa que el gestor de arranque puede tener un tiempo de espera más corto, ya que el descenso de DTR puede ser bien coordinado con el inicio de la carga del programa.

Esta configuración tiene otras implicaciones. Cuando la placa Mega 2560 está conectada ya sea a un ordenador con Mac OS X o Linux, se resetea cada vez que se realiza una conexión a la misma desde el software (a través de USB). Durante el siguiente medio segundo o así, el gestor de arranque se ejecuta en los Atmega2560.

Mientras que está programado para ignorar los datos con formato incorrecto (por ejemplo, cualquier cosa además de un proceso de carga del nuevo código), esta interceptará los primeros bytes de datos enviados a la placa después de abrir una conexión. Si un programa en ejecución en la placa recibe la configuración de una sola vez u otro tipo de datos cuando se inicia por primera vez, asegúrese de que el software con el que se comunica espera un segundo después de abrir la conexión y antes de enviar estos datos.

La placa Mega 2560 contiene una pista del circuito impreso que se puede cortar para desactivar el reinicio automático. Los puntos de soldadura a ambos lados de la pista se pueden soldar juntos para volver a habilitarla. Este está etiquetado como "RESET-EN". También se puede desactivar el reinicio automático mediante la conexión de una resistencia de 110 ohmios de 5 V a la línea de reset.

El PSP es una metodología que consta de un conjunto de prácticas disciplinadas para la gestión del tiempo y mejora de la productividad personal de los programadores o ingenieros de software, en tareas de desarrollo de software (Vázquez, 2013).

2.7.- Tipos de módulos Arduino

2.7.1.- Memoria SD y micro SD

Las memorias SD son las más usadas por dispositivos portátiles, por su gran capacidad y su reducido tamaño, debido a su gran demanda son fáciles de conseguir en diferentes capacidades y precios. Estas características nos dan una buena alternativa de almacenamiento para usarlo en Arduino, sobre todo cuando necesitamos guardar gran cantidad de información.

Estas memorias vienen en tres tamaños, SD estándar, Mini SD y Micro SD, siendo este último el tamaño más común, funcionalmente son iguales, pudiéndose usar adaptadores para utilizarlos en sockets de diferente tamaño como se muestra en la Figura 8.

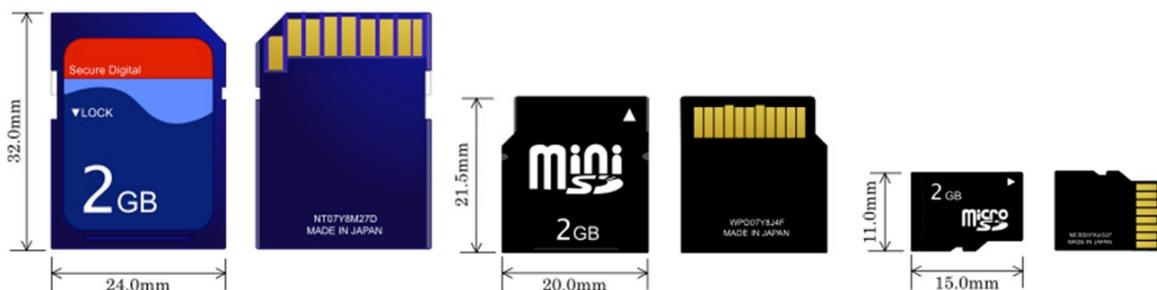


Figura 8.- Tipos de tarjetas SD

Con respecto al formato podemos encontrar 4 tipos, las tarjetas SD o SDSC (Standard Capacity), SDHC (High Capacity), SDXC (Extended Capacity) y las SDIO (Input/Output), permitiendo que el Arduino trabaje con los dos primeros tipos.

La comunicación de la memoria es por SPI pero trabajan con 3.3V. Para utilizarlos se necesitan módulos externos que aparte de tener el socket traen los componentes necesarios para adaptar los voltajes a TTL y así poder conectarlos de forma fácil al Arduino.

2.7.2.- Módulos SD

Módulo Micro SD: Permite insertar una memoria Micro SD que son las más comunes en el mercado, el módulo se puede alimentar con 3.3V o 5V usando los pines respectivos son compatible a varios Arduino como se muestra en la tabla 6.

Módulo SD card: Este módulo trae el socket grande para las memorias SD de tamaño estándar, pero usando un adaptador podemos usar también memorias micro SD como se muestra en la Figura 9.

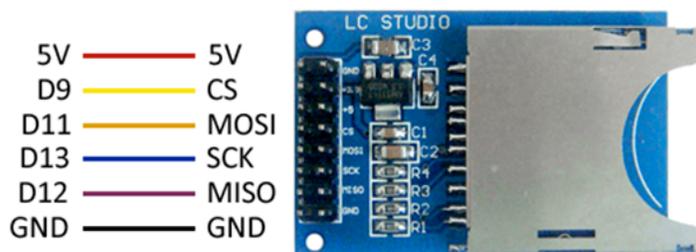


Figura 9.- Módulo SD lector Arduino electrónica

Tabla 6.- Tipos de Arduino para modulo SD lector

Módulo SD	Arduino Uno, Nano	Arduino Mega
GND	GND	No conectado
+3.3 v	No conectado	No conectado
+5 v	5 v	5 v
CS	4 o 9	53
MOSI	11	51
SCK	13	52
MISO	12	50
GND	No conectado	GND

2.7.3.- Módulo de reloj RTC DS1302 con batería

El reloj de tiempo real DS1302 con conexión placa Arduino, es un chip de cronometraje de carga lenta DS1302, contiene un reloj y calendario en tiempo real y 31bytes de RAM estática y se comunica con un microcontrolador o microprocesador a través de una interfaz en serie simple. El reloj y calendario en tiempo real DS1302 proporciona información de segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año, la fecha de fin de mes se ajusta automáticamente para los meses con menos de 31 días, incluidas las correcciones para el año bisiesto. El reloj funciona en formato de 24 horas o 12 horas con indicador AM y PM.

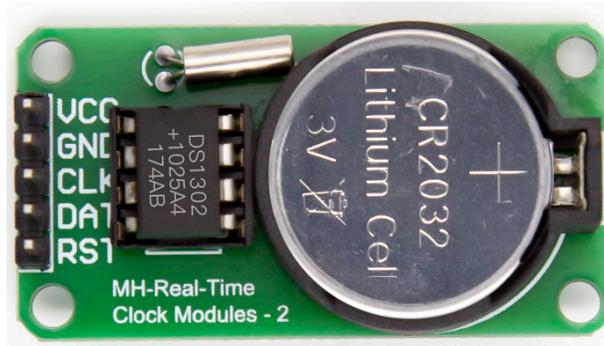


Figura 10.- Modulo de reloj modelo DS1302

El módulo DS1302 es muy útil para hacer que las cosas se ejecuten en fecha y hora, se puede conectar a cualquier microcontrolador o microprocesador para controlar los eventos. Esto también es útil especialmente cuando se manejan tiempos y ejecuciones en un tiempo preciso como se muestra en la Figura 10.

La interfaz del DS1302 con una MCU se simplifica mediante el uso de SSC (comunicación serial síncrona). Solo se requieren tres cables para comunicarse con la memoria de acceso aleatorio o RAM del reloj DS1302. El cable requerido será CE (habilitación de chip), IO (línea de datos de entrada y salida) y SCLK (reloj serie). desde el reloj, la RAM tiene 1 byte a la vez o en una ráfaga de hasta 31 bytes y los datos también se pueden transferir. Estos chips están diseñados para funcionar con muy poca potencia y retener datos e información de reloj en menos de 1uW.

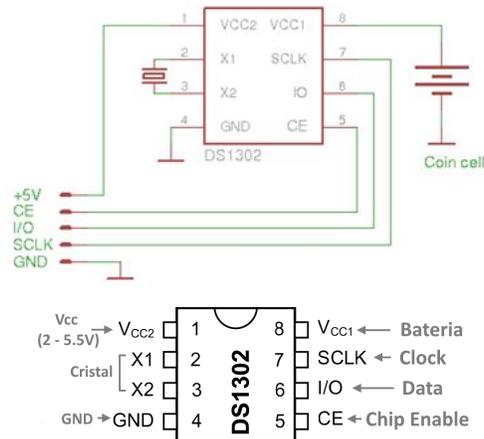


Figura 11.- Diagrama esquemático DS1302

El diagrama esquemático de cableado anterior para el Módulo de reloj DS1302 puede admitir dos entradas de voltaje de fuente de alimentación 1 y Entrada de voltaje 2, El voltaje está configurado en el primario que el chip puede manejar típicamente 3.3v ~ 5v, la entrada de voltaje 2 también está configurada para aceptar la potencia primaria el VCC 1 está configurado para la energía de respaldo, proporcionada por la batería de monedas de 3.3v como se muestra en la Figura 10. El cristal de cuarzo se coloca entre el pin 2 y el pin 3, los pines 5 y 7 se asignan para la comunicación de datos entre el módulo y el microcontrolador como se muestra en la Figura 11. El módulo también puede manejar pulsos con modulación, pines digitales, de comunicación o analógicos y funciona bien.

2.7.4.- Módulo adaptador LCD a I2C

El Módulo adaptador LCD a I2C que usaremos está basado en el controlador I2C PCF8574, el cual es un Expansor de Entradas y Salidas digitales controlado por I2C. Por el diseño del PCB este módulo se usa especialmente para controlar un LCD Alfanumérico.

La dirección I2C por defecto del módulo puede ser 0x3F o en otros casos 0x27. Es muy importante identificar correctamente la dirección I2C de nuestro modulo, pues de otra forma nuestro programa no funcionará correctamente. Para identificar la dirección específica de nuestro módulo podemos utilizar un pequeño sketch de

prueba llamado: I2C Scanner, el cual nos permite identificar la dirección I2C del dispositivo conectado al Arduino.

Si en caso existiera la necesidad de trabajar con más de un LCD podemos modificar la dirección I2C del módulo adaptador. Para esto es necesario soldar los puentes A0, A1 y A2 presentes en el módulo, estos tres puentes son los bits menos significativos de la dirección I2C del módulo. La dirección 0x3F en binario sería: 0|0|1|1|1|A2|A1|A0 y la dirección 0x27: 0|0|1|0|0|A2|A1|A0. Por defecto A0, A2, A1 valen 1 pero si soldamos los puentes, estos se conectan a tierra teniendo un valor 0. Por ejemplo, si soldamos los tres puentes la nueva dirección sería 0|0|1|0|0|0|0|0 (0x20), para un chip que anteriormente era 0x27 como se muestra en la figura 12.

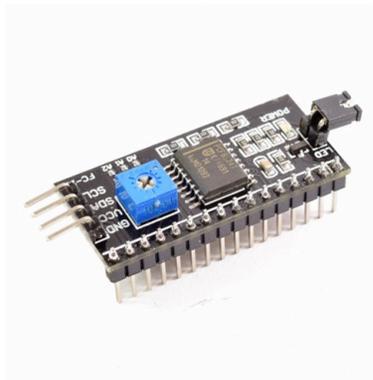


Figura 12.- Modulo adaptador LCD a I2C

Para controlar el contraste de los dígitos en el LCD solo necesitamos girar el potenciómetro que se encuentra en el módulo, hasta quedar conformes con el contraste mostrado.

La luz de fondo se controla principalmente por software desde el Arduino, pero el módulo también permite desconectar el Led de la luz de fondo removiendo un jumper LED.

2.7.4.1.- Conexiones entre Arduino y Módulo adaptador LCD a I2C

El adaptador LCD a I2C tiene los pines ordenados para conectar directamente al LCD, esto lo podemos hacer a través de un protoboard o soldando directamente al LCD como se muestra en la Figura 13.

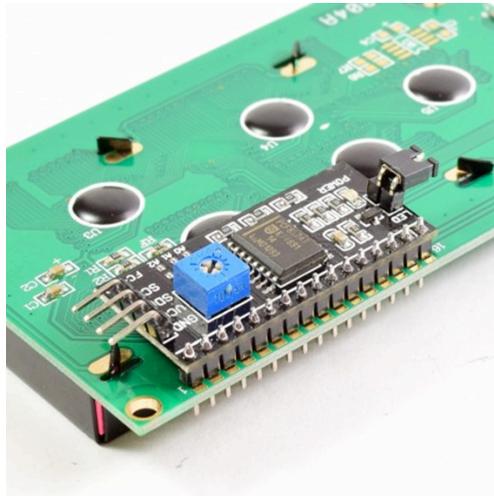


Figura 13.- Conexiones entre Arduino y Módulo adaptador LCD a I2C

Para conectar con el módulo con el Arduino solo utilizamos los pines I2C del Arduino (SDA y SCL) y alimentación (GND y 5V), los pines I2C varían de acuerdo al modelo de Arduino con el que trabajemos, como se muestra en la Tabla 7 podemos ver cuáles son los pines I2C para cada modelo de Arduino como se muestra en la Figura 14.

Tabla 7.- Tipos o modelos de Arduino

Adaptador LCD a I2C	Arduino Uno, Nano, Mini.	Arduino Mega, DUE	Arduino Leonardo
GND	GND	GND	GND
VCC	5V	5V	5V
SDA	A4	20	2
SCL	A5	21	3

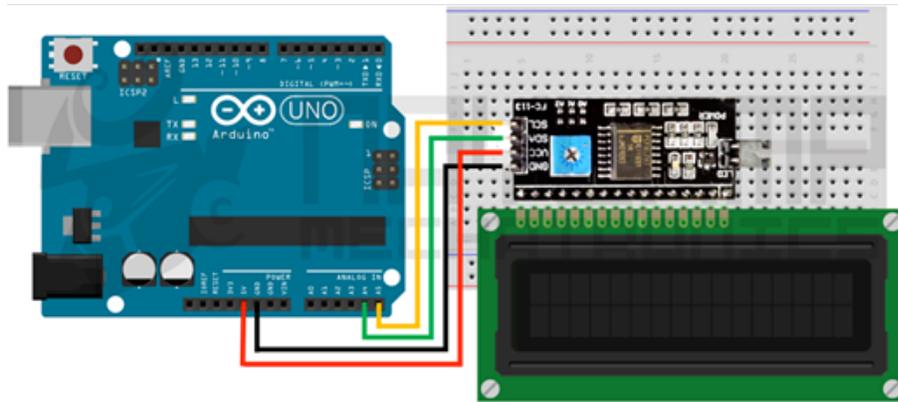


Figura 14.- Conectado de módulo con el Arduino

2.7.5.- Módulo Arduino para lluvia

El módulo de lluvia permite detectar la presencia pluvial debido a la variación de su conductividad al entrar en contacto con el agua. En lo práctico, el módulo sirve para extender un toldo o activar algún otro mecanismo, hacer sonar una alarma, o registrar la cantidad de tiempo (días, horas) en el que se producen precipitaciones en una determinada zona o para detectar inundaciones, colocándolo en el suelo de un sótano o sala de calderas, también puede ser útil para detectar cuando el agua de un depósito sobrepasa un determinado nivel.

Constructivamente son sensores sencillos, consta de dos contactos, unidos a unas pistas conductoras entrelazadas entre sí a una pequeña distancia, sin existir contacto entre ambas. Al depositarse agua sobre la superficie, se pone en contacto eléctrico ambos conductores.

El módulo con el sensor de lluvia permite obtener la lectura tanto como un valor analógico como de forma digital. Cuando se supera un cierto umbral, el módulo se regula a través de un potenciómetro ubicado en la propia placa. Los valores analógicos medidos varían desde 0 para una placa totalmente empapada, a 1023 para una placa totalmente seca.

El esquema eléctrico es sencillo. Conectamos el sensor a la placa de medición. El sensor no tiene polaridad, por lo que puede ser conectada en cualquier sentido como se muestra en la Figura 15.

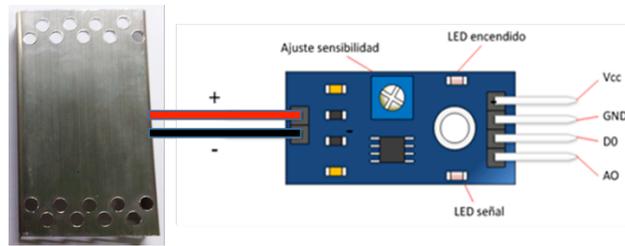


Figura 15.- Módulo Arduino para lluvia

Por otro lado, la alimentación de la placa de medición se conecta a los pines GND y 5V a los pines correspondientes de Arduino como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.- Conexión del módulo del sensor de lluvia al Arduino

Pines módulo de lluvia.	Características.	Conexiones.
VCC	5 v.	Conectado UDA.
GND	Conexión a tierra.	Conectado UDA.
AO	Salida analógica.	No Conectado.
DO	Salida digital.	Conectado 31 Arduino mega.

2.7.6.- Electrodo y módulo de pH

El **pH** es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, la escala de pH varía de 0 a 14. El pH indica la concentración de iones hidrógeno $[H]^+$ presentes en determinadas disoluciones. Se puede cuantificar de forma precisa mediante un sensor que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. Además, se va a utilizar un módulo PH-4502C para acondicionar la señal adecuadamente y que se pueda utilizar el sensor con un microcontrolador, por ejemplo, con Arduino como se muestra en la Figura 16.



Figura 16.- Electrodo y módulo de pH

Tabla 9.- Especificaciones técnicas del módulo PH-4502C

Módulo de pH	Características
Voltaje de Alimentación.	5 VCD.
Corriente.	10 mA.
Rango de pH.	0-14.
Rango de temperatura.	0-80°C.
Tiempo de respuesta.	≤ 5seg.
Temperatura de trabajo.	10~50°C.
Humedad de trabajo.	≤95 RH sin condensación.
Dimensiones.	42 X 32 X 20 mm.
Salidas.	Temperatura y pH.

Tabla 10.- Disposiciones de pines del módulo pH

Pines del módulo pH	Característica	Conexiones
To	Salida Analógica de Temperatura.	No conectado.
Do	Salida Digital de pH limite.	No conectado.
Po	Salida Analógica de pH.	Conectado A1 Arduino mega.
G	Tierra.	Conectado UDA.
Vcc	5 v.	Conectado UDA.

2.7.6.1.- Descripción módulo de pH

El módulo **PH-4502C** es un dispositivo que nos ayudara a medir el pH con ayuda del electrodo **E201-BNC** para el cual está reservado un conector BNC como se muestra en la Figura 16.

Tiene un voltaje de alimentación de 5V (entre más exacto es el voltaje de 5V más exacto será la medición del pH) lo cual lo hace compatible con tecnologías TTL como lo es Arduino, PIC, AVR, DSP, Raspberry entre otros siempre y cuando se tenga una entrada analógica (ADC) disponible.

Cuenta con un potenciómetro de offset el cual ayuda a calibrar la medición de pH (el más cercano al conector BNC) mientras que el otro potenciómetro controla la salida **Do** la cual se activa cuando el pH haya alcanzado el límite que hayamos configurado a través del potenciómetro cabe mencionar que la salida **Do** es de 3.7 v como salida alta.

El pin **Po** puede conectarse directamente a un pin analógico de un Arduino, PIC o cualquier tecnología TTL, por lo que no es necesario alguna librería específica para que se pueda utilizar. Como adicional cuenta con dos indicadores LED uno para señalar la alimentación del circuito y otro para señalar la salida **Do**.

Cabe mencionar que antes de utilizar el módulo es necesario calibrarlo junto con el electrodo y utilizar una solución de calibración como se muestra en la Figura 17.



Figura 17.- Buffer calibrador pH

Solución buffer para calibración pH (Frasco de 20 ml cada uno).

Solución buffer 20 ml pH 4.0 a 4.01 pH----- (Color Rosa)

Solución buffer 20 ml pH 7.0----- (Color Azul)

Solución buffer 20 ml pH 10.0+ /- 0.02 pH----- (Color Verde)

2.7.7.- Servomotor

Un servomotor es un actuador rotativo o actuador lineal. Permite un control preciso de la posición angular o lineal, la velocidad y la aceleración. El motor este acoplado a un sensor para retroalimentación de posición. También requiere un controlador relativamente sofisticado, a menudo un módulo dedicado diseñado específicamente para su uso con servomotores.

Los servomotores no son una clase específica de motor, aunque el término servomotor se usa a menudo para referirse a un motor adecuado para su uso en un sistema de control de circuito cerrado.

El MG995 es un servomotor de la marca TowerPro que está fabricado con engranes metálicos. Este servo es ideal para todo tipo de proyectos de electrónica. Una de sus principales características es su alto torque y rendimiento. Además de que es compacto, tiene engranes de Metal lo cual lo hace más duradero comparados con sus similares. Tiene un tamaño estándar e incluye accesorios y tornillos para montarlo en cualquier proyecto.

Sin embargo el servo MG995 TowerPro tiene un conector universal tipo “S” que encaja perfectamente en la mayoría de los receptores de radio control. Por ejemplo, como los Futaba, JR, GWS, Cirrus, Hitec y otros.

Biblioteca servo

Permite que una placa Arduino controle los servomotores RC (hobby). Los servos tienen engranajes integrados y un eje que se puede controlar con precisión. Los servos estándar permiten que el eje se coloque en varios ángulos, generalmente entre 0 y 180 grados. Los servos de rotación continua permiten que la rotación del eje se ajuste a varias velocidades.

Circuito

Los servomotores tienen tres cables: alimentación, tierra y señal. El cable de alimentación suele ser rojo y debe conectarse al pin de 5 V de la placa Arduino. El

cable de tierra suele ser negro o marrón y debe conectarse a un pin de tierra en la placa Arduino. El pin de señal es típicamente amarillo, naranja o blanco y debe conectarse a un pin digital en la placa Arduino. Tenga en cuenta que los servos consumen una potencia considerable, por lo que, si necesita conducir más de uno o dos, probablemente necesite alimentarlos desde un suministro separado (es decir, no el pin de + 5V en su Arduino). Asegúrese de conectar los terrenos del Arduino y la fuente de alimentación externa como referencia tomando en cuenta las especificaciones como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11.- Especificaciones técnicas servomotor TowerPro MG995

Servomotor	TowerPro MG995
Torque	15 kg/cm
Velocidad	0.16 s/60°
Rango de rotación	180°
Peso	55 g
Dimensiones	40.6 x 19.8 x 42.9 mm
Tipo de engranaje	Metal
Tipo de conector	Hembra
Modulación	Analógica
Periodo	20 ms
Voltaje	4.8 ~ 6 v
Ancho pulso	1.0 ~ 2.5 ms
Temperatura de operación	0 ~ 55 °c
Accesorios	Brazos y tornillos
Terminal Roja	Alimentación
Terminal Marrón	GND
Terminal Naranja	Señal

Conexiones

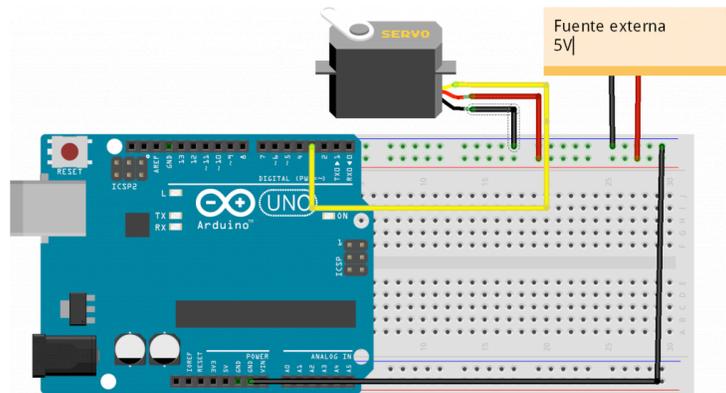


Figura 18.- Servomotor con Arduino

2.7.7.1.- Programa

El programa hará que el servomotor se mueva de izquierda a derecha de forma automática.

Lo primero que harás será llamar a la librería Servo.h, esta librería te permitirá trabajar con tu servomotor como se muestra en la Figura 18.

```
#include <Servo.h>
```

Las funciones que incluye esta librería son las siguientes:

```
attach()
write()
writeMicroseconds()
read()
attached()
detach()
```

Enseguida tienes que definir que pin utilizaras para controlar el servomotor

```
void setup()
{
  Servo_1.attach(3); // Definir el pin (3) que se utilizara para el control del servo
}
```

El siguiente código es un ciclo sin fin, esto quiere decir que la placa Arduino ejecutara todas las instrucciones que contenga y se repetirán una y otra vez hasta que se vuelva a programar con otro código.

```

void loop()
{
  for(Angulo= 0;Angulo < 180; Angulo += 1) //Incrementar de 1 en 1 el angulo que va de 0° hasta 180°
  {
    Servo_1.write(Angulo);           // Decirle al Servo_1 que se mueva los grados que estan en la variable angulo
    delay(15);                       // Esperar 15 ms para que el servo alcance la posicion
  }
  delay(500);                        //Esperar 500 ms
  for(Angulo = 180; Angulo>=1; Angulo-=1) // Decrementar de 1 en 1 el angulo que va de 180° hasta 0°
  {
    Servo_1.write(Angulo);           // Decirle al Servo_1 que se mueva los grados que estan en la variable angulo
    delay(15);                       // Esperar 15 ms para que el servo alcance la posicion
  }
  delay(500);                        //Esperar 500 ms
}

```

2.7.9.- Electroválvula

Válvula eléctrica para agua y aire MD201173

Las válvulas eléctricas son usualmente ocupadas en sistemas de riego o calefacción, al ser alimentado con un cierto voltaje, la válvula se abrirá para dejar pasar el fluido requerido como se muestra en la Figura 19.

Tabla 13.- Especificaciones técnicas de electroválvula MD201173

Electroválvula.	Características.
Voltaje de operación	24 Vcd
Consumo	4.8 W
Rango de presión	0.02 a 0.8 MPa
Tamaño	78x60x44 mm
Terminales estándar	12.7 mm
Tipo de válvula	normalmente cerrada
Temperatura del fluido	1 a 100 °C
Tipos de fluidos	agua, aire y fluidos de baja viscosidad

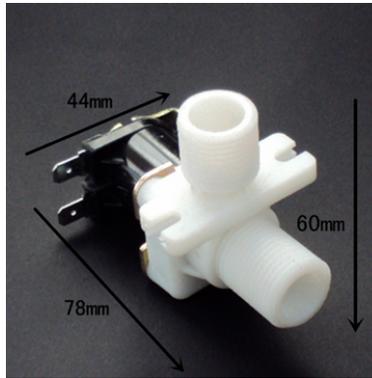


Figura 19.- Válvula eléctrica 24 voltios

2.7.10.- Relevador para Arduino 1 canal 5 V

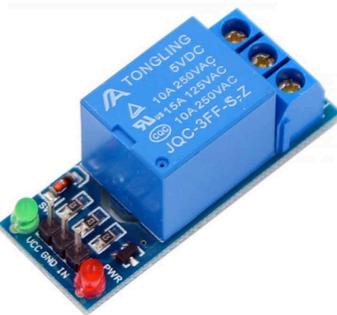


Figura 20.- Relevador 1 canal 5v

El relé o relevador es un dispositivo electromagnético. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes como se muestra en la Figura 20.

Tabla 14.- Especificaciones técnicas del relevador Arduino

Relay 1 canal	Característica
Marca	Tecneu
Modelo	JQC-3FF-S-Z
Microcontrolador	Relay 5v

Voltaje de entrada	5 V
Voltaje de control	3-9 V
Voltaje de salida	250 VCA o 30 VCD
Corriente a la salida	10 A

2.7.11.- Batería 12 V recargable sellada

La batería portátil recargable de Ácido-Plomo sellado de 12 v 4.5 Ah son totalmente confiables como se muestra en la Figura 21. Cuenta con dos terminales, la cual se encuentran identificados con polaridad negativo y positivo. Para uso en UPS - No Breaks, lámparas de emergencia, alarmas, etc.

La batería se encuentra totalmente sellada, de tal forma sirve para evitar derrames de ácido. Soportan temperaturas de hasta 300 °C, también puede estar sometida a grandes espacios de trabajo y temperaturas altas como máximo 300 °C como se muestra en la Tabla 15.



Figura 21.- Batería de ácido recargable sellada 12 V 4.5 Ah

Tabla 15.- Especificaciones técnicas de batería sellada

Batería	Características
Marca	Mitzu
Modelo	MBR-1007
Temperatura máxima	300°C
Medidas	100 de alto x 70 de ancho x 90 de largo mm
Corriente	4.5 Ah

Voltaje	12 VCD
Vida útil	Hasta 10,000 recargas

3.- MARCO REFERENCIAL

3.1.-Lugar de estudio

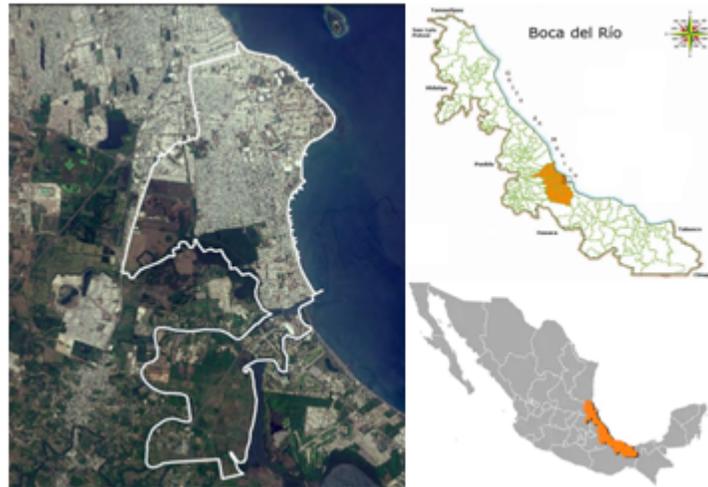


Figura 24.- laboratorio de Investigación y Recursos Acuáticos (LIRA)

El desarrollo del proyecto se realizó en el laboratorio de Investigación y Recursos Acuáticos (LIRA), del Instituto Tecnológico de Boca del Río. El instituto se ubica en el km 12 Carretera Federal, Veracruz- Córdoba, Boca del Río, Veracruz. Latitud 19°05'50" N y Longitud 96°06'28" W como se muestra en la Figura 24.

3.2.- Antecedentes

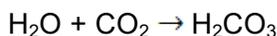
La lluvia ácida es un problema a escala mundial que se presenta tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. Se detectó desde 1872 según investigaciones de Angus Smith, en Manchester (Inglaterra) sobre depósito y lavado atmosférico. La primera mención sobre "lluvia ácida" en el siglo XX ocurrió en una conferencia de la ONU sobre el Medio Humano. Los estudios iniciaron en los años 50's y a partir de los 60's numerosos trabajos revelaron la presencia de lluvia ácida en Europa y Norteamérica. Posteriormente en 1972 en una conferencia de la ONU en Estocolmo Suecia, se presentan resultados del deterioro que causa (Valroff, 1985).

Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Suecia, Alemania, Japón entre otros, han desarrollado programas para atender los procesos que conllevan a la formación de lluvia ácida y los efectos que está generando en los ecosistemas terrestres, acuáticos, áreas de cultivo y materiales (Seinfeld & Pandis, 2016). Los primeros estudios en México son relativamente recientes (1980); entre ellos se encuentran los realizados en la Ciudad de México, Toluca y Veracruz.

El Programa de Precipitación Ácida de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (PPAZMCM) lleva a cabo investigaciones sobre depósito atmosférico (total, húmedo y seco). En 1997 registran pH entre 3.38 y 3.95 unidades; En 1998 el pH osciló entre 4.10 y 4.38 y, en 1999 los máximos variaron entre 3.94 y 5.71 (Díaz, 1934).

En la Ciudad de Guadalajara, Severo Díaz Galindo en 1934, realizó los primeros trabajos sobre lluvia ácida, recolectando muestras en el pluviómetro del observatorio meteorológico (Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara). En sus trabajos destaca la lluvia del 27 de mayo de 1934, de la que obtuvo resultados importantes como la presencia de amoníaco, sales amoniacaes, azufre libre, entre otras (Díaz, 1934).

El concepto de deposición ácida se refiere a todas las formas de ácido que caen. Para entender más de este fenómeno se requiere conocer los ácidos, como es que se forman y como se depositan. La acidificación se relaciona con la cantidad de ion hidronio en solución. El grado de acidificación se mide en escala de pH o potencial de Hidrógeno cuyos rangos son de cero a 14, las sustancias que son ácidas tales como el limón o el vinagre tienen valores de pH bajos, esto es inferiores a 7, las sustancias básicas tienen valores de pH superiores a 7, y las sustancias neutras tales como el agua pura tienen valores de pH 7, un cambio de una unidad de pH representa 10 veces el cambio del nivel de acidificación, esto es una lluvia con pH de 4 es 10 veces más ácida que una lluvia con pH de 5 y 100 veces más ácida que una lluvia con pH de 6. En un ambiente no contaminado el pH de la lluvia es ligeramente ácido aproximadamente 5.7, esto se debe a la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera el cual al combinarse con el agua de las nubes se convierte en ácido carbónico.



La formación de dos gases contaminantes, óxidos de azufre y óxido de nitrógeno se combinan con el agua, se convierten en ácido sulfúrico y en ácido nítrico, estos ácidos se acumulan en las nubes y caen en forma de lluvia o nieve, a este proceso se le llama deposición. También forman partículas de sulfatos y nitratos, estos se dispersan en la atmósfera y se depositan como finas partículas, a éste fenómeno se le llama deposición seca (Sosa-Echeverría *et al.*, 2018).

Los precursores de los ácidos provienen de dos tipos de fuentes, naturales y antropogénicas. Las fuentes naturales de óxido de azufre son los volcanes, los incendios forestales y la degradación bacteriana. Las fuentes antropogénicas son la concentración urbana y la Industrialización, el 70% de las fuentes antropogénicas productoras de óxido de azufre son las plantas termoeléctricas mientras que la fuente más importante de óxido de nitrógeno son los vehículos de motor.



La lluvia en el área de Chicago en los Estados Unidos presentó valores de 4.6 a 4.73 en pH entre los años del 2000 al 2004 (National atmospheric deposition program). Los precursores ácidos pueden permanecer en el aire de dos a cinco días y viajar cientos a miles de kilómetros antes de depositarse (Sosa-Echeverría *et al.*, 2018).

Los científicos han encontrado que la lluvia y la nieve ácida en el sur de Noruega y Suecia vienen desde Inglaterra y desde la Europa Industrializada. En Estados Unidos la precipitación que cae en el noreste se origina en la zona industrializada del medio oeste, los niveles de precipitación ácida han sido tan altos en las montañas de New Hampshire que entre 1934 y 1974 el valor anual promedio de pH ha sido de 4 a 4.21, 100 veces más ácida que la precipitación normal, durante cada década se incrementa el nivel de acidez en 36 % (Sosa-Echeverría *et al.*, 2018).

En Europa la lluvia y la nieve presentan pH entre 3 y 5, en Escandinava han sido reportados valores debajo del 2.8. En Kane Pennsylvania se presentó una lluvia con pH de 2.7 igual que el vinagre, En Virginia se presentó una lluvia con pH de 2 más ácido que el Limón (Sosa-Echeverría *et al.*, 2018).

3.3.- Impactos de la precipitación ácida

Lo más preocupante es que en todo el mundo los peces de los lagos y ríos están desapareciendo a una velocidad alarmante, por ejemplo, se puede mencionar que en 1930 se tomaron muestras de 320 lagos encontrándose un pH entre 6 y 7.5 podemos decir normal.

Posteriormente en 1975 se tomaron muestras de 216 lagos de esos mismos lugares, resultando que el pH había decrecido por debajo del punto, esto conllevó que en 1978 la federación nacional de vida silvestre publicara una lista de lagos con gran cantidad de acidez e incluso mencionando a 1700 lagos que estaban con el mismo problema.

En Canadá los nueve ríos más famosos de Nueva Escocia por su pesca de Salmón han perdido gran cantidad de peces por la acidificación. En las provincias de Ontario y Quebec la precipitación ácida ha destruido más de 100 lagos, de los 48000 existentes. Las edificaciones, estructuras y maquinarias son afectadas por la lluvia ácida, En el sureste de México las ruinas arqueológicas mayas están siendo deterioradas rápidamente (Sosa-Echeverría *et al.*, 2018).

Los parques y las áreas silvestres son afectados por la lluvia ácida. Lo anterior se debe a que los vientos, que provienen de los principales centros industriales, contienen bajos contenidos de tampón o buffer en solución que ayudarían a resistir los cambios de pH. La Environmental Protection Agency (EPA) ha reportado que, de un cuarto a un tercio de los lagos en los parques de Estados Unidos, tienen baja capacidad buffer lo que afecta a los peces y otras formas de vida (Velasco Saldaña *et al.*, 2002).

Muchas de las especies mueren cuando el pH llega a niveles por debajo de 4 o 5, la percha y la trucha son ligeramente más resistentes. Los científicos han encontrado que en ambientes ácidos las trazas de elementos tóxicos se incrementan. El aluminio, el mercurio y el plomo que se encuentran en la naturaleza formando parte de suelos y rocas son disueltos y acarreados a arroyos y lagos (Velasco Saldaña *et al.*, 2002).

El aluminio irrita las branquias de las truchas causando secreción mucosa y terminalmente muerte por asfixia. Pero no solo los peces son afectados por la precipitación ácida ya que el Dr. Erick Nilmos encontró que las aves canoras que viven cerca de los lagos ácidos ponen huevos más delgados y se supone que provoca tal efecto la ingesta de insectos acuáticos que viven en aguas ácidas (Velasco Saldaña *et al.*, 2002).

Se ha observado que los patos que crecen cerca de ambientes ácidos, su desarrollo es de un 60% más despacio que los que viven en ambientes no ácidos. También interfiere en la deposición normal de calcio, la afectación en los cascarones y por lo consiguiente un deterioro en los huesos de los seres vivos que lo absorben.

Un estudio del Dr. Harvey sobre los huevos de salamandra mostró que en pH 5, el crecimiento era anormal encontrándose una disminución en el grosor, resultando en la muerte del 60% de los embriones en comparación con la muerte de 1% que ocurre a pH 6. Algunos insectos pueden vivir hasta pH 3.5, pero la mariposa no sobrevive a pH menor de 5.5 lo mismo pasa con el Salmón. Las plantas recién nacidas son afectadas con lluvia de pH de 4.6 (Velasco Saldaña *et al.*, 2002).

El dramático y sorprendente marchitamiento de piceas y abetos en la republica Checa y Alemania Oriental además de la muerte de otros árboles en Europa Central ha preocupado a investigadores ya que aparentemente no hay daño directo al follaje, pero son afectados por las enfermedades contraídas por los insectos por este fenómeno (Tabla 17).

Tabla 17.- Resistencia de organismos a ambientes ácidos

Nivel de acidez	Afectaciones y daños
6.0	Crustáceos, insectos y algunas especies de plancton comenzarán a desaparecer.
5.0	Cambios mayores en la formación de colonias de plancton. Especies de musgos y plancton menos deseables empiezan a invadir. Es probable la pérdida progresiva de algunas poblaciones de peces, los más tolerantes a la acidez prevalecen.
Menos de 5.0	Desaparecen gran cantidad de peces. El fondo está cubierto con material insoluble. La orilla está llena de musgo. Animales terrestres que dependen de los ecosistemas acuáticos, se ven afectados aquellos que dependen de los organismos acuáticos como suministro de alimento y nutrientes, son reducidos o eliminados, la disminución de la calidad del hábitat y el éxito reproductivo de las aves se ve afectado.

Gran parte de los bosques que rodean el valle de México presentan precipitaciones ácidas según la tabla reportada por (Velasco Saldaña *et al.*, 2002), y también datos análogos reportados por el SINAICA (Sistema nacional de Información de la calidad del aire), con el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México (SIMAT) que inicio sus actividades en el año de 1972 (Tabla 18).

Tabla 18.- Resultados de monitoreo en DF y aledaños ChM Chapa de Mota, SLA San Luis Ayucan, UAMI Autónoma Metropolitana Iztapalapa, EDL Desierto de los leones (Velasco Saldaña et al., 2002)

Sitio	Promedio	Máximo	Mínimo
ChM	4.72	6.91	4.16
SLA	5.32	6.65	3.88
UAMI	5.87	7.16	4.40
EDL	4.91	6.76	3.89

3.4.- Precipitación ácida en México

Los primeros estudios sobre la precipitación ácida en la ciudad de México se iniciaron en el año 1980. Con el apoyo del Capitán Silvino Aguilar Anguiano, director del Servicio Meteorológico Nacional, con estos estudios se tuvo que modificar el sistema de colección de las muestras. Inicialmente se usaron jarras abiertas, tanto para la colección de lluvia como de la deposición seca, generando resultados poco representativos de la situación real en esta área de estudio de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Posteriormente, en 1984, se instaló el primer colector automático de precipitación ácida, en la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual ya permitía la separación tanto de la lluvia como de la deposición seca. Actualmente, en varias regiones del país, se encuentran localizados varios de estos colectores, ya que el interés por estudios de este tipo se ha incrementado (A. Bravo & Humberto, 1987).

Los estudios sobre química atmosférica y lluvia ácida en la costa del Golfo de México, generados por parte de investigadores mexicanos, adscritos al SCA-CCA UNAM, datan de 1986 (A. Bravo, Sosa, Perrin, Torres, & Camacho, 1988), cuando se llevó a cabo una investigación oceanográfica en el Golfo de México, del 20 de julio al 22 de agosto de dicho año.

En este estudio participaron instituciones tales como el Laboratorio Oceanográfico en Veracruz, de la Secretaría de Marina (SM), y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos; las actividades consistieron en la identificación, el transporte, la transformación y la ocurrencia de contaminantes atmosféricos, así como en la determinación del pH de la precipitación en las regiones costeras del Golfo de México.

Esta colaboración bilateral entre científicos de los Estados Unidos y México, originó resultados muy importantes para el conocimiento de la relación océano-atmósfera en el Golfo de México.

Actualmente se realizan estudios sobre la deposición ácida en El Tajín, La Mancha, la Fortaleza de San Juan de Ulúa, la Universidad Veracruzana en el estado de Veracruz, y en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

3.5.- Precursores de la precipitación ácida

Constantemente se emiten a la atmósfera, contaminantes que son precursores de lluvia ácida y que provienen de diversas actividades humanas. Estos precursores de lluvia ácida, son compuestos de nitrógeno y azufre generados en mayor medida por el uso de combustibles fósiles (H. Bravo et al., 2004).

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son compuestos de nitrógeno y oxígeno que se forman en la combustión a altas temperaturas. El término óxido de nitrógeno agrupa al óxido nítrico (NO) y al dióxido de nitrógeno (NO₂).

Mientras que el NO₂ es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitratos (PM_{2.5}) en el aire ambiente (Seinfeld, 1986).

Según (Seinfeld, 1986) los NO_x tienen fuentes antropogénicas, como lo son la quema de combustibles fósiles, ya sea para la generación de energía eléctrica o bien por motores de combustión interna.

Los óxidos de azufre, son gases incoloros de un característico olor asfixiante. Se consideran como óxidos de azufre, tanto el dióxido de azufre (SO₂) como el trióxido de azufre (SO₃) (Arts et al., 2016). La vida media en la atmósfera del SO₂ llega a ser de 50 a 120 horas (Seinfeld, 1986).

Según la (EPA, 2010), los combustibles fósiles como el petróleo, gas natural, carbón, combustóleo, etc., contienen cantidades importantes de azufre, que, al quemarse se emitirá como SO₂. Uno de los procesos que genera mayores emisiones de SO_x es la generación de electricidad en las termoeléctricas. Estas emisiones, producto de la actividad humana, no se limitan únicamente a la combustión de energéticos, sino que además se emiten en los procesos de extracción y procesamiento de los mismos.

4.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1.- Situación problemática

Los equipos captadores de lluvia presentan un problema en su forma de diseño, son sencillos y tienen una forma tubular, su captación del agua lo realiza a boca abierta dando lugar que todo tipo de suciedad exterior ingrese al depósito como excremento de aves, polvo y otros que se encuentren a su alrededor. Solamente son utilizados para dar información de precipitaciones pluviales.

Por lo tanto, los que ya existen en el mercado no cubren la necesidad de dar una mayor información dentro de los parámetros de calidad de agua obtenida, porque son solamente captadores de tipo pluviómetros y lo que se requiere la obtención de su acidez y que tanto es su contaminación al ser analizada dentro de las normas establecidas ya existentes.

La finalidad del proyecto es que va a tener una tapa compuerta mecánica controlada con servomotor y con un sensor de líquido o humedad e internamente contará con un depósito para obtener datos de acidez, dentro del mismo un recipiente para obtener muestras de agua. El mecanismo se encontrará en la parte superior interna del gabinete, el almacenamiento del líquido en la parte de en medio y el sistema eléctrico electrónico en la parte inferior.

4.2.- Pregunta de investigación

¿Como medir la acidez del agua de lluvia en tiempo real diseñando un sistema automatizado de recolección con precisión?

4.3.- Justificación

Los dispositivos convencionales de captación de agua de lluvia usados en las estaciones ambientales presentan limitantes en el diseño y manufactura que impiden la posterior realización de análisis de calidad de agua confiables y requieren un mantenimiento continuo.

Por lo que es importante el desarrollo de un sistema automatizado rentable que considere un diseño que conserve la calidad del agua en condiciones óptimas para posteriores análisis.

5.- HIPÓTESIS

El diseño de un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia en tiempo real permite medir su acidez con precisión.

6.- OBJETIVOS

6.1.- Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia en tiempo real para la medición de su acidez con precisión.

6.2.- Objetivos específicos

- 1.- Diseñar un circuito eléctrico, electrónico para un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia con medición de pH;
- 2.- Implementar la programación del microcontrolador del sistema automatizado de recolección de agua de lluvia con medición de pH;
- 3.- Construir un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia con medición de pH; y
- 4.- Validar el sistema automatizado de recolección de agua de lluvia con medición de pH.

7.- MATERIALES Y METODOS

Para poder realizar el proyecto se diseñó un gabinete en acero inoxidable con medidas de 300 x 300 x 400 mm de altura, con tapa superior desmontable 300 x 300 x 25 mm de altura y en la parte inferior se le colocó una tapa lisa. Por lo tanto, en la tapa superior se montó un cilindro en posición vertical en acero inoxidable con medidas de 150 mm de diámetro y una altura de 250 mm y dentro del mismo contará con un embudo. Para resguardar todo el sistema del equipo, tendrá una puerta de acceso.

Para mantener cerrado el cilindro de la parte superior, se le diseñó una tapa. Esto es para evitar que le caiga basura, excremento de aves o partículas ambientales contaminadas en el interior del cilindro. Para que la tapa se mantenga en posición cerrado o abierto tendrá un servomotor en su base. En cierto modo tendrá un sistema automatizado para que realice lo requerido de controlar y así poder tener la obtención de datos.

Dicho lo anterior se le diseñó un circuito eléctrico y un circuito electrónico. Además, en este espacio tendrá una serie de componentes, conexiones de cables con una variedad de colores. A su vez para poder identificar los pines de alimentación, los circuitos que lo conforma son como fuente de alimentación, baterías y módulos. Ahora bien, dentro del equipo se encuentra contenido en un gabinete todo lo ya mencionado.

Para la prueba, se simuló la lluvia y tendrá regaderas a una altura de 4000 mm en forma vertical. El mecanismo de formación de gotas consiste en una cierta cantidad de rociadores verticales, tomando en cuenta que la gota determina la velocidad, así una de 1 mm de diámetro es capaz de alcanzar 14 km/h y una de 5 a 6 mm los 30 a 40 km/h.

Un problema común a este tipo de simuladores es la caída de las gotas siempre en el mismo lugar (Zapata-Sierra & Manzano-Agugliaro, 2010) y para ello se coloca una serie de emisores para poder realizar la oscilación durante el proceso. Las mediciones de acides se inician cuando el sensor de lluvia activa el mecanismo servo.

En esta simulación se determina el funcionamiento mecánico de la tapa superior como la apertura y el cerrado, para poder realizar la captación y que realice las mediciones correspondientes de acides en el agua como se muestra en la Figura 25.

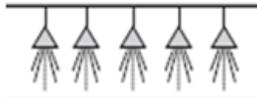


Figura 25.- Simulador de lluvia

7.1.- ENSAMBLE

PARA EL ENSAMBLE DEL DISPOSITIVO SE REALIZARON CINCO PASOS QUE FUERON LOS SIGUIENTES:

PASO 1. TAPA

PASO 2. CONSTRUCCION DEL CILINDRO CON EMBUDO

PASO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL CONTROLADOR

.....

Paso 1



Figura 26.- Cilindro con embudo interno.

El cilindro vertical esta soportado en la parte superior del gabinete, fijado por un conector tipo mampara de latón y tuerca. La medida del coplee es de 19.0 mm exterior por 12.7 mm de interior. El tubo central ejerce toda la fuerza y a su vez alimenta un depósito de acero inoxidable y soldadura plata alemana 45 % de aleación como se muestra en la Figura 27.

Las uniones de la tapa y gabinete se utilizó soldadura tipo argón, para evitar filtraciones de líquidos hacia el interior. Tomando en cuenta que se encuentran circuitos eléctricos y electrónicos, para evitar cortos o daños que afecte al equipo. La húmeda dentro de los equipos eléctricos pueden realizar daños y presentar variaciones en la obtención de datos.



Figura 27.- Gabinete de acero inoxidable.

Cuenta con un tubo captador horizontal de 12.7 mm de diámetro, soportado en un tubo vertical de 15.8 mm de diámetro y soldado en plata alemana 45 %. El material del que esta hecho el tubo es acero inoxidable. El volumen del depósito es de 500 ml y dentro de él un sensor de nivel, en la parte inferior tiene un conector de 12.7 mm para una electroválvula de descarga de líquido.

El deposito tiene una tapa de acrílico con dos orificios, uno para la alimentación de electroválvula y el segundo para conector tipo mampara y en su interior de 11.1 mm para soporte de electrodo o sensor de pH, también conocido como potenciómetro y que estará conectado al sistema de control como se muestra en la Figura 28.



Figura 28.- Conexiones internas del dispositivo.

El dispositivo cuenta con una electroválvula, la segunda y la tercera son de desalojo, tubo de acero inoxidable, un depósito de 500 ml, sensor de nivel, sensor de pH y dos mangueras para desalojo de líquido como se muestra en la Figura 29.

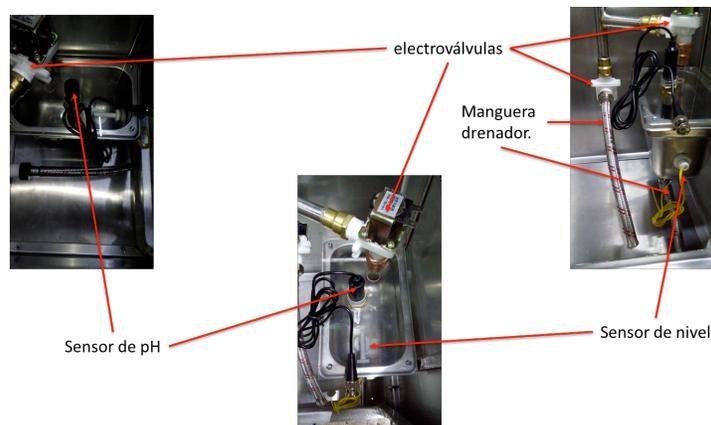


Figura 29.- Estructura interna del dispositivo.

La captación se realiza cuando la tapa superior es removida de su posición mediante un desplazamiento de 0 a 180°. El soporte de la tapa es manipulado por un servomotor, en el momento que se detectan las primeras gotas de agua, el sistema empieza a realizar su trabajo como se muestra en la Figura 30.

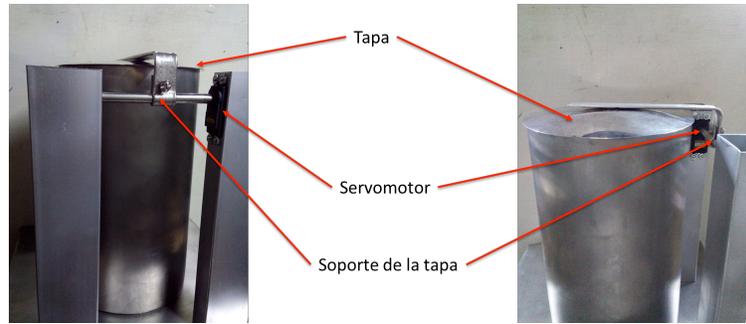


Figura 30.- Sistema mecánico de captación

7.2.- Sensor detector de lluvia

El sensor que le informa al controlador cuando comienza a llover está contruido con base en una placa detectora de deposición húmeda, la cuál se utiliza como un switch normalmente abierto que se cierra con la presencia del agua. Al deterctar la lluvia, dicha placa le envía la orden al microcontrolador para abrir la tapa, activando un servomotor, y exponer el captador a la atmósfera. Al inicio y al final de cada precipitación mantendrá al captador fuera de contaminantes externos. Tendrá una respuesta rápida procurando evitar un retraso entre el inicio y la apertura del colector.

Por lo tanto, va depender de la sensibilidad del sensor de precipitación. El mantener abierto o cerrado el colector y así se evitará una serie de contaminantes. Va tener una medida de 50 mm por 80 mm con un espesor de 10 mm y soportada en un mástil lateral con conectores como se muestra en la Figura 31.

A su vez tendrá un soporte tipo bisagra y soportado en el mismo para así poderlo desplazar hacia arriba. De la misma forma cuando se le requiera deslizarlo hacia el frente y que pueda realizar el trabajo de censado. Una de las ventajas que tiene la placa en su base que la hace dinámica.



Figura 31.- Placa detectora de lluvia mod SRR01

Paso 2

Se diseñó los circuitos eléctricos y electrónicos para el sistema Arduino con módulos. El sistema de control de pH cuenta con 8 módulos, de los cuales 7 son alimentados con 5 voltios y 1 con 24 voltios. Todo el sistema es controlado con el sensor de lluvia mediante un interruptor deslizable para la apertura de la tapa.

El funcionamiento del circuito se describe en un diagrama a bloques y se compone de varios sensores como el de nivel de líquidos, el sensor de pH y el sensor de lluvia como se muestra en la Figura 32.

La Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reset. Contiene todo lo necesario para el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o a la corriente con un adaptador de CA y baterías que se encuentra en la fuente de alimentación (Wilcher, 2012).

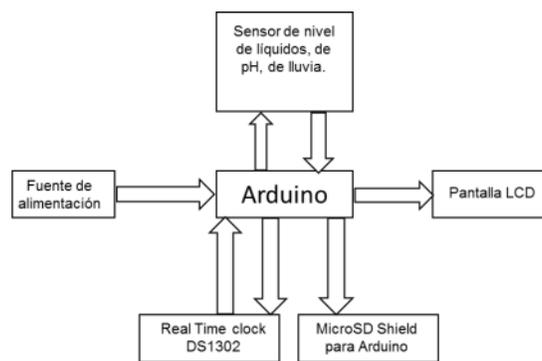


Figura 32.- Diagrama de bloques de circuito electrónico

Para almacenar la información generada por el sensor de pH, contará con una memoria SD Estándar de 1 GB. La memoria va estar conectada al microcontrolador a través de un microSD shield, el cual es una placa que brinda al Arduino comunicación con la tarjeta microSD (Banzi, 2011). Para el llevar el control de la hora y fecha se hace del uso de un sensor DS1302. Para la interacción con el usuario se tiene que instalar una pantalla de cristal líquido (LCD) que representara las variables que se estudiaran, con una capacidad para mostrar 32 caracteres en dos filas.

Como parte fundamental de este instrumento, tendrá un programa para interpretar los datos procesados por el sistema electrónico. Este proceso determina una metodología a la cual se somete el desarrollo del programa como se muestra en la Tabla 16. Las metodologías ágiles de desarrollo se caracterizan porque tienen como objetivo centrarse, como el factor humano o el producto software (Reingart, de Grado, en Sistemas, & lerache, 2012).

Para el desarrollo de este sistema se tubo que elegir la metodología Personal Software Process (PSP) por ser la más viable en la gestión del trabajo individual de los programadores (Reingart et al., 2012),

Tabla 18.- Componentes del sistema de software

Componente	Tecnología empleada	Propósito
Software principal	Java	Permite comunicar a la computadora y el usuario para que este pueda llevar un sencillo control de información.
Reportes gráficos	JFreechart	Su objetivo es presentar información en forma de gráficos.
Reportes en formato Excel	Apache POI (librería de código en Java)	Permite al usuario trasladar a hojas de cálculo la información referente a los eventos de lluvia.
Reporte en formato PDF	iText	Permite al usuario generar un documento portátil con la información obtenida por el sistema.
Software de microcontrolador	Arduino	Procesa y almacena todas las lecturas del instrumento.

7.3.- Unidad de alimentación (UDA)

El sistema de control cuenta con un suministro de energía eléctrica 120 VCA, y una salida de 24 VCD. El voltaje pasa a una etapa de rectificado que lo compone 4 diodos y luego un capacitor electrolítico, que realiza la filtración del voltaje. Cuenta con un diodo conectado a la inversa, esto es para que el voltaje que entra no retorne hacia la fuente. El voltaje de los pines W1 y W2 se almacena en dos pilas de 12 VCD conectadas en serie como se muestra en la Figura 33.

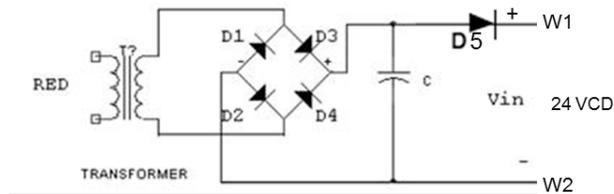


Figura 33.- fuente unidad de alimentación (UDA)

7.4.- Unidad de carga para las baterías

El circuito UDA, es la encargada de suministrar carga a dos baterías de 12 voltios (v) que se encuentran conectadas en serie (24 V). Los conectores W3, W4 de la batería 1 esta alimentará a dos componentes reguladores LM7805, uno de ellos va hacia el servomotor y el otro conectado al Arduino paralelamente a la pantalla LCD. Tomando en cuenta que la terminal positiva W3 de la batería 1 y la terminal negativa W6 de la batería 2 van a suministrar voltaje a las electroválvulas como se muestra en la Figura 34.

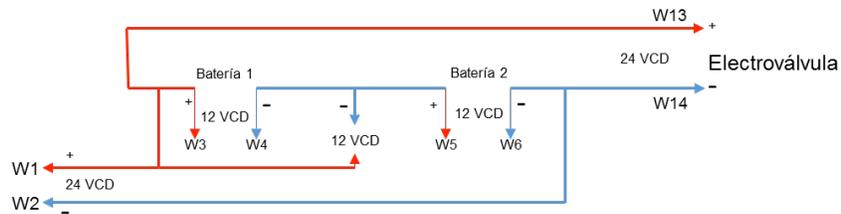


Figura 34.- Circuito alimentador para baterías y electroválvula.

7.5.- Unidad reguladora para el Arduino

El regulador LM7805 es un circuito integrado de voltaje de corriente directa que proporciona 5 V en su salida. Está diseñado para una amplia gama de aplicaciones. Este circuito suministra potencia eléctrica a una tarjeta divisora de 7 conectores. La tarjeta alimenta los módulos de los sensores, actuadores y al Arduino. Un segundo regulador esta dispuesto para una conexión extra al sistema como se muestra en la Figura 35.

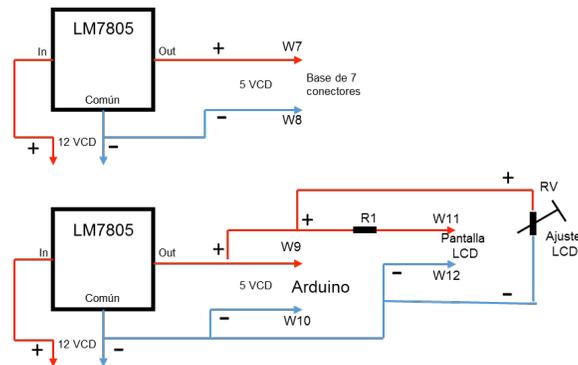


Figura 35.- Unidad fuente reguladora de 12 v a 5 v.

7.6.- Circuito alimentador para Arduino

En este circuito electrónico se representa la conexión de 24 VCA. Por el otro lado se tiene la conexión de los 24 VCD que van a parar a las baterías de 12 Voltios y a su vez el punto interno hace un puente entre la batería uno y la batería dos. Dentro del circuito el conector de la batería uno. La batería uno es la encargada de la suministración la energía a los dos reguladores.

En el primer regulador se tiene voltaje de 5 VCD, esta conexión alimenta una base de 7 conectores. Dentro de la tarjeta se encuentra dos pines donde se tiene la conexión para el Arduino, este depende del regulador dos, y pasando al conector LCD teniendo el conector de ajuste como se muestra en la Figura 36.

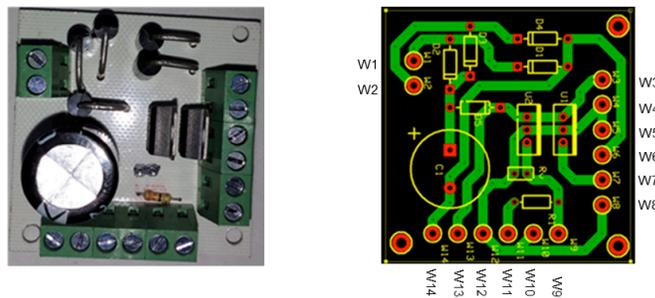


Figura 36.- Circuito electrónico con componentes completo

Componentes

1 transformador: 120 v de entrada, 24 v salida a 500 mA

5 diodos 1N5404

1 capacitor electrolítico 2200 μ F 50 v

- 2 baterías 12 VCD
- 2 transistores LM7805
- 1 resistencia 200Ω
- 1 resistencia variable 10kΩ
- 1 porta fusible con fusible 1 A
- 1 Tarjeta impresa
- 7 Bases para pines

7.7.- Rele o relevador de electroválvula

El relevador tiene la función de controlar o manipular dos electroválvulas. La electroválvula 1 de los pines W1 y W2 entrará en función cuando el sistema operativo se active. Cabe mencionar que el relevador entra en función, cuando la tapa acciende y llegando a su punto de tope activa un interruptor, este estará conectado en el pin W5 y el pin W6 estará conectado a tierra.

Para la alimentación del relevador va depender de los pines W13 y W14 del circuito que carga las baterías que se encuentra en la Figura 34. La función del interruptor es la de activar el relevador, suministrando voltaje a la electroválvula 1 de los pines W1 y W2. Esta electroválvula se va a encargar del llenado del contenedor como se muestra en la Figura 37.

La electroválvula 2 de los pines W3 y W4 va a estar a la espera de que el sensor de nivel lo active. La función del sensor es de activar la electroválvula en caso de que el depósito se rebose de su nivel requerido. La electroválvula 2 se activa en automático cuando el relevador desactiva la electroválvula 1. Por lo contrario hace un intercambio de electroválvula y así realizar el desalojo de líquido a la parte exterior de equipo.

En conclusión, los pines W7 y W8 estarán activados por el sensor, cuando el líquido empieza a elevar su nivel, el sensor se desactiva. En ese momento la electroválvula 1 se desactiva, en automático se activa la electroválvula 2 como se muestra en la Figura 37.

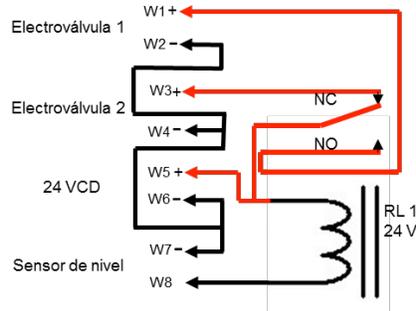


Figura 37.- Diagrama eléctrico de relevador 24 VCD para electroválvulas

7.8.- Tarjeta impresa de 16 pines

La tarjeta impresa de 16 pines consta de W1 y W2 como entrada de 5 VCD. El voltaje de los pines W1 y W2, la alimentación proviene de los pines W7 y W8 de la fuente reguladora como se muestra en la Figura 35. Los pin W1 de el depende los punto nones que son W3, W5, W7, W9, W11, W13, W15 y los W2 que son pares como W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16 como se muestra en la Figura 38.

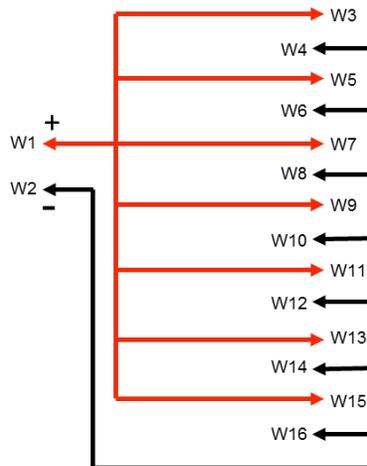


Figura 38.- Diagrama eléctrico de conexiones multifuncional 5 VCD

Paso 3

Realizar el montaje de módulos con el Arduino en un gabinete para así formar el sistema de control de pH. El diseño de los circuitos electrónicos se compone por tres sensores y con su controlador, para poder realizar la transducción de las variables a medir. Dentro de

la cual los componentes estarán interconectados para que realicen sus funciones, tanto en la medición y como la obtención de datos como se muestra en la Figura 39.

Para poder realizar las mediciones el equipo tendrá un contenedor interno, y dentro del mismo un sensor de pH, el recipiente contará de una entrada de alimentación y una salida, paralelamente llevará otra salida que estará controlado por el sensor de nivel, evitando un rebosamiento de agua en el depósito.

El sistema de control cuenta con una serie de partes que son:

- 1.- Modulo para la memoria.
- 2.- Módulo adaptador LCD a I2C
- 3.- Modulo sensor de lluvia
- 4.- Modulo para tarjeta CD
- 5.- Módulo pH-4502C
- 6.- Arduino mega.
- 7.- Modulo relevador de electroválvulas de carga y descarga.
- 8.- Modulo relevador de electroválvula de descarga.
- 9.- Focos indicadores.
- 10.- Interruptores de balancín.
- 11.- Porta fusible con protección.
- 12.- Entrada de alimentación 120 voltios.
- 13.- Base de conexiones 5 voltios para el sistema.
- 14.- Fuente de alimentación regulable.
- 15.- Transformador de 120 voltios alimentación 0.5 amperes. 24 voltios salida.

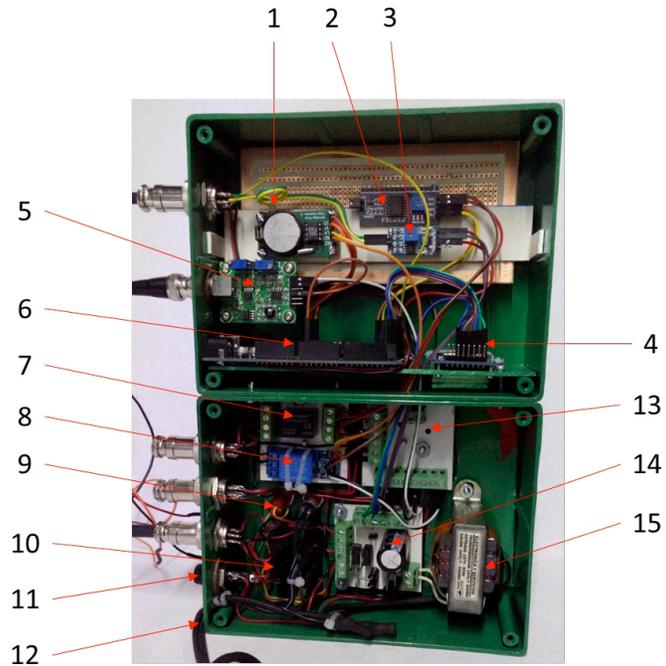


Figura 39.- Partes internas del sistema de control

7.9.- Funcionamiento del sistema

Parte fundamental de este sistema es el sensor de pH, en ello se determinará las variables, los niveles de pH que contiene el agua como se muestra en la Figura 40.

Características principales que cuenta el sistema de control frontal

- 1.- Pantalla LCD.
- 2.- Tarjeta SD Estándar 1 GB.
- 3.- Sensor pH.
- 4.- Gabinete.
- 5.- Foco piloto indicador.
- 6.- Apagadores de balancín.



Figura 40.- Parte frontal del sistema de control

7.10.- Sistema de control operando

La representación de datos van a estar expuestas en la pantalla, las lecturas de valores tomados de la muestra captada en un chubasco en tiempo mínimo o máximo, conociendo el tiempo que tendrá para la obtención de datos como se muestra en la Figura 41.



Figura 41.- Sistema de control de datos en funcionamiento

Cuando el sistema de control detecta liquido o humedad, la sección mecánica conjuntamente con el motor servo empieza a realizar su trabajo, el sistema mecánico se energiza y en ese momento la tapa compuerta superior del captador tiende a destaparlo, para así obtener el acumulamiento de líquido que desciende en el momento requerido, por lo tanto, teniendo en cuenta que el equipo llega a los parámetros requeridos.

Por lo consiguiente, cuando el sistema de control no detecta liquido o humedad, el sistema mecánico empieza a trabajar a la inversa y en ese momento la tapa empieza a descender hasta que el captador queda sellado. Solamente funciona, cuando el sistema detecta las primeras gotas de agua, entra en un proceso de captación, por lo consiguiente, la seguridad de que esté energizado el mecanismo antes es nula.

Por lo tanto, es nula, por que entre el eje del motor servo y su base contara con un sensor de contacto, este dispositivo tendrá una función de que cuando el servomotor hacienda en automático active la electroválvula de alimentación del depósito y cuando la tapa descienda en automático podrá desactivar la electroválvula.

Por lo general, el dispositivo al entrar en función de captación y no se presente algún evento podrá estar activado, pero el sistema de alimentación se encontrará nula hasta cuando se perciba las primeras gotas, entonces se podrá determinar que las electroválvulas tanto de alimentación, de descarga y de respaldo estarán determinadas por el sensor de contacto.

En conclusión, el dispositivo estará en funcionamiento desde el momento de su activación esperando que el sensor de lluvia le de la orden y empiecen a tomar lectura e irlas guardando en una memoria CD de 1G. Todos los datos se almacenan en forma numérica, en ella se representa la fecha, hora y los niveles de potencial Hidrogenado (pH).

7.11.- Normas utilizadas en el diseño del dispositivo

Para llevar a cabo el diseño del dispositivo se aplicaron las siguientes normas oficiales mexicanas:

NMX-AA-166/1-SCFI-2013: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS MATERIALES E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS Y CONVENCIONALES.

NMX-B-508-2011: INDUSTRIA SIDERURGICA-PLACAS, LAMINA Y FLEJE DE ACERO INOXIDABLE AL CROMO Y AL CROMO-NIQUEL PARA RECIPIENTES QUE TRABAJAN A PRESION Y PARA APLICACIONES EN GENERAL-ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA.

NOM-032-ENER-2013: LÍMITES MÁXIMOS DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA EQUIPOS Y APARATOS QUE DEMANDAN ENERGÍA EN ESPERA. MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO.

NMX-I-007/1-NYCE-2006: QUIPOS Y COMPONENTES ELECTRONICOS-METODOS DE PRUEBAS AMBIENTALES Y DE DURABILIDAD-PARTE 1: GENERALIDADES Y GUIA (CANCELA A LA NMX-I-007/1-NYCE-2001).

NOM-001-SEDE-2018: LINEAMIENTOS PARA LA APLICACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN).

NOM-008-CONAGUA-2017: ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA QUE DEBEN CUMPLIR LAS REGADERAS EMPLEADAS EN EL ASEO CORPORAL.

NOM-011-SCFI-1993: INSTRUMENTOS DE MEDICION-TERMOMETROS DE LIQUIDO EN VIDRIO PARA USOS GENERALES" (Esta Norma cancela la NOM-CH-005-1985).

NOM-127-SSA1-1994: SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION.

NOM-195-SCFI-2014: PRODUCTOS DE HIERRO Y ACERO ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD.

8.- RESULTADOS

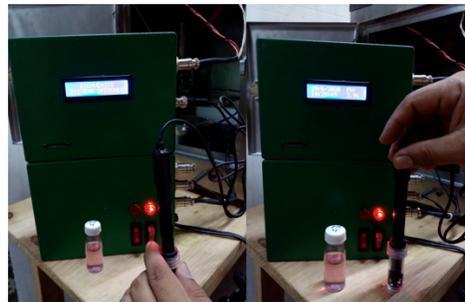
Para la realización del proyecto se diseñó un gabinete cuadrado vertical en acero inoxidable con las especificaciones requeridas. Cuenta con una extensión circular y en su interior consta con un embudo del mismo material. Para mantenerlo fuera de contaminantes externos como basura y polvos, se le diseñó una tapa para resguardar el interior del embudo.



También se diseñó un sistema de circuitos eléctrico y electrónico para que los componentes estén energizados. El sistema eléctrico suministra la energía requerida al equipo y también cuenta con dos baterías recargables para trabajar en zonas sin energía eléctrica. Los componentes electrónicos, al contar con una energía acumulada se mantendrá siempre activo.



La obtención de datos se realizó con un electrodo o sensor para la medición de pH y se obtuvieron datos numéricos en acidez de 4 y 7 con solución buffer para calibración. Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA). Se necesitó de módulos Arduino para la realización de este trabajo y una tarjeta SD en donde toda la información es resguardada para después descargarla en una PC.



La implementación de un programa estructurado para varios módulos de Arduino. Este programa realiza varias funciones para los controladores. El hacer que la electroválvula de desagüe trabaje conjuntamente, el fluido se contiene en un depósito para su respectivo análisis y detectar que cantidad de metales pesados o contaminantes hay en ella. Y, por último, tomando en cuenta las pruebas realizadas, el equipo actualmente se encuentra trabajando en óptimas condiciones y obteniendo datos en tiempo real el grado de acidez de la muestra.



9.- DISCUSIÓN

La representatividad de las muestras disminuye con el retraso entre el inicio de la precipitación y las aberturas del colector debido a la falta de lavado del aerosol en el inicio de la precipitación. Los colectores abiertos también aumentan el potencial de afectar la integridad de la muestra. En consecuencia, la sensibilidad del sensor de precipitación es importante para la recolección representativa de muestras de deposición húmeda.

Los colectores de deposición húmeda NADP ACM utilizan dos tipos de sensores de precipitación de diseño de cuadrícula: un modelo de 7 cuadrículas para NTN y un modelo de 11 cuadrículas para MDN. Son utilizados para exponer la cubeta de recolección a la atmósfera al inicio de la precipitación y luego cubrirla nuevamente al cese de los eventos de precipitación. La representatividad de las muestras disminuye con el retraso entre el inicio de la precipitación y las aberturas del colector debido a la falta de lavado del aerosol en el inicio de la precipitación (Tang, Chan, Orr, Bardswick, & Lusic, 1987).

La representatividad de la muestra también disminuye cuando los recolectores permanecen abiertos después del cese de la precipitación, ya que la contaminación puede introducirse por deposición seca u otros materiales extraños (Tang et al., 1987). Los colectores abiertos también aumentan el potencial de afectar la integridad de la muestra. En consecuencia, la sensibilidad del sensor de precipitación es importante para la recolección representativa de muestras de deposición húmeda.

En comparación al diseño del sistema automatizado, cuenta con un detector antiestático de acero inoxidable en posición angular. Las gotas de agua tendrán un desplazamiento contante, evitando acumulamiento y que la tapa permanezca demasiado tiempo fuera de su posición. La obtención de datos va a ser al instante y con cero de error, descartando evaporizaciones del líquido y contaminación de la muestra. Los contenedores de agua para el análisis son de acero inoxidable, montable y desmontable para su fácil mantenimiento y manejo al colaborador.

10.- CONCLUSIONES

Con respecto a la hipótesis planteada, se puede concluir que se acepta parcialmente, es decir el diseño de un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia en tiempo real permitió medir su acidez con precisión.

La lluvia acida es provocada por las actividades antropogénicas, misma que influye en la tierra provocando una disminución de nutrientes y un alto riesgo de toxicidad en la salud humana.

Gran parte de las mediciones que se realizan con los equipos comerciales disponibles en el mercado, están sujetos a errores debido a su diseño. Por lo anterior, la solución presentada disminuye el error.

Los análisis rápidos permiten tener una respuesta precisa y no ponen riesgo la calidad de los datos. Con el desarrollo de equipos portátiles se pueden realizar mediciones en tiempo real de la acidez con alta precisión.

La aplicación del Método Científico nos puede ayudar en el desarrollo de innovaciones para la Ingeniería Ambiental.

11.- LITERATURA CITADA

Uncategorized References

- Arts, E., Popa, C., Den Broeder, A., Donders, R., Sandoo, A., Toms, T., . . . Kitas, G. (2016). Prediction of cardiovascular risk in rheumatoid arthritis: performance of original and adapted SCORE algorithms. *Annals of the rheumatic diseases*, 75(4), 674-680.
- Banzi, M. (2011). Getting Started with Arduino. 2nd editions: O'reilly.
- Bravo, A., & Humberto, L. (1987). La contaminación del aire en México. Ed. *Fundación Universo Veintiuno, México, DF*.
- Bravo, A., Sosa, E., Perrin, G., Torres, J., & Camacho, C. (1988). Measurements of O₃, Total Hydrocarbons, H₂S, and SO₂. *Air Chemistry Studies over the Gulf of Mexico, National Oceanographic and Atmospheric Administration, NOAA Technical Memorandum, ERL ESG-29, 7-20*.
- Bravo, H., Soto, R., Sosa, R., Sánchez, P., Alarcón, A., & Ruíz, J. (2004). Effects of Wet Acidic Deposition on Stony Material at the "Tajin" Archaeological Site in Veracruz, Mexico. *Proceedings of the 97th Annual Conference of the Air & Waste Management Association, Indianapolis, IN, Paper(53)*.
- Creus, A. (2010). Instrumentación Industrial (Octava edición ed.). *Barcelona, España: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, SA*.
- Díaz, G. (1934). Informe sobre el análisis de una muestra de agua de lluvia: Facultad de Ingeniería y Ciencias Químicas-Palacio legislativo, Guadalajara . . .
- Eichler, M. L., & Fagundes, L. d. C. (2004). Conductas cognitivas relacionadas con el análisis de problemas ambientales. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 287-298.
- EPA, U. (2010). Method 1680: Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by Multiple-Tube Fermentation Using Lauryl Tryptose Broth (Ltb) and Ec Medium. *Washington, DC, US EPA*.
- Fleischer, S., Andersson, G., Brodin, Y., Dickson, W., Herrmann, J., & Muniz, I. (1993). Acid Water Research in Sweden: Knowledge for Tomorrow? *Ambio*, 258-263.
- González Gaudiano, E., & Arias Ortega, M. Á. (2009). La educación ambiental institucionalizada: actos fallidos y horizontes de posibilidad. *Perfiles educativos*, 31(124), 58-68.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., & Sánchez-Hernández, M. Á. (2010). Acid rain and forest ecosystems. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2).
- Graveland, J., Van Der Wal, R., Van Balen, J., & Van Noordwijk, A. (1994). Poor reproduction in forest passerines from decline of snail abundance on acidified soils. *Nature*, 368(6470), 446-448.
- Herrera Londoño, M. L. (1999). *Lluvia ácida: Aspecto fisicoquímicos y ambientales*. Retrieved from Labandeira, X. (1995). Spanish SO₂ Emissions and the Damage to Forests in Europe. *manuscrito, CSERGE (Centre for Social and Economic Research on the Global Environment), University College London y University of East Anglia*.
- Lee, J. J., & Weber, D. E. (1982). Effects of sulfuric acid rain on major cation and sulfate concentrations of water percolating through two model hardwood forests. *Journal of Environmental Quality*, 11(1), 57-64.
- Likens, G. E., & Bormann, F. H. (1974). Acid rain: a serious regional environmental problem. *Science*, 184(4142), 1176-1179.
- Manahan, S. (1994). Environmental Chemistry, Publish by Lewis Publishers, Boca Raton. *Ann Arbor, London, and Tokyo*, 330.
- Minoura, H., & Iwasaka, Y. (1996). Rapid change in nitrate and sulfate concentrations observed in early stage of precipitation and their deposition processes. *Journal of atmospheric chemistry*, 24(1), 39-55.
- Mohnen, V. A. (1988). The challenge of acid rain. *Scientific American*, 259(2), 30-39.
- Reingart, M., de Grado, C., en Sistemas, L., & Ierache, J. S. (2012). Plataforma de desarrollo rápido de aplicaciones bajo el proceso de Software personal: en búsqueda de agilidad, solidez y disciplina para la Ingeniería de Software. 15 Concurso de Trabajos estudiantiles. *Compendio de trabajos de grado. Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina*, 344-367.
- Schwartz, S. E. (1989). Acid deposition: unraveling a regional phenomenon. *Science*, 243(4892), 753-763.
- Seinfeld, J. H. (1986). ES&T books: atmospheric chemistry and physics of air pollution. *Environmental science & technology*, 20(9), 863-863.

- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*: John Wiley & Sons.
- Sosa-Echeverría, R., Bravo-Álvarez, H., Alarcón-Jiménez, A. L., Torres-Barrera, M. d. C., Jaimes-Palomera, M., Sánchez-Álvarez, P., & Granados-Hernández, E. (2018). Acid rain in a Mexican site on the coast of the Gulf of Mexico. *Atmósfera*, 31(4), 317-330.
- Stumm, W., Sigg, L., & Schnoor, J. L. (1987). Aquatic chemistry of acid deposition. *Environmental science & technology*, 21(1), 8-13.
- Tang, A., Chan, W., Orr, D., Bardswick, W., & Lusic, M. (1987). An evaluation of the precision, and various sources of error, in daily and cumulative precipitation chemistry sampling. *Water, Air, and Soil Pollution*, 36(1-2), 91-102.
- Thomas, L. M. (1986). The New Step on Acid Rain. *EPA J.*, 12, 2.
- Valroff, J. (1985). *Pollution atmosphérique et pluies acides*: Documentation française.
- Vázquez, S. R. (2013). Arquitectura organizacional para soluciones empresariales de software. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 7(3).
- Velasco Saldaña, H. E., Segovia Estrada, E., Hidalgo Navarro, M., Ramírez Vallejo, S., García Romero, H., Romero Terán, I., . . . Campos, A. (2002). *Lluvia ácida en los bosques del poniente del Valle de México*. Paper presented at the Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28.
- Wilcher, D. (2012). *Learn electronics with arduino*: Apress.
- Wrigley, T. M. (1999). *The science of climate change: global and US perspectives*: Pew Center on Global Climate Change.
- Zapata-Sierra, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2010). Aplicación de la teoría de la onda cinemática al estudio de hidrogramas generados mediante simulador de lluvia sobre suelos permeables. *Agrociencia*, 44(8), 873-884.

12.- APÉNDICE/ANEXOS

Varilla de aporte para plata y sus aleaciones

NOMBRE COMERCIAL CLASIFICACIÓN AWS	DÍAMETRO PULG. X MM.	LONG.	PRESENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS	USOS Y APLICACIONES
OXIWELD 600 Bag-2 ^a Plata 30% Varilla desnuda punto rojo.	1/6" 1.6	18"	A granel, usar fundente Flux Weld 800	Aleación de liga universal para producción y mantenimiento; iguala el color del latón. Altos valores mecánicos y muy buena apariencia y flujo capilar.	Unión de metales diferentes, incluyendo carburos de tungsteno o vanadio, aceros aliados y aceros inoxidables. Para la fabricación de piezas ornamentales y muebles metálicos. En la industria de refrigeración, mantenimiento y arquitectónica.
OXIWELD 800 Bag-1 Plata 45% Varilla desnuda punto negro.	1/16" 1.6	18"	A granel, usar fundente Flux Weld 800	Altas propiedades mecánicas, magnífica conductividad térmica y eléctrica. Combina con el fundente Flux Weld 800, fluye con gran facilidad a temperatura muy baja, "bañando" espacios capilares.	Unión de aceros con materiales de estructura fina, como el carburo de tungsteno, en herramientas. Ideal para producción en hornos y con sopletes o mantenimiento en la industria eléctrica. En las industrias naval, destilerías, aserraderos, marmolera y refrigeración.

Fundentes

NOMBRE COMERCIAL CLASIFICACIÓN AWS	PRESENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS	USOS Y APLICACIONES
FLUX WELD 246 Bronce	Bote con 200 g.	Especial para soldaduras de bronce y cobre con proceso oxiaceclónico. Efectiva labor de limpieza para facilitar el flujo capilar a bajas temperaturas.	En la industria eléctrica, maquinas-herramientas, artesanal, refrigeración y líneas de conducción.
FLUX WELD 800 Plata	Bote con 350 g.	Especial para soldaduras de plata con proceso oxiaceclonico. De alta capilaridad y efectiva acción de limpieza.	En la industria eléctrica, máquinas-herramienta, artesanal, refrigeración, líneas de conducción, etc.

Varilla para proceso GTAW (Acero inoxidable)

NOMBRE COMERCIAL CLASIFICACIÓN AWS	DÍAMETRO PULG. X MM.	LONG.	PRESENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS	USOS Y APLICACIONES
TIG WELD 308L ER 308L	1/16" 1.6 3/32" 2.4	36" 36"	Empaque con 4.536 kg.	En laminas delgadas se controla eficientemente la entrada de calor evitando daño metalúrgico y corrosión. Utilizar CD PD. Gas recomendado Ar.	Buena liga en soldadura de aceros inoxidable tipo 302, 304 y 308. Para piezas donde existe corrosión activa por sustancias orgánicas, reactivos y fermentos.
TIG WELD 309L ER 309L	3/32" 2.4	36"	Empaque con 4.536 kg.	Varilla calibrada desnuda y limpia, ideal para la corrosión, activa a bajas temperaturas, resistencia a la precipitación y corrosión. Intergranular aun en metales disimiles. Utilizar CD PD. Gas recomendado Ar.	Para reconstrucción de partes de maquinas sometidas a corrosión y temperaturas, como turbinas, compresoras, molinos, tuberías, tanques de proceso o intercambiadores de calor.
TIG WELD 316L ER 316L	1/16" 2.4 3/32" 2.4 1/8" 3.2	36" 36" 36"	Empaque con 4.536 kg.	Resistente a la corrosión activa por su contenido de molibdeno. Soporta temperaturas de trabajo mayores sin cambio en su estructura cristalina. Utilizar CD PD. Gas recomendado Ar.	Para trabajos de soldadura en unión y revestimiento. Fabricación de reactores, intercambiadores de calor, tuberías, digestores y recipientes. Alta y baja presión en aceros inoxidable 316, 318, 319 y grados L.