

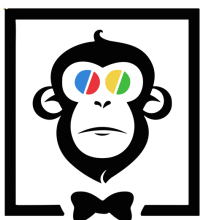
REVISTA CIENTÍFICA

ISSN 2993-4672

# Enlace Científico

*En busca de  
lo  
desconocido*





**Enlace Científico**  
Revista de Divulgación Científica

# ÍNDICE

REVISTA DE DIVULGACIÓN  
CIENTÍFICA  
ESPAÑOL

## ARTÍCULOS

- Análisis De Las Propiedades Físico-Químicas De Un Crudo De Alta Viscosidad* **1**
- Diseño de Prototipo Conversor de Energía Undimotriz a Energía Eléctrica* **8**
- Desarrollo de prototipo de comunicación a través de una interfaz visual utilizando cableado RJ45, para la conectividad y energización* **12**
- Implementation of PID-based Control System for Heat Exchanger in an Energy Transfer Station for Chilled Water Plant* **17**
- Electric and Hybrid Vehicles* **24**



## ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UN CRUDO DE ALTA VISCOSIDAD

<sup>1</sup>Zamora García Rojas Deneb\*, <sup>1</sup>Gallardo Rivas Nohra Violeta, <sup>2</sup>Mendoza de la Cruz José Luis, <sup>1</sup>Brachetti Sibaja Silvia Beatriz, <sup>1</sup>Páramo García Ulises  
<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Cd. Madero. Centro de Investigación en Petroquímica; <sup>2</sup> Instituto Mexicano del Petróleo.  
zamora\_deneb6@hotmail.com\*, nohvigari@itcm.edu.mx, ilmendoz@imp.mx

---

### RESUMEN

El petróleo es una mezcla de compuestos orgánicos de estructura, pesos moleculares y propiedades diferentes. Debido a esto, es necesaria la caracterización físico-química, que permita determinar sus propiedades para obtener el mejor rendimiento y comprensión del comportamiento del mismo en cada etapa de su manejo. El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades físico-químicas principales de un crudo, mediante procedimientos estandarizados por la ASTM® (D7169-11, D3279-97, D1298-12b) que involucran el uso de disolventes afines a la polaridad de la mezcla y en algunos casos el uso directo del crudo para su análisis. De acuerdo a la caracterización, el crudo estudiado presenta una densidad de 0.9698 g/cm<sup>3</sup>, gravedad específica de 0.9696 y 14.40°API, en cuanto a sus fracciones principales contiene, saturados 27.48%W, aromáticos 36.92%W, resinas 14.50%W y 21.08%W de asfaltenos, predominando los componentes de cadenas largas desde C10 hasta C30; el crudo presenta tamaños de agregados promedio de 52 nm con una distribución unimodal monodispersa. Se tiene además un valor medio de viscosidad de 27,000 cP y un comportamiento no-newtoniano a bajas temperaturas y velocidades de corte, a medida que aumentan estos parámetros se tiende a un comportamiento newtoniano.

**Palabras clave:** Petróleo, análisis SARA, tamaño de agregado, viscosidad.

---

### ABSTRACT

Petroleum is a mixture of organic compounds of varied structure and different molecular weights, so they present variation in their properties. Due to this, it is necessary the physical-chemical characterization, which allows to determine its composition and characteristics to achieve the best performance of the product and the understanding of its behavior in each stage that implies its management. The aim of this work was to study a crude oil to determine its main physical-chemical properties, through procedures standardized by ASTM® (D7169-11, D3279-97, D1298-12b) that involve the use of solvents related to the polarity of the mixture and in some cases the direct use of crude oil for analysis. According to the characterization, the crude studied has a density of 0.9698 g/cm<sup>3</sup>, specific gravity of 0.9696 and 14.40 °API, in terms of its main fractions contains saturated 27.48%W, aromatics 36.92%W, resins 14.50%W and 21.08%W, predominantly long chain components from C10 to C30; crude oil has an average aggregate size of 52 nm with a monodisperse unimodal distribution. The sample studied is characterized by a mean viscosity value of 27,000 cP with non-Newtonian behavior at low temperatures and lower shear rates, as these parameters increase the sample tends to Newtonian behavior.

**Keywords:** Oil, SARA analysis, aggregate size, viscosity.



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Petróleo.

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, conformados por átomos de carbono e hidrógeno; además de heterocompuestos que contienen átomos de nitrógeno, azufre, oxígeno; así como algunos metales como níquel, vanadio y cromo. Es un compuesto de origen orgánico, menos denso que el agua y de olor fuerte [1].

Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran al petróleo, se tienen diferentes propiedades que los caracterizan y determinan su comportamiento como combustibles, lubricantes, ceras o solventes [2].

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su gravedad API (parámetro internacional del American Petroleum Institute), que diferencia las calidades del crudo [3]. La clasificación del petróleo de acuerdo a su gravedad API se muestra en la Tabla 1 en donde se pueden observar los valores del crudo dependiendo su clasificación.

Tabla 1

Tabla 1. Clasificación del crudo.

Crudo	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Gravedad (°API)
Extrapesado	>1.0	<10
Pesado	1.0 – 0.92	10 – 22.3
Mediano	0.92 – 0.87	22.3 – 31.1
Ligero	0.87 – 0.83	31.1 – 39
Superligero	<0.83	>39

Fuente: Langevin D., *Oil gas sci. technol.*, 59, 5, (2004), 511-521.

### 1.2. Propiedades físico-químicas de un crudo.

Una propiedad física se puede medir y observar sin que la sustancia cambie su identidad o composición, también existen las propiedades químicas, las cuales se observan cuando una sustancia sufre un cambio químico, es decir, una

transformación de su estructura interna, convirtiéndose en otra sustancia nueva. Dichos cambios químicos, pueden ser reversibles o irreversibles. Dentro de las propiedades importantes de los crudos están la densidad, la viscosidad, el punto de fusión y de ebullición, la dureza, maleabilidad, color y olor. Si bien la densidad del petróleo es importante para evaluar el valor del recurso y estimar el rendimiento, costos de refinación, la propiedad del fluido que más afecta la producibilidad y la recuperación es la viscosidad del petróleo. Cuanto más viscoso es el petróleo, más difícil resulta extraerlo, transportarlo y procesarlo.

#### 1.2.1. Densidad.

La densidad es una propiedad general de todas las sustancias. No obstante, su valor es específico para cada sustancia, lo cual permite identificarla o diferenciarla de otras.

La densidad es una propiedad intensiva y su valor depende de la temperatura y de la presión. Se define como la masa de una sustancia presente en la unidad de volumen (ecuación 1) [4].

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

#### 1.2.2. Gravedad específica.

Es la relación existente entre la densidad absoluta de una sustancia y la densidad de una sustancia de referencia, donde esta última para el caso de los líquidos es el agua y para los gases es el aire. La gravedad específica no tiene unidades, sirve para denotar cuántas veces es más pesada o más densa una sustancia con respecto al agua [5].

#### 1.2.3. Gravedad API.

La gravedad API, de sus siglas en inglés (American Petroleum Institute), es una medida de cuánto pesa un producto de petróleo en relación al agua. La gravedad API es también usada para comparar



densidades de fracciones extraídas del petróleo. Matemáticamente la gravedad API no tiene unidades (ecuación 2) [6]. La fórmula usada para obtener la gravedad API es la siguiente:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{GE a } 15^{\circ}\text{C}} - 131.5 \quad (2)$$

Donde GE es la gravedad específica.

#### 1.2.4. Análisis composicional por cromatografía de gases.

La cromatografía de gases es una técnica analítica empleada para determinar la composición de una mezcla a estudiar. Debido a que el crudo está formado por una mezcla de diferentes compuestos no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de hidrocarburos, es por ello la importancia de la aplicación de esta técnica que permita determinar el porcentaje de estos componentes [7].

#### 1.2.5. Análisis SARA.

Es posible agrupar los constituyentes del petróleo en cuatro grupos principales, dos de ellos se refieren al arreglo estructural de los átomos de carbono en la molécula (cadena abierta y compuestos cíclicos o anillos) y las dos restantes según el tipo de enlace que existe entre los átomos de carbono. De acuerdo al porcentaje de cada fracción se determina el tipo de crudo que se está estudiando. Las cuatro fracciones que componen a un crudo son las siguientes:

- **Saturados:** Componentes no polares, se clasifican en n-parafinas, isoparafinas y naftenos.
- **Aromáticos:** Contienen en su estructura uno o más anillos aromáticos similares al benceno.
- **Resinas:** Precursores de los asfaltenos, actúan como estabilizadores de la dispersión ya

que los rodea con su estructura polar.

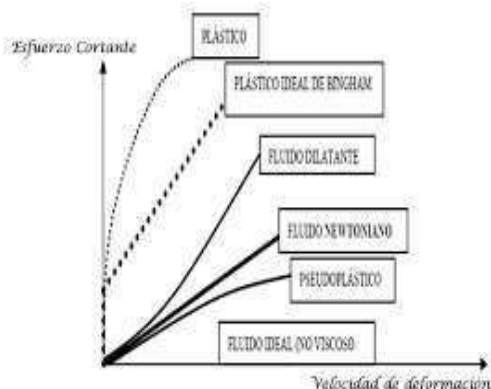
- **Asfaltenos:** Compuestos aromáticos policíclicos sólidos solubles en disolventes aromáticos [8].

#### 1.2.6. Tamaño de agregado y distribución.

Los aceites pesados generalmente muestran un mayor contenido de asfaltenos y resinas que los aceites convencionales, lo que afecta directamente los procesos de recuperación, transporte y refinación. Las propiedades coloidales de los asfaltenos y las resinas han sido objeto de un intenso debate en la literatura debido al efecto de la agregación de asfaltenos en diferentes solventes y por consiguiente su efecto a lo largo de cada proceso que involucre su manejo, esto se lleva a cabo mediante la técnica de dispersión dinámica de luz [9].

#### 1.2.7. Viscosidad.

La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido a ser deformado por un esfuerzo de cizallamiento, normalmente conocido como comportamiento de fluidez o resistencia a la caída y se describe como la resistencia interna de un fluido a circular o fluir y sin embargo debe ser una medida del rozamiento o fricción del fluido. La viscosidad, se obtiene por varios métodos y se le designa por varios valores de medición. Es muy importante el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de los crudos en los procesos que requieran el manejo de los mismos [10]. Dependiendo de la viscosidad de los fluidos se clasifican de acuerdo a la Figura 1, relacionando los parámetros de velocidad de deformación y esfuerzo cortante con la viscosidad [10].



**Figura 1.** Curvas características del comportamiento de los fluidos.

Fuente: Filho D.C. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, 396, 20, (2012), 208-221.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización del crudo se llevó a cabo de acuerdo a diferentes normas ASTM (American Society for Testing and Materials) mostrando en este apartado la metodología usada para el desarrollo de este trabajo.

### 2.1. Determinación de la densidad, gravedad específica y °API.

La determinación de estas propiedades se llevó a cabo con el densímetro DMA™ 4200M introduciendo en el equipo aproximadamente 3 mL del crudo y estableciendo la temperatura de 15°C como lo establece la norma ASTM D1298-12b.

### 2.2. Análisis SARA.

La caracterización SARA del crudo se llevó a cabo mediante la separación en primer lugar de los asfaltenos de acuerdo a la norma ASTM D3279-97, una vez recuperados los asfaltenos el residuo de esta separación recibe el nombre de maltenos en los cuales se encuentran el resto de las fracciones las cuales son saturados, aromáticos y resinas. La separación de estas fracciones se determinó por medio de la norma ASTM D4124-97 que establece la técnica de

cromatografía líquida por columna abierta en la cual la columna se empaqueta con sílica gel y alúmina grado cromatográfico posteriormente se selecciona un eluyente a fin de separar. Al concluir la técnica se determinan los porcentajes de cada fracción del crudo estudiado.

### 2.3. Determinación composicional por cromatografía de gases.

El análisis composicional del crudo se llevó a cabo mediante la norma ASTM D7169-11, se preparó 1 mL de muestra del crudo diluido en 1-hexano a continuación se inyectó en un cromatógrafo de gases Agilent 6890 series y se procedió al estudio.

### 2.4. Determinación del tamaño de aglomerado y distribución.

La determinación del tamaño promedio de gota y distribución del crudo se realizó con un analizador de dispersión de luz, Malvern Instrument Zetasizer, Modelo Nano ZS. Para el desarrollo de la prueba se preparó una solución problema a 100 ppm, pesando 0.01 g de crudo y aforando a 100 mL con ciclohexano. Una vez preparada la solución se tomaron aproximadamente 2 mL, éstos se vierten en la celda del equipo y se procede al análisis.

### 2.5. Determinación de la viscosidad.

La viscosidad del crudo se determinó en un reómetro Anton Paar Modelo MCR-501 con una geometría de cilindros concéntricos CC27 colocando aproximadamente 19 mL del crudo en el equipo. El análisis se llevó a cabo en un intervalo de temperatura de 30 a 60°C y en un rango de velocidad de corte de 0.1 a 100 s<sup>-1</sup>.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



### 3.1. Determinación de la densidad, gravedad específica y °API.

A continuación en la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos resultantes de la determinación de la densidad, gravedad específica y °API del crudo estudiado.

**Tabla 1**

*Tabla 1. Parámetros característicos del crudo estudiado.*

Parámetro	Valor
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.9698
Gravedad específica	0.9696
°API	14.40

*Fuente: Elaborado por el autor.*

Con los resultados anteriores se determina que el crudo estudiado es un crudo pesado por tener éstos valores dentro de esa clasificación.

### 3.2. Análisis SARA.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la separación fraccional del crudo.

**Tabla 2**

*Tabla 2. Composición SARA.*

Fracción	%W
Saturados	27.48
Aromáticos	36.92
Resinas	14.50
Asfaltenos	21.08

*Fuente: Elaborado por el autor.*

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla anterior se observa que con base en el %W el crudo analizado es del tipo nafténico.

### 3.3. Determinación composicional por cromatografía de gases.

El interés de conocer la composición detallada de la cromatografía de hidrocarburos o mezcla reside en que muchas propiedades globales resultan aditivas, de modo que pueden evaluarse

Kingsville, Texas. USA.

adecuadamente conociendo las propiedades de los componentes individuales y su proporción dentro de la mezcla. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de este estudio, mostrando el valor composicional del crudo estudiado.

**Tabla 3**

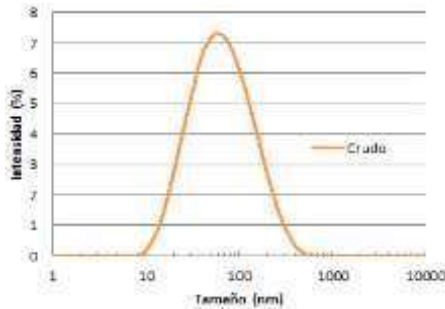
*Tabla 3. Análisis composicional de la muestra de crudo pesado.*

Componente	% Masa	% Mol
C <sub>3</sub>	0.01	0.06
iC <sub>4</sub>	0.02	0.11
C <sub>4</sub>	0.06	0.36
iC <sub>5</sub>	0.002	0.01
C <sub>5</sub>	0.33	1.70
C <sub>6</sub>	0.91	4.02
C <sub>7</sub>	1.38	5.19
C <sub>8</sub>	4.29	14.22
C <sub>9</sub>	0.89	2.58
C <sub>10</sub>	1.26	3.49
C <sub>11</sub> - C <sub>15</sub>	4.420	9.70
C <sub>16</sub> - C <sub>20</sub>	2.71	4.09
C <sub>21</sub> - C <sub>29</sub>	2.01	2.27
C <sub>30</sub>	81.63	52.20

*Fuente: Elaborado por el autor.*

### 3.4. Determinación del tamaño de aglomerado y distribución.

El estudio del tamaño promedio de gota y de la distribución de tamaño promedio de gota es de suma importancia en el estudio de las propiedades del crudo ya que ejerce gran influencia sobre las características y propiedades que pertenecen al crudo. En la Figura 2 se muestra los resultados obtenidos de este análisis.



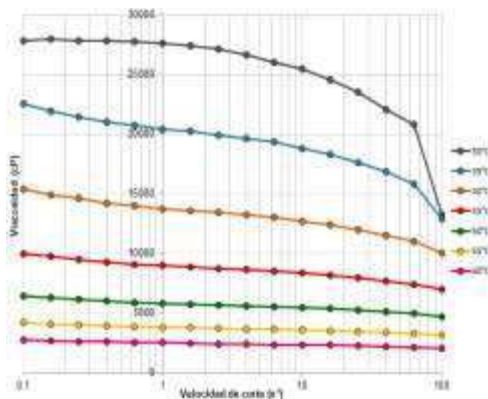
**Figura 2.** Distribución de aglomerados presentes en el crudo.

Fuente: Elaborado por el autor.

De acuerdo a este estudio el crudo analizado tiene un tamaño de agregado de 52 nm con una distribución monodispersa debido a que presenta un solo punto máximo en la curva de distribución del mismo.

### 3.5. Determinación de la viscosidad.

Como resultados del estudio de viscosidad se presenta la Figura 3 con el comportamiento que presenta el crudo bajo las condiciones establecidas en la metodología.



**Figura 3.** Comportamiento reológico del crudo analizado.

Fuente: Elaborado por el autor.

De la figura anterior se observa que el crudo a bajas temperaturas presenta un comportamiento no-newtoniano y a medida que esta aumenta las curvas tienden a un comportamiento newtoniano lo que se relaciona con el fácil manejo del mismo a esas condiciones de temperatura

y velocidad de corte. El crudo estudiado presenta un valor medio de viscosidad de 27 000 cP por lo que se trata de un crudopesado de alta viscosidad.

## 4. CONCLUSIONES

En la industria petrolera es muy importante conocer la composición y propiedades de los crudos, ya que esta varía dependiendo de su origen. Resulta importante y provechoso el estudio de cada crudo para evaluar las condiciones para sus diferentes aplicaciones en la industria petrolera. Antes de llevar a cabo el proceso industrial es preciso determinar en el laboratorio la composición de cada fracción y características fisico-químicas para su adecuación en cada proceso que involucre el manejo de crudos.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al TecNM por el apoyo financiero al proyecto clave 5090.19-P y a CONACyT por el apoyo del proyecto Desarrollo científico para atender problemas nacionales. Al Instituto Tecnológico de Ciudad Madero y al Instituto Mexicano del Petróleo por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

## 6. REFERENCIAS

1. Castro L.V. and Vázquez F., *Fraccionaland Characterization of Mexican Crude Oils*, Energy & Fuels 2009, 23, 3, (2009), 1603-1609.
2. Martínez R., Mosqueira M.L., Zapata B., Mar E., Bernal C., Aburto J. *Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline*, J. Petrol. Sci. Eng., 75, 1, (2011), 274-282.
3. Langevin D., Poteau S., Hénaut I. and Argillier J.F., *Crude Oil Emulsion Properties and their Application to Heavy Oil Transportation*, Oil gas sci. technol., 59, 5, (2004), 511-521.
4. Wong S.F., Lim J.S., Dol S.S., *Crude oil emulsion: A review on formation, classification and stability of water in Oil emulsions*, J. Petrol. Sci. Eng., 135, 1, (2015), 498-504





5. M. Ñurainia, H.N. Abdurahmanab y A.M.S. Kholijaha, *Effect of chemical breaking agents on water-in-crude oil emulsion system*, Int. J. Chem. Environ. Engin., 2, 4, (2011), 250-254.H.
6. I. Velásquez y J.C. Pereira, *Emulsiones de agua en crudo*, Aspectos generales, Rev. Ing. UC, 21, 3, (2014), 45-54.
7. Kum H., García J., Morales A., Caprioli P.L., Galiasso R.E., Salazar A.A., *Hidrotratamiento de crudos pesados y residuos*, Revista técnica INTEVEP, 5,1, (1985), 17-27.
8. Tineo J.A., *Efecto de solventes y temperatura sobre la viscosidad de algunos crudos de petróleos mexicanos*, Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México,(1978), 27-36.
9. Banda E., *Physicochemical characterization of heavy oil and the precipitated asphaltene fraction using UV spectroscopy and dynamic light scattering*, J. Eng. Technol., 6, 1, (2016), 49-58.
10. Zaki N., Butz T., Kessel D., *Rheology, particle size distribution and asphaltene deposition of viscous asphaltic crude oil- in-water emulsions for pipeline transportation*, J. Eng. Technol., 19, 3&4, (2001), 4-9.
11. Filho D.C., Ramalho J.B.V., Spinelli L.S., Lucas E.F., *Aging of in water in crude oil emulsions: Effect on water content, droplet size distribution, dynamic viscosity and stability*, Colloids Surf A Physicochem Eng Asp, 396, 20, (2012), 208-221.



## Diseño de Prototipo Conversor de Energía Undimotriz a Energía Eléctrica

Hugo Alberto Solís Martínez, Gabriela Itzel Chavarría Macías,  
Noé Toledo González

*Universidad Tecnológica de Matamoros, Carretera Matamoros-Reynosa Km. 8.5 Ej. Guadalupe (tel: 8681533443 e-mail: hugo.solis@utmatamoros.edu.mx) Universidad Tecnológica de Matamoros, Carretera Matamoros-Reynosa Km. 8.5 Ej. Guadalupe (gabriella.chavarria@utmatamoros.edu.mx), Universidad Tecnológica de Matamoros, Carretera Matamoros-Reynosa Km. 8.5 Ej. Guadalupe (e-mail: noe.toledo@utmatamoros.edu.mx)*

**Resumen:** Durante muchos años el uso desmedido de hidrocarburos como fuente de generación eléctrica y la gran variedad de productos que de ellos derivan ha ocasionado una gradual disminución de los mismos. Su explotación y quema esta ocasionando fuertes cambios climáticos, además de ser procesos altamente contaminantes. Es por eso la urgencia de desarrollar fuentes de energías limpias y renovables que ayuden a sustituir parcialmente de manera eficiente y rentable a las fuentes de energía producida con combustibles fósiles, como son la energía fotovoltaica, eólica, hidráulica, geotérmica, solar etc. Los océanos también proveen una gran cantidad de energía a partir de las mareas y de las olas marinas conocidas como energía undimotriz. En nuestro país durante el año anterior se registra el 75.88% de la energía eléctrica utilizada en el país es de fuentes fósiles, 17.29% de energías renovables y 6.83% de otras energías limpias. La energía de las olas o energía undimotriz es una alternativa consistente basada en la fuerza de las olas a lo largo de los océanos. El diseño mecánico del conversor de energía se basa en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial de las olas de los océanos de manera vertical para que el mecanismo biela manivela lo transforme en movimiento circular que haga girar el tren de engranes produciendo las revoluciones en el generador eléctrico convencional. La investigación demuestra la factibilidad del uso del conversor de energía, con la alternativa de uso en plataformas petroleras.

**Palabras clave:** energía renovable, energía undimotriz, conversor de energía, combustibles fósiles.

### 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de dos siglos la evolución social, industrial y tecnológica a derivado en el consumo excesivo de combustibles fósiles, debido a una infinidad de productos que de ellos provienen así como una dependencia de la energía eléctrica a la que se está sujeto el desarrollo tecnológico, siendo los hidrocarburos la principal materia de generación eléctrica en el país y en el mundo, colocando esta situación en un dilema ya que de un lado está el desarrollo y bienestar de la humanidad y por otro lado el cobro de nuestro planeta por la gran contaminación que el uso de estos conlleva.

De ahí el pensar seriamente en la necesidad de dar un giro a nuestra dependencia energética haciendo uso de las fuentes renovables que nos ofrece nuestro planeta, debido a los efectos casi nulos que este tipo de energía produce.

Existen diferentes tipos de energía que se aprovechan en los océanos, para la conversión a energía eléctrica, entre las más

viables se consideran: la energía undimotriz, la energía mareomotriz y los gradientes salinos.

La energía undimotriz se define como aquella que es obtenida a través de la captación de la energía cinética contenida en el movimiento de las olas, Energía Undimotriz (2015, a). Esta energía del mar es considerada la más joven y menos exploradas de las energías oceánicas, donde los estudios realizados indican que existe un gran potencial. La energía undimotriz está dividida en primera, segunda y tercera generación de acuerdo a la profundidad del suelo marino donde esté instalado el dispositivo conversor.

El potencial undimotriz es grandísimo y su distribución al igual que las demás energías renovables es desigual en todo el planeta, en la siguiente (fig. 1). Se muestra la distribución del recurso mundial de energías de las olas.



Fig.1 Recurso mundial de energía de las olas. Los números representan el flujo de energía promedio en (kwm) UPPSALA.

### 1.1 Las olas como recurso energético

Las olas son ondas que se desplazan por la superficie de los mares y océanos, son puestas en marcha por el viento, y representan el principal agente modelador de las costas.

Las olas se caracterizan por tener:

- Longitud de onda (L): Distancia entre dos picos consecutivos.
- Altura de onda (H): Diferencia entre un pico y un valle.
- Periodo (T):
- Tiempo (en segundos) que tarda un valle o un pico de la ola en recorrer su longitud de onda. Como se muestra a continuación en la (fig. 2).

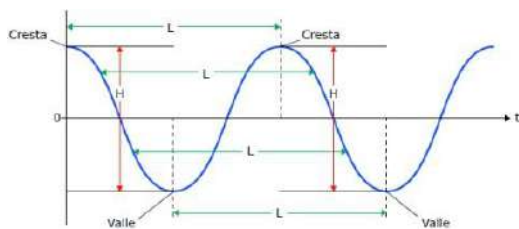


Fig. 2 Características de la ola.

El tamaño de una ola dependerá de tres factores:

- Velocidad del viento.
  - Tiempo durante el cual éste está soplando.
  - Distancia sobre el cual la energía del viento se transfiere al océano para formar olas Energía Undimotriz (2015, b).
- Dadas las características de las olas se pueden aprovechar su potencial como recurso energético de una manera constante.

### 1.2 La energía eléctrica y su generación

La energía eléctrica se produce en las plantas eléctricas que son un ensamble de sistemas o subsistemas para generar electricidad, es decir, potencia eléctrica con economía y satisfaciendo ciertos requerimientos técnicos (eficiencia, disponibilidad, etc.) y de impacto ambiental. Una planta generadora de electricidad o planta eléctrica debe ser útil económicamente y desde el

punto de vista ambiental amigable con la sociedad, Enríquez (2009). Se puede dividir en 2 grandes grupo: energías convencionales y no convencionales. Las energías no convencionales son la de mayor capacidad instalada en México siendo la principal fuente de energía con el uso de materiales fósiles, como se muestra en la (fig. 3). En cuanto a las energías renovables la hidroeléctrica representa la energía con mayor capacidad instalada seguida de la energía eólica y la energía undimotriz no tiene registro hasta el primer semestre del 2018 SENER (2018, a).

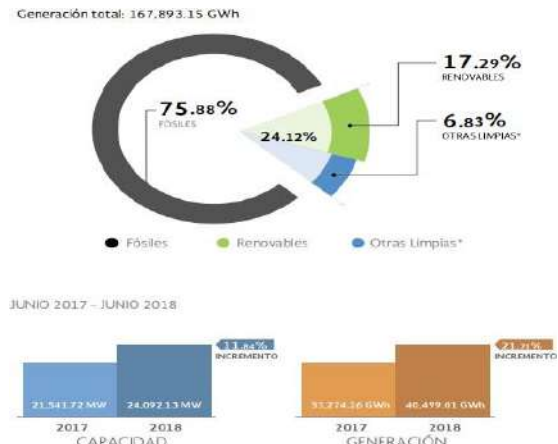


Fig. 3. Capacidad de generación eléctrica durante el primer semestre de 2018 en México. SENER (2018, b).

### 1.3 Tecnologías de conversión

Existen diferentes tipos de metodologías para el aprovechamiento de la energía de las olas, tales como:

*La Columna de Agua Oscilante* es una estructura semi-sumergida fija o flotante, parcialmente llena por el agua de mar y está integrada por una cámara de aire, una turbina bidireccional Wells y un turbogenerador, este funciona en dos semiciclos: el primero cuando la ola impulsa el agua hacia la cámara y el segundo cuando la ola regresa el agua saliendo de la cámara, en los dos casos el movimiento del agua produce una variación de presión impulsando al aire a través de la turbina. Por ejemplo: Voith Hydro Wavegen, Wave Pico Plant, OE Buoy.

El Atenuador utiliza la energía de las olas incidentes para inducir un movimiento oscilatorio entre dos (o más) componentes estructurales contiguos. El movimiento es soportado por cilindros hidráulicos que bombean fluido hidráulico de alta presión a través de un motor, o por una potencia de accionamiento directo despegan del sistema, para generar electricidad. Pueden ser flotantes o totalmente sumergidos, el primero es más común, tiende a moverse automáticamente para enfrentar la dirección natural del oleaje. Por ejemplo: Pelamis y Dexawave, IMP (2017).



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó un prototipo para la recolección de datos en un ambiente controlado utilizando una biela manivela embolo conectado a una rueda excéntrica, que a su vez mueve un tren de engranes el cual hace rotar el eje de un generador eléctrico.

Se utilizaron herramientas informáticas tales como: Solidword para el diseño 3D de las pieza del prototipo, Microcontrolador Arduino con la shield MicroSD para el almacenamiento de datos que fueron analizados estadísticamente con el software ISSP.

### 2.1 Análisis estadístico

Los datos del comportamiento del prototipo fueron analizados en un ambiente controlado donde el oleaje de laboratorio es provocado para obtener un comportamiento a escala pero muy similar al mar en la zona del puerto del mezquital de Matamoros Tamaulipas. Para el análisis del oleaje provocado se utilizó el software ISSP, arrojando resultados con una altura significativa promedio entre 0.3m y 0.4m, con un periodo de 3.5 segundos entre ola. Dato indispensable para la obtención del resultado final como el flujo de energía que será aprovechado por el prototipo conversor.

Utilizando los datos obtenidos del ISSP de la altura significativa, el periodo de oleaje y las ecuaciones necesarias para, el comportamiento del mar que está generalmente compuesto por olas que poseen diferentes alturas, periodos, y direcciones. Para un mar irregular, la energía total promedio de las olas se calcula:

$$P = kH^2T \quad (1)$$

Donde k es constante, que se obtiene por la ecuación.

$$k = (\rho g^2) / 64\pi \quad (2)$$

Donde:  $\rho$  : es la densidad del agua de mar ( $1025 \text{ kg/m}^3$ ) g: es la gravedad ( $9.80665 \text{ m/s}^2$ )  $\pi$ : valor aproximado 3.1416 Por lo tanto:  $k = 0.490H^2T$

Donde P es el flujo de energía de la ola expresado en kW/m. dando como resultado un flujo de energía

$P = 0.49 (.35\text{m})^2(3.5\text{s}) = .21008\text{kW/m}$ , de potencia ofrecida, por las olas de laboratorio para ser aprovechadas en el prototipo para conversión de movimiento. Donde el par torsional de la rueda excéntrica estará dado por la potencia ofrecida entre la velocidad de rotación, despreciando la pérdida de energía o potencia en el mecanismo biela manivela considerando solo la transformación de movimiento que tiene una velocidad rotacional igual al periodo de oleaje tenemos:

$$PT = P/n \quad (3)$$

Donde PT es el par torsional, P es la potencia ofrecida y n la velocidad de rotación en segundos tenemos  $PT = (.21008\text{kW/m})(3.5\text{s}) = .0600\text{kg}\cdot\text{m}$ .

Es la potencia de entrada en el tren de engranaje que se diseñó con una relación de 1 a 4 revoluciones para cuadruplicar la velocidad de giro en nuestro generador eléctrico en donde el potencial mecánico recibido es de:  $(0.0600/4) = 0.01500\text{kW/m}$ . Con una velocidad de giro de 68.57 RPM para este diseño.

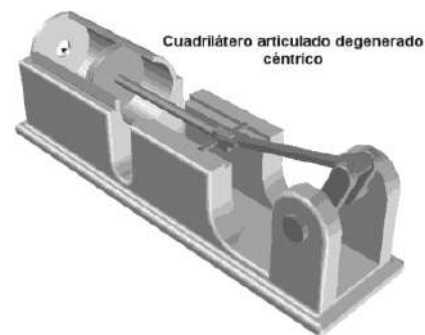
### 2.2 Diseño mecánico

El diseño mecánico se realizó en solidwork a través de un modelado 3D, donde se dibujó cada una de las piezas por separado para su facilidad de impresión y realizar el prototipo. Realizaron pruebas en condiciones controladas en laboratorio que se puedan extrapolar con datos obtenidos

El diseño mecánico se hace en 2 etapas, utilizando el biela manivela para transformar el movimiento lineal a movimiento giratorio y el tren de engranes para multiplicar la velocidad de giro.

#### 2.2.1 Mecanismo biela de manivela excéntrico.

Los mecanismos se referencian por un código de letras según sus pares cinemáticos presentes en el mecanismo general: P, para el par prismático o de traslación, R, el par de rotación, C, el par cilíndrico y S, el par esférico etc. En el caso de una maquina biela manivela excéntrico el código sería: PRRR, etc. En la siguiente (fig. 4). se presenta un mecanismo de biela manivela excéntrico: tiene un par de rotación en el pistón con soporte, 1 par prismático pistón embolo y 2 pares de rotación en la manivela. García(2007).



En este

Fig. 4. Mecanismo biela manivela. mecanismo, el movimiento de rotación de una manivela o cigüeñal provoca el movimiento rectilíneo, alternativo, de un pistón o émbolo. Una biela sirve para unir las dos piezas. Con la ayuda de un empujón inicial o un volante de inercia, el



movimiento alternativo del pistón se convierte en movimiento circular de la manivela.

### 2.2.2 Tren de engranes compuesto

Un tren de engranajes es un mecanismo que transmite movimiento desde una flecha motriz hasta una flecha accionada, por mediación de dos o más engranes se denomina tren de engranajes. Existe una relación afín,  $mg$ , llamada relación de engrane, que se emplea con frecuencia en el análisis de funcionamiento de los engranes. Siempre se define como el número de dientes de engranes entre el número de dientes del piñón independientemente de cual sea el impulsor. Así,  $mg$ , siempre es mayor o igual a 1.0 cuando el piñón es el impulsor como, en el caso de un reductor de velocidad,  $mg$  es igual a VR Moll (1985). Esto es relación de engranes

$$Mg = Ng/Np \geq 1.0 \quad (4)$$

En la siguiente figura se muestra un par de engranes que conforman el tren de engranaje utilizado en el prototipo (fig. 5). realizado en SolidWorks

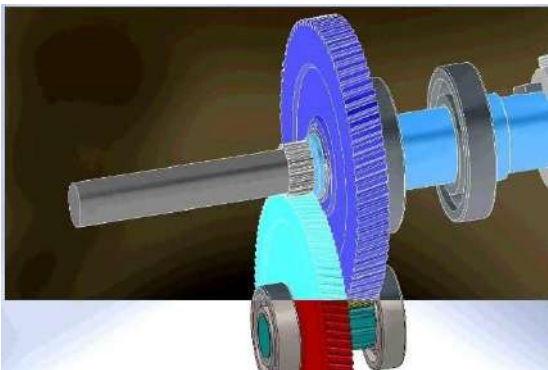


Fig. 5 Tren de engranes compuesto.

### 2.3 Generador eléctrico

Los generadores cambian la energía mecánica en energía eléctrica, en tanto los motores eléctricos cambian la energía eléctrica en mecánica; los generadores y motores eléctricos son muy parecidos, de hecho, están constituidos de la misma manera general, y ambos, dependen de los mismos principios electromagnéticos para su operación.

Al primer principio se le llama acción del generador y se le conoce también como inducción. El voltaje se puede inducir en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético, esto sucede cuando el flujo magnético se corta por el conductor. En algunos casos se mueve el

alambre; en otros se mueve el campo y aun en otros ambos se mueven pero a distintas velocidades.

Este principio toma la energía mecánica para producir el movimiento, este produce la electricidad por ser generada Enríquez (2004).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El diseño del prototipo generó resultados que comprueban la funcionabilidad del convertidor tanto en funcionamiento teórico como práctico dando pie a escalar a mayores dimensiones el prototipo propuesto, así como incrementar las variables asemejando aún más el comportamiento real del mar con oleajes más grandes así como el factor marea y el incremento en la generación eléctrica utilizando otro tipo de generador más potente que conlleva un torque mayor. El diseño otorga la una gran facilidad para el aprovechamiento de tecnologías actuales como son las impresoras 3D que facilita demasiado conseguir las piezas adecuadas y disminuye los presupuestos de construcción, también la compatibilidad que ofrecen software como es SolidWorks para el dibujo y fabricación con la ventaja de ser muy utilizados en el sector educativo e industrial.

En general el prototipo convertidor de energía undimotriz a energía eléctrica mostró la resistencia necesaria para su funcionamiento así como también soportó pruebas de estrés mecánico con oleajes demasiado altos y frecuentes durante su validación y principalmente la implementación en un generador terminó por demostrar la hipótesis de su funcionamiento bajo las condiciones establecidas.

## REFERENCIAS

- Energía Undimotriz (2015). Seminario: Mercado de Energía Convencional y Renovable para Ingenieros Civiles.
- Enríquez-Harper, G. (2004). *El Libro Práctico de los Generadores, Transformadores y Motores Eléctricos*. Pag. 1. Editorial Limusa.
- Enríquez-Harper, G. (2009). *Tecnologías de generación eléctrica*. Pag. 45. Editorial: Autor-Editor.
- García-Prada, J. C., Castejón-Sisamón C., Rubio-Alonso, H. y Meneses-Alonso, J. (2007). *Problemas resueltos de teoría de máquinas y mecanismos*. Pag. 9. Editorial Paraninfo.
- IMP (2017). Reporte de inteligencia tecnológica energía del océano. Pag. 23. *SENER*.
- Moll, R. L. (1985). *Diseño de elementos de máquinas*. Editorial Pearson.
- SENER (2018). Reporte de Avance de Energías Limpias Primer Semestre. México.



# Desarrollo de prototipo de comunicación a través de una interfaz visual utilizando cableado RJ45, para la conectividad y energización

Ing. Noe Toledo Gonzalez<sup>1</sup>, Ing. Hugo Alberto Solís Martínez<sup>2</sup>, Gabriela Itzel Chavarría Macias<sup>3</sup>

12

**Resumen**— Desarrollo un prototipo de comunicación de red, cuya función es la transferencia de datos y voltaje a través del cable RJ45 cat6. Utilizando el estándar IEEE 802.3at que hace referencia a la tecnología PoE (power over Ethernet), se realiza la interacción con diversos sensores del bajo voltaje (5v y 12v), entre ellos (Ultrasonido, Temperatura, Humedad, Lectores RFID, Válvulas solenoides y cerraduras magnéticas), visualizándolos mediante una interfaz web, para su manipulación y configuración siendo una alternativa de conectividad de proyectos al Internet de las Cosas.

**Palabras clave**— Comunicación, Internet de las cosas, Redes, Sensores, Electricidad.

## Introducción

Vivimos en tiempos en que se presta una atención extraordinaria a una serie de dispositivos que ayudan al intercambio de información y la comunicación entre las personas. Cada día más habitantes del planeta parecieran necesitar de estos aparatos. Casi en todo orden de cosas el acceso a estos dispositivos parece esencial, ya no sólo para permitir la interacción a distancia entre individuos, sino que también para facilitar el comercio, la ciencia, el entretenimiento, la educación, y un sinnúmero de actividades relacionadas con la vida moderna del siglo XXI. La comunicación es un proceso. Romaní, J. C. C. (2009).

Dentro de los procesos de conectividad las compañías nos han ofrecido comunicarnos por medio de tecnología tales como las ondas de radio en circuitos electrónicos, infrarrojo, radio frecuencias Bluetooth, Ethernet, Wifi. Para poder llegar al Concepto del internet de las cosas. Término que fue utilizado por primera vez por Kevin Ashton en 1999 que estaba trabajando en el campo de la tecnología RFID en red (identificación por radiofrecuencia) y tecnologías de detección emergentes.

En 2010, el número de objetos físicos cotidianos y dispositivos conectados a Internet fue de alrededor de 12,5 mil millones. En la actualidad hay cerca de 25 mil millones de dispositivos conectados a la IoT. Más o menos un dispositivo inteligente por persona.

Se espera que el número de dispositivos inteligentes o "cosas" conectados a la IoT será de más de 50 mil millones en 2020. (Dave Evans, 2011).

Dentro del hogar podemos destacar tres aplicaciones de los objetos conectados al Internet de las cosas:

### *Smart Appliances o Electrodomésticos Inteligentes:*

Son versiones conectadas de los clásicos dispositivos de uso doméstico que aprovechan los sensores y la conexión para facilitar su uso y ofrecer nuevas posibilidades a los usuarios. Actualmente ya existen alternativas comerciales entre las cuales las televisiones Smart son las más conocidas.

### *Control y Automatización de los sistemas del hogar:*

Una de las posibilidades novedosas que brindan los objetos conectados a Internet es que podemos controlar los mismos remotamente y programar su funcionamiento de la misma manera a través, por ejemplo, de nuestros smartphones. El funcionamiento de estos objetos también puede analizar nuestros hábitos, preferencias y las condiciones como el clima, día de la semana y hora para poder aprender de ellos y autoajustarse cuando sea necesario. Por ejemplo: las luces y persianas de la casa pueden activarse/desactivarse cuando el sol se oculte o si está muy nublado; el aire acondicionado en cada habitación puede ajustarse a la temperatura preferida del miembro de la familia que en ella se encuentre; la calefacción puede encenderse antes de nuestro horario de llegada del trabajo, etc. (Ma HD. 2011).

**Monitorización del estado de la casa:** podemos estar actualizados en tiempo real sobre toda la información relacionada al estado de objetos conectados en el hogar: podemos saber si las luces están encendidas, si hemos dejado el fuego encendido en la cocina, si hay una alarma de humo activa, a que temperatura se encuentra cada sector de la casa o visualizar imágenes del circuito cerrado desde cualquier ubicación (Ma HD. 2011).

Estos tres puntos mencionados en conjunto pueden considerarse como Smart House o Casa Inteligente: un hogar equipado con tecnología que nos permite interactuar con él, que podemos controlarlo y que se ajuste a nuestras preferencias (Dave Evans, 2011).



Dentro de estos servicios de Smart House o casas inteligentes se detectó el problema de la energización ya que en ocasiones se tiene que realizar instalaciones eléctricas especiales a ciertas áreas. Por ejemplo, en portones, cortinas, luminarias, timbres electrónicos, sensores de ventas, monitores de temperatura. Mismos dispositivos que utilizan sensores que son alimentados entre los 12v y 5v dentro de su proceso de automatización, Por ello se desarrolló un prototipo de comunicación para ese tiempo de sensores utilizando una interfaz visual web para la interacción y utilizando la tecnología PoE con el estándar de comunicación IEEE 802.3at a través del cableado RJ45 categoría 6, para poder realizar la conectividad y energización al mismo tiempo segura y regulada.

Power over Ethernet o tecnología PoE describe un sistema para transferir electricidad de manera segura alimentación, junto con datos, a dispositivos remotos a través de cables de datos estándar en una red Ethernet (Cat3 / Cat5 / Cat5e / Cat6). La versión estándar original IEEE 802.3af-2003 de PoE suministra hasta 15.4 W de corriente continua (mínimo 44 V CC y 350 mA) a cada dispositivo. Se garantiza que solo 12.95 W estarán disponibles en el dispositivo alimentado (PD) ya que hay algo de potencia disipado en el cable, No afecta el rendimiento de la red de 10/100/1000 Mbps enlaces a la PD (Eisen, M. 2010).

Siendo el prototipo de comunicación a través de una interfaz visual utilizando cableado RJ45, para la conectividad y energización una alternativa más de conexión en los hogares al internet de las Cosas.

### Descripción del Método

La lógica de operación del prototipo se basa la comunicación y energización de los dispositivos o sensores de bajo voltaje de 5v y 12v a través de un adaptador que se conecta por medio de un cable RJ45 categoría 6 dentro de la configuración estándar IEEE 802.3at y llega a un panel de control donde se realiza la configuración electrónica con el microcontrolador para poder mandar y recibir la información. Y al mismo tiempo energizar y proyectar mediante una interfaz web para su control o monitoreo.

#### Estructura funcional del Sistema

Teniendo como base la lógica de operación se procede a definir la estructura funcional del sistema. La cual consta de una interfaz web de control y monitoreo (Software), donde la señal llega al prototipo físico la cual es recibida por el microcontrolador (Arduino) con el adaptador shield ethernet mismo que envía la señal a un panel de distribución el cual gestiona el voltaje y los datos, hacia los adaptadores de los sensores o dispositivos.

A partir de la estructura planteada, se definen los elementos principales del prototipo, y se realiza un análisis de las tecnologías que se podrían implementarse en cada etapa, evaluando variables de desempeño, flexibilidad y costos en todos los casos. De dicho análisis se decide utilizar programación en HTML en el diseño de software. siendo este un lenguaje de marcado para el desarrollo de páginas de Internet de código abierto y compatibilidad con los diferentes navegadores tanto en computadoras personales, dispositivos móviles, televisiones e incluso automóviles con esta tecnología.

En cuanto al desarrollo de hardware se optó por utilizar el microcontrolador Arduino el cual tiene como función principal mostrar y distribuir la señal y los datos, el cual en su programación maneja su propio lenguaje de programación, el cual es de código libre y al mismo tiempo cumple los requerimientos de desempeño y adaptabilidad al arreglo para la distribución de voltaje. Para la comunicación y energización de sensores se utiliza la configuración estándar IEEE 802.3at que hace referencia a la tecnología PoE (Power Over Ethernet), el cual cumple con los objetivos del prototipo llevar el voltaje a los dispositivos y al tener un estándar en el prototipo ayuda a que los adaptadores puedan utilizarse en switch PoE con esta tecnología, solo para la energización.

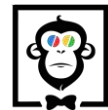
Se complementa la estructura del sistema escogiendo los elementos a emplear, así como las conexiones que se requieren. La estructura definida se presenta en la figura 1.



Fig. 1. Estructura Operacional del Sistema. Fuente: Elaboración propia.

#### Los instrumentos que se emplearon:

El primer elemento es el microcontrolador el cual permite la distribución de la señal hacia el panel de control eléctrico, configurando una shield ethernet para establecer conexión hacia una red.



Posteriormente se hace la configuración del circuito eléctrico que es alimentado por una fuente de poder la cual recibe la energía y la regula y la distribuye en forma paralela hacia el panel eléctrico, identificando las cargas de 5v o 12v respectivamente. Y utilizando estándar IEEE 802.3at que hace referencia a la tecnología PoE, el cual se muestra su configuración en la figura 2 y en la figura 3 su implementación.

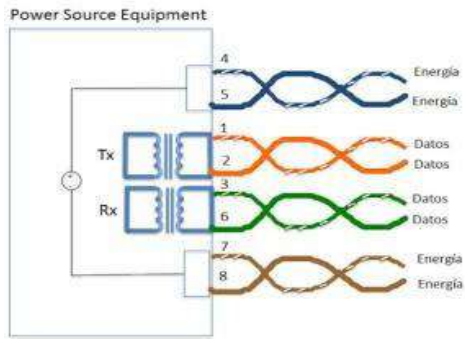


Fig. 2. IEEE 802.3at Modo B, 12.95 Watts y 10/100 Base-T - Eisen, M. (2010).

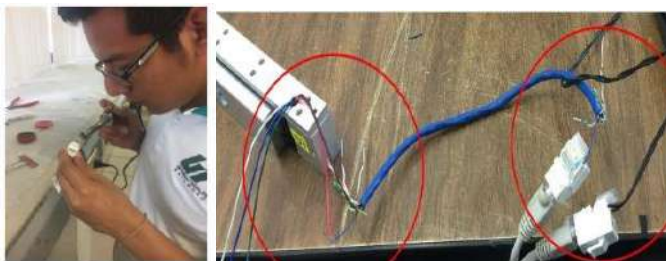


Fig. 3. Configuración de cableado RJ45 categoría 6 con el estándar IEEE 802.3at Modo B, 12.95 Watts y 10/100 Base-T.

Posteriormente, se diseñó el software codificado en HTML el cual que servirá como interfaz de comunicación con el usuario para el control y visualización de sus dispositivos y validar los datos recibidos de acuerdo con la lógica desarrollada, así como la verificación de compatibilidad de ruteadores y módems proveedores de servicios de red, validando las IP, y la puerta de enlace, para una comunicación hacia la shield ethernet y a su vez a la red LAN.

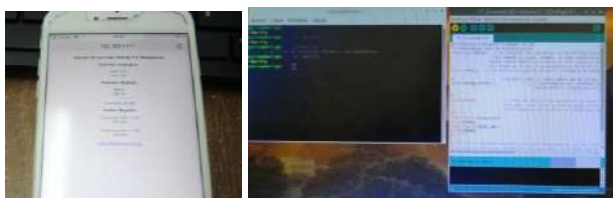


Fig. 4. Vista de interfaz de usuario en navegador móvil y su código fuente en HTML combinado con Arduino.

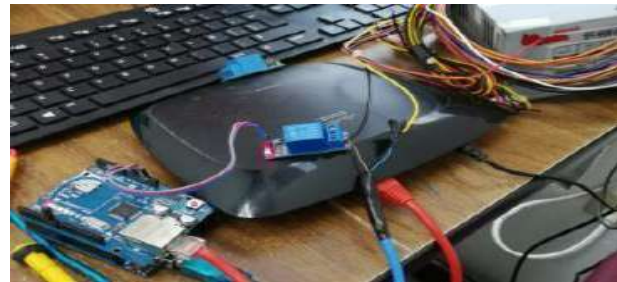


Fig. 5. configuración de Ruteador CISCO, validando las IP disponibles y su puerta de enlace para configuración en el código HTML y Arduino con su tarjeta shield ethernet para su comunicación.

Se diseñó un modelo en 3D de la carcasa para la presentación del del prototipo utilizando el software SolidWorks con medidas presidas de ventilación, ensamble con el microcontrolador y cableado. para posteriormente realizar la impresión 3D de la misma.

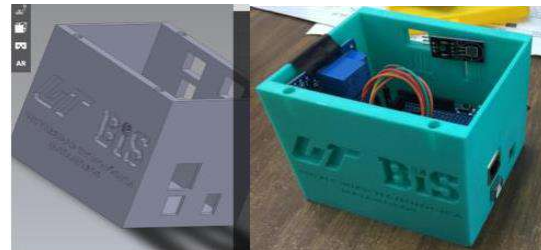


Fig. 6. visualización de diseño modelado en 3D de carcasa y posteriormente si impresión en 3D

### Configuraciones y pruebas preliminares

Después de las configuraciones de interfaz web, arreglo electrónico y carcasa 3D del prototipo, se lleva a cabo el ensamblaje de este y también las pruebas de comunicación.

Primero se llevó a cabo las conexiones en la carcasa, con las distribuciones precisas del microcontrolador y cableado tanto de alimentación y datos, al igual la conexión a hacia el panel eléctrico para ser alimentado por la fuente de poder.

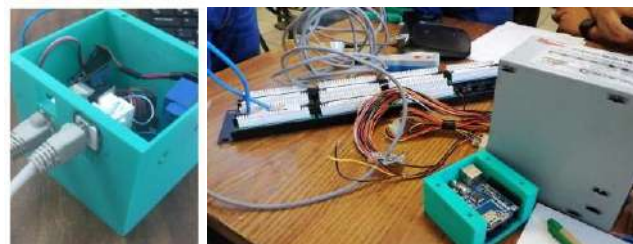


Fig. 7. Carcasa ensamblada con los elementos de prototipo y configuración electrónica de la fuente de poder hacia el panel eléctrico





Posteriormente se realizan las pruebas preliminares de conectividad de los adaptadores con dispositivos y sensores.

Para después realizar las pruebas de conectividad y alimentación eléctrica.

15



Fig. 8. Prueba de conectividad y alimentación con dispositivos y sensores

Se continua con el desarrollo de las pruebas de la comunicación y la energización en entre el prototipo y dispositivos de 5v 12v. las cuales se llevaron de la siguiente manera: Se utilizaron sensores de humedad y temperatura (DH11), ultrasónico, relevadores, Lectores RFID. Para las pruebas de 5v.

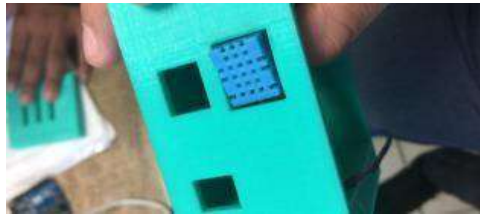


Fig. 9. Prueba de conectividad y alimentación sensor de Temperatura y humedad de 5v.

Y en los dispositivos de 12v se utilizó una válvula solenoide de paso de agua y se logró encenderla, e igual que una cerradura magnética, ambos. Como se puede apreciar en las figuras 10, y 11.



Fig. 10. Prueba de conectividad y alimentación con válvula solenoide de 12V.



Fig. 11. Prueba de conectividad y alimentación con cerradura magnética de 12V.

### Resumen de resultados

En este trabajo investigativo se estudió la energización de dispositivos por medio del cableado RJ45 categoría 6 y el estándar IEEE 802.3at se llegó a determinar que se puede crear un prototipo que muestre una interfaz de dispositivos y sensores, así como su centralización.

Al analizar este método empleado del prototipo con el microcontrolador Arduino con su tarjeta shield ethernet, se comprobó que al utilizar sensores de 5v se pueden comunicar y energizar a una distancia de 150 metros sin perder el voltaje ni su amperaje.

En los sensores de 12v se logró determinar que solo se pueden establecer distancias de 12metros para mantener su voltaje y amperaje.

En caso de fallas eléctricas se estableció un sistema de respaldo independiente para energización por 12 horas con una operatividad 24 sensores de 5v y 6 horas sensores de 12v.

El diseño e implementación del Prototipo de comunicación a través de una interfaz visual utilizando cableado RJ45, para la conectividad y energización. Nos lleva aprovechar la capacidad tecnológica y los recursos donde se el prototipo se convierte en una diferente modelo de utilidad en el entorno del internet de las cosas y para la creación de subproyectos desde control de accesos, control de riego, entornos industriales con su modelo y tecnología.

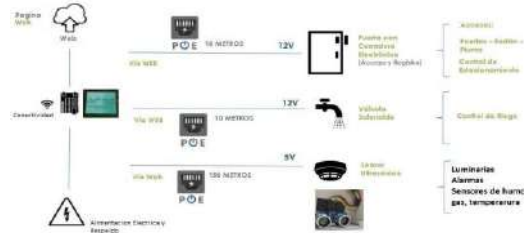


Fig. 12. Diagrama de implementación del prototipo con configuración tecnológica en diferentes modelos de utilidad para su implementación.



### Conclusiones

Los resultados demuestran que con el desarrollo y ejecución de este prototipo se logra convertirse en un modelo de utilidad en las instalaciones que van entorno al internet de las cosas. Brindando conectividad y energización a los diferentes dispositivos actuales, y sensores. Siendo una alternativa en el mercado actual.

16

En el mundo de los negocios, la creatividad se ha convertido en algo esencial, esto se debe a que todo lo demás ha llegado a ser mercancía al alcance de todos (De bono, 2011) y esto es muy cierto y basando en el modelo del prototipo abre a un proceso creativo de diseño e implementación de sensores dentro del el internet de las cosas, con la flexibilidad de adaptar dispositivos convencionales que se tiene en el hogar, un ejemplo sería un portón con este prototipo se hace la adaptación al portón actual y el costo sería relativamente bajo a comparación de un portón automatizado con la tecnología de internet de las cosas.

La prueba piloto ha arrojado resultados satisfactorios, principalmente por su adaptabilidad y la flexibilidad en diferentes escenarios y también es un prototipo que puede seguir creciendo en diseño y en presentación (interfaz) compatible con aplicaciones de escritorio y móviles para que el usuario tenga más opciones de manejo.

### Referencias

Dave Evans. (2011). How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. Cisco Internet of Things White Paper

De Bono, E. (1991). Pensamiento lateral. Paidc's Argentina.

Delgadillo, J. Ortiz. (2011). "Diseño de un Sistema de Control de Acceso Mediante Tecnología RFID con Implementación de un Servidor Web embebido en un PIC" Tesis de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.

Eisen, M. (2010). Introduction to PoE and the IEEE802. 3af and 802.3 at Standards. presentation slideware.

Franco, D., & Castillo, F. (2009). Comunicaciones Inalámbricas: Bluetooth. Revista Prisma Tecnológico, 1(1), 19-21.

Ma HD. (2011). "Internet of things: Objectives and scientific challenges". Journal of computer science and technology 26 (6): 919-924.

Romaní, J. C. C. (2009). El concepto de tecnologías de la información. Benchmarking sobre las definiciones de las TIC en la sociedad del conocimiento. Zer: Revista de estudios de comunicación, 14(27). Cisco Internet of Things White Paper



# Implementation of PID-based Control System for Heat Exchanger in an Energy Transfer Station for Chilled Water Plant

Mashhood Zafar  
Department of Mechanical and Industrial Engineering  
Texas A&M University – Kingsville  
Kingsville, TX 78363  
mashhood.zafar@students.tamuk.edu

Mario Alberto Gonzalez de leon  
Department of Mechanical and Industrial Engineering  
Texas A&M University – Kingsville  
Kingsville, TX 78363  
mario.gonzalez\_de\_leon@students.tamuk.edu

Bangla votarikari Nishanth  
Department of Mechanical and Industrial Engineering  
Texas A&M University – Kingsville  
Kingsville, TX 78363  
nishanth.bangla\_votarikari@students.tamuk.edu

---

**Abstract**— This paper presents the implementation of PID (Proportional-Integral-Derivative) algorithm for a heat exchanger application. A heat exchanger application is developed in line with the ISA-95 automation pyramid with temperature sensors as level-0, PLC (Programmable Logic Controller) as level-1, and HMI as level-2. The PLC system based on ControlLogix and PanelView-Plus based Human Machine Interface (HMI) has been used for level-1 and level-2, respectively. RTD based temperature transmitters have been used as level-0 sensing devices. The simulation results have been performed in MATLAB and implemented in RSLogix-5000 PLC program.

**Keywords**—Resistance Temperature Detector, Thermocouple, Programmable Logic Controller (PLC), Direct Digital Controller, Energy Transfer Station, Human Machine Interface, MPC, PID

---

**Resumen**— Este artículo presenta la implementación del algoritmo PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para una aplicación de intercambiador de calor. Se desarrolla una aplicación de intercambiador de calor en línea con la pirámide de automatización ISA-95 con sensores de temperatura como nivel 0, PLC (Controlador Lógico Programable) como nivel 1 y HMI como nivel 2. El sistema de PLC basado en Control Logix y la interfaz hombre-máquina (HMI) basada en PanelView-Plus se han utilizado para el nivel 1 y el nivel 2, respectivamente. Los transmisores de temperatura basados en RTD se han utilizado como dispositivos de detección de nivel 0. Los resultados de la simulación se realizaron en MATLAB y se implementaron en el programa RSLogix-5000 PLC.

**Palabras clave:** Detector de temperatura de resistencia, Termopar, Controlador Lógico Programable (PLC), Controlador Digital Directo, Estación de Transferencia de Energía, Interfaz Hombre-Máquina, MPC, PID

---

## I. INTRODUCTION

The purpose of an Energy Transfer Station (ETS) is to transfer thermal energy from one location to another. The most modern ETS stations use the indirect method of energy transfer in which a heat exchanger is used to isolate the two locations to make sure that independent pressure conditions and temperature are maintained on both sides of the systems and water is not contaminated. The main components of an ETS are as follows: the pumps, heat exchangers, pressure independent control valves (PICVs), strainers, PLC, HMI, pressure transmitters, temperature transmitters, and flowmeters along with energy meters. An ETS has two distinctive sides: primary and secondary. The primary side is connected with the chilled water supply pipeline coming from the District Cooling Plant (DCP), while the secondary side connects the building facility with ETS.

The chilled water from the DCP enters the ETS through chilled water supply pipeline and returns back to the DCP through chilled water return pipeline and heat exchanger. Temperature and pressure gauges are installed on the supply and return pipelines for visual monitoring. An energy meter is installed on the supply pipeline and return pipeline that is connected with the flowmeter and temperature sensors to measure the total energy transferred to the building. A differential pressure transmitter is installed to measure the differential pressure between the primary and secondary sides. Temperature control valves installed on the supply pipeline and return pipeline transfer the energy to the secondary side at desired temperature. Temperature gauges and pressure gauges are installed on the pipelines for local monitoring while the



temperature transmitters are installed for remote monitoring through PLC system.

An itemized study of the thermal storage tanks (TES tanks) is performed in [1] on the Dallas Airport chilled water system to verify that the reset schedule proposed guarantees that TES tanks meet the peak load requirement in the summer season. Low Delta-T syndrome is an undesirable phenomenon that happens when the design temperature difference between the chilled water supply line and the return line is not maintained. Low Delta T syndrome results in pushing the DCP to supply the chilled water to the plant at excess flow rates in order to maintain the desired temperature in the building. As the power output is directly related to the chilled water flow, a low Delta T syndrome results in excessive water flow but does not add the power to the water circuit. As a result, the ETS runs with lower efficiency, however, if the Delta T is maintained at the desired temperature, the ETS operates efficiently. In the otherwise case, a marginal increase in the cooling requirement increases the pumping energy exponentially.

In [2], it is shown that the underlying causes of low delta-T syndrome can be optimized and resolved by designing a cooling plant in line with international regulations, however, the rectification of some of the causes is not practical or possible. It is suggested that proper operation and maintenance of the cooling plant results in mitigating the low delta-T syndrome. In [3], it is suggested that by using variable speed chillers and implementing load-based speed control, the DCP yields commercial benefits by consuming lower utility loads and reducing the drainage of electricity and chilled water. Conventional constant speed chillers are shown to be inefficient and not environmental-friendly. The causes of low Delta T syndrome have been studied in [4] and the control system has been identified as one of the main contributing factors. The low Delta T syndrome may occur when the control system and related sensing devices are not properly selected and sized. The control system mainly consists of PLC with HMI and related sensors such as temperature sensor, pressure sensor, differential pressure sensor, flow sensor, and energy measurement. Temperature is one of the most important parameters in an ETS and contributes to its overall efficiency. In [5], a study related to problem detection and diagnostic approach to identify the causes of low delta-T syndrome in a sophisticated HVAC system is conducted and it is observed that improper set points of the sensors, the inadequacy of control calibration, and presence of uncontrolled process load in the control system are some of the major reasons for low Delta T syndrome. In order to prevent the low delta-T syndrome for chilled water systems, a study is performed in [6] to provide an online robust control technique. In addition to the traditional control strategies, a temperature set-point reset scheme is created with the goal of offering a trustworthy temperature set-point to increase the chilled water pumps' operational reliability. In order to diagnose the faults in the chilled water circuits of the buildings that cause the low delta-T syndrome, a mathematical model is built in [7] and it is observed that the overall delta-T of the system is suggested to be lower than the delta-T of the separate coils. Under conditions where individual loads are involved, this phenomenon becomes very important.

## II. CONTROL PHILOSOPHY IN AN ETS STATION

### A. Background

The DCP service provider keeps the supply chilled water temperature as low as agreed upon with users. In order to maintain the differential temperature and preserve the overall energy efficiency of the DCP plant, users usually have to keep the temperature of their returned chilled water at the level specified by the DCP service provider [8]. The primary and secondary water temperatures in an ETS are expected to fluctuate depending on the ambient temperature. This control technique will keep interior temperatures at a tolerable level while lowering energy expenditures [8].

### B. Traditional Control Technique

The representation of a typical ETS is illustrated in Figure 1. Installing partial redundancy in the ETS heat exchanger is a common approach. Installing two heat exchangers with a 75% capacity is common. The two heat exchangers operate in tandem to reach their maximum capacity, however, one of them may be shut down for maintenance while the other is active during times of low demand, preventing a disruption in service [8]. Generally, for a typical ETS, two PID loops are configured to control the district cooling return water temperature to maintain the design setpoint based on the signal from the temperature transmitters by modulating the temperature control valves. The control valves are configured in a one-third and two-third flow arrangement respectively.

The control valves are sized and constructed in line with the overall thermal loads of the consumer. Oversizing of the valves results in the reduction of their lifecycle. Control valve actuators are chosen to work well with the heat exchanger's characteristics and are sized properly to ensure the opening and closing of the valves under the system's maximum pressure differential. Using two valves connected in parallel and functioning sequentially for higher flow rates is recommended. For optimum control in most situations, the two valves are sized to effectively manage one-third and two-thirds of the overall capacity, respectively.

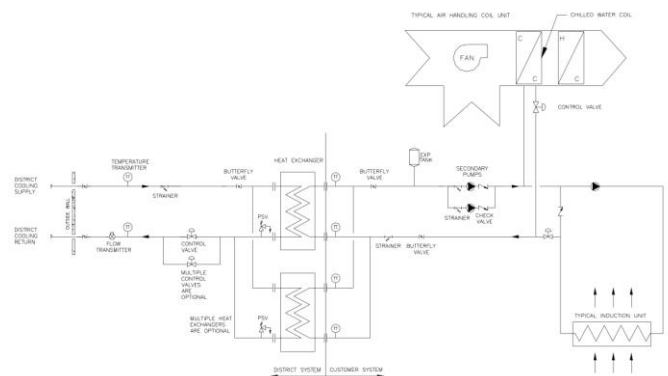


Figure 1 Typical ETS control system

## III. CONTROL OF AN ETS SYSTEM BASED ON THE PID TECHNIQUE

### A. Control System Block Diagram

The block diagram of an ETS System is shown in Figure 2. The Plant block represents the heat exchanger. Based on the temperature setpoint, the controller compares the temperature signal from the temperature sensor and manipulates the output to the actuator to control the flow rate of the chilled water in the chilled water return pipeline by controlling the opening of



the control valve. The control valve is fitted with an electric actuator to control the position of the butterfly valve assembly.

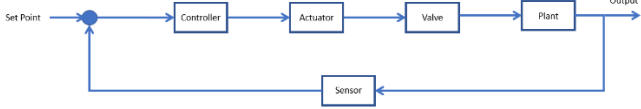


Figure 2 Block diagram of the ETS system

**B. Derivation of Transfer Function**

In order to implement and analyze the PID control loop, the transfer function of the temperature sensor, valve and actuator, and plant have been calculated.

Two independent constraints precisely and steadily regulate the capacity of a heat exchanger. The first restriction is based on how well the valve's flow characteristic matches the coil's or heat exchanger's performance characteristics. The second constraint, which is much more important, determines what proportion of the heat exchanger's design capacity will be uncontrollable. The relationship between capacity and flow rate for a heat exchanger is essentially logarithmic. This curve's precise shape depends on the design of heat fluid process parameters, and the media's temperature exchanger, face velocity, process parameters of the fluid, and the temperature of the media. The relationship between the degrees of disc rotation and heat exchanger capacity will be largely linear when a heat exchanger performance characteristic is combined with an equal percentage valve flow characteristic. The relationship between design flow rate and design capacity in percentage is given in figure 3.

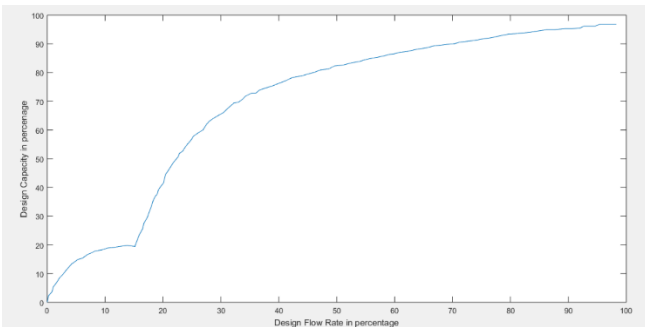


Figure 3 Performance Characteristics of a heat exchanger for water at 10 Deg C

The ability of a valve to proportionally control a heat exchanger's capacity is crucial when choosing a valve. When a valve is first opened, there is always some flow that can't be controlled. When a globe valve is involved, it happens when the plug is first lifted off the seat. When the disc first clears the seat material in a butterfly valve, this uncontrollable flow happens. This rotates between 10° and 20°, depending on the size of the valve. In order to size the control valve for this application, the butterfly valve has been sized to ensure that there are enough pressure drops to offer strong control authority and the pressure drop across the control valve is at least equal to the total pressure drop across the heat exchanger, flow meter, and related piping and machinery. Around 50% of the total system differential pressure (DP) has been applied to the pressure drop through the control valve. Figure 4 provides the sizing calculation of the valve. The valve has been sized based on four conditions and pressure recovery factor, sizing coefficient and valve diameter have been calculated accordingly.

Item Description	8", CL 150, Lug			
SERVICE AND SIZING	Cond1	Cond2	Cond3	Cond4
Process Fluid Name: Water				
Inlet Pressure (bar(a))	1	2	2	2
Outlet Pressure (bar(a))	0.5	1.24	1.24	1.24
Liquid Flow (gpm US))	675	673.571	673.571	673.571
Vapour Pressure (bar(a))	-1.01	-1.01	-1.01	-1.01
Specific Gravity	1	1	1	1
Temperature (°C)	4	4	4	4
Pressure Recovery Factor, FL	0.986	0.982	0.982	0.982
Valve Sizing Modifier Factor, Fd	0.381	0.383	0.383	0.383
Combined Recovery Factor, FLP	0.862	0.859	0.859	0.859
Plains Correction Factor, Fp	0.998	0.999	0.999	0.999
Critical Pressure Ratio Factor, Ff	0.959	0.959	0.959	0.959
Valve Diameter, d (in)	8"	8"	8"	8"
Inlet Pipe Diameter, D1 (in)	10.75	10.75	10.75	10.75
Outlet Pipe Diameter, D2 (in)	10.75	10.75	10.75	10.75
Cavitation Index, Kc	0.349	0.252	0.252	0.252
Dynamic Torque	188	222	222	222
Sizing Coefficient, Cv	251	203	203	203
Pressure Drop (bar)	0.5	0.76	0.76	0.76
dP Choked (bar)	1.5	2.2276	2.2276	2.2276
Noise Calculation				
Valve Type	Butterfly	Butterfly	Butterfly	Butterfly
Downstream Pipe Size (in)	10	10	10	10
Downstream Pipe Schedule	STD	STD	STD	STD
Valve SPL (dBA)	55	56	56	56
Velocity				
Inlet Velocity (ft/s)	2.757	2.752	2.752	2.752
Outlet Velocity (ft/s)	2.757	2.752	2.752	2.752
Valve Velocity (ft/s)	4.298	4.299	4.299	4.299

Travel (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Cv	58.5	145	245.5	385.6	570.5	835	1219	1718	2287	2900

Figure 4: Sizing calculation of the butterfly valve

The actuator for the valve has been sized for the valve and the sizing calculation is given in Figure 5 and the Maximum Allowable Stem Torque (MAST) to which the quarter-turn valve stem can be subjected during operation without mechanical failure is calculated to be 5544 lbs.-in.

Item Description	8", CL 150, Lug, Electrical	
<b>ACTUATOR SIZING</b>		
Valve Size (in)	8	
Media	Water	
Temperature (°C)	20	
Maximum Inlet Pressure (bar(g))	2	
Maximum Pressure Drop (bar)	0.76	
Shut off Pressure (bar(g))	8	
MAST (lbs-in)	5544	
Basic Torque (lbs-in)	1414	
Safety Factor	1	
Torque with Safety factor	1414	
Actuator Type	Electrical	
Available Supply Voltage	120 VAC	
Manual Override	No	
Avail. Actuator Torque (lbs-in)	2000	

Figure 5: Sizing calculation of the actuator for butterfly valve

The block diagram of a control valve is shown in Figure 6. The gain of the control valve is the steady state change in the output of the control valve with respect to the input.



Figure 6: The block diagram of the valve with the actuator



The transfer function of the butterfly valve has been calculated as below:

$$\text{Transferfunction} = Kv/(\tau_v s + 1)$$

$Kv$ = Valve Gain

$\tau_v$ = Time Constant of the valve Actuator

For this experiment, a butterfly valve from Bray has been considered fitted with an electric actuator to perform the modulating action. The actuator is fitted with a solid-state speed control module with 120 seconds of valve opening/closure time. The actuator has electronic proportional control with a servo amplifier capable of accepting 4 to 20 mA valve modulation. The valve Gain calculated for this experiment is 6.7 GPM / % Control Output and the time constant  $\tau_v$  is 2 minutes. The transfer function of the valve has been calculated as below:

$$\text{Transferfunction} = 6.7/(2s + 1)$$

Transfer Function of the Temperature Sensor

The transfer function of an RTD sensor is governed by the following equation:

$$R_t = R_o(1 + \alpha \Delta T)$$

Where  $R_t$  is the resistance of the RTD sensor measured as a function of the process temperature.  $R_o$  is the resistance of the RTD sensor at 0°C which is 100 Ω in the case of Pt-100 sensor.  $\alpha$  is the temperature coefficient while  $\Delta T$  is the difference in temperature. The transfer function of the RTD sensor as calculated for this experience is below:

$$\text{Transferfunction} = 1/(0.1s + 1)$$

The transfer function of the heat exchanger has been estimated based on the historical data collected from an ETS station and is given as below:

$$\text{Transfer function} = \frac{70e^{-2s}}{20s + 1}$$

The total transfer function would be as below:

$$\text{Transfer function} = \frac{63.47}{40s^2 + 22s + 1}$$

### C. Tuning of the PID controller

It was observed that process value (PV) and the setpoint value (SP) differ significantly in the temperature control process. The PV begins at 0°C of this temperature feedback loop and advances toward the SP value of 4°C, over time, the variation between the high and low manipulated value (MV) reduced and stabilized. It was noted that the values used for each of the P, I, and D parameters affect how the MV behaves.

While tuning the PID loop, it was noted that the process value changes slowly during the summer season, hence, the PID loop tuning was started with greater gains and lower resets, between 3 and 6, and 0.02 and 0.4, respectively. As a result of setting the gains, it was noted that the process variable moves slowly and the gain parameter was changed, and the outcome was tracked until the stable process was achieved. The same activity was repeated for the second parameter for the sable process achievement.

Kingsville, Texas. USA.

Figure 7 and figure 8 show the step response and reference tracking of the ETS plant respectively.

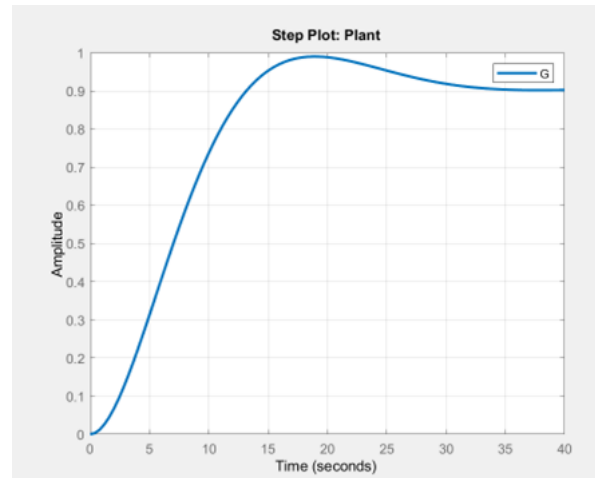


Figure 7: Step response of the ETS plant

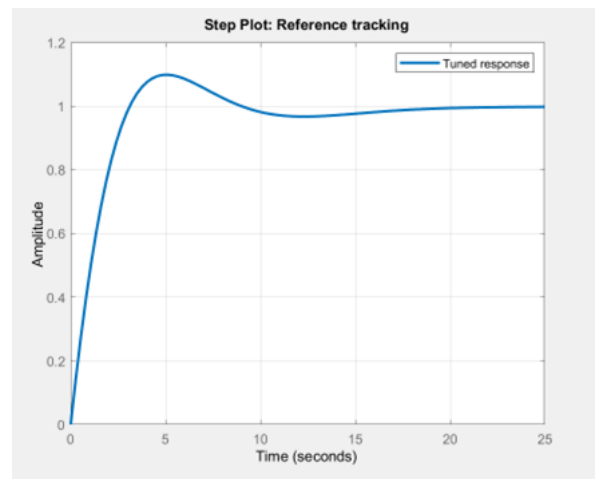


Figure 8: Tuned Response of the ETS plant.

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	7.4369
Ki	0.99273
Kd	13.9282
Tf	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	2.29 seconds
Settling time	15.8 seconds
Overshoot	9.85 %
Peak	1.1
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	69.2 deg @ 0.66 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Figure 9: Controller Parameters.



**IV. PID BASED CONTROL SYSTEM TEST SETUP**

**A. PLC based Control System Setup**

Brick-style controller with embedded inputs and outputs based on MicroLogix 1500 series controllers from Rockwell Automation has been used for the PID loop implementation. MicroLogix series controllers come with 14 digital inputs and 8 digital outputs as embedded inputs and outputs. To implement the PID loop, the controller needs analog input and analog outputs. Hence, an analog input module and an analog output model have been considered as mentioned in figure 11 & figure 12.



Figure 10: PLC for PID loop implementation

The analog input module with part number 1769-IF4 Allen-Bradley has been considered which offers 2-channel, non-isolated, unipolar voltage/current analog input signal with 12-bit resolution and data range of 0 to 65535 bits. To interface the RTD sensor with the analog input module, the analog signals have been configured to take 4 to 20 mA current input signal as shows in Figure 6.



Figure 11: Analog input module configuration to take 4 to 20 m A input signal from the RTD sensor

The analog output module with part number 1769-OF4 Allen-Bradley has been considered which offers 2-channel, non-isolated, unipolar voltage/current analog output signal with 12-bit resolution and data range of 0 to 65535 bits. To interface the control valve with the analog output module, the analog signals have been configured to 4 to 20 mA current output signal as shown in Figure 8.



Figure 12: Analog output module configuration to send 4 to 20 m A output to control valve

**B. PID loop Implementation**

By modifying the control outputs, proportional-integral-derivative (PID) control enables the process control to precisely maintain the setpoint. All of the logic required to implement proportional/integral/derivative (PID) control is combined in a PID function block used for this experiment and the proportional-integral-derivative (PID) logic's inputs and outputs have been configured accordingly. The PID functional block used in this experiment processes the control loops to determine an error value as the difference between a desired setpoint and a measured process variable to control the physical attributes like temperature in this case. The controller functional block is used to alter the control variable in an effort to reduce the error over time. The terms utilized in the calculation are proportional (P), integral (I), and derivative (D) terms where the proportional (P) term alters the present values of the error, integral (I) term takes care of the past values of the error while based on the error's present rate of change, potential values for the error in the future are altered by the derivative (D) term. By tuning the proportional, integral and derivative terms, the process variables temperature and flow rate through the control valve are controlled.

The PID ladder used for this experiment is known as IPIDCONTROLLER function ladder and is shown in figure 13 with the arguments with the details of arguments is given in table 2.

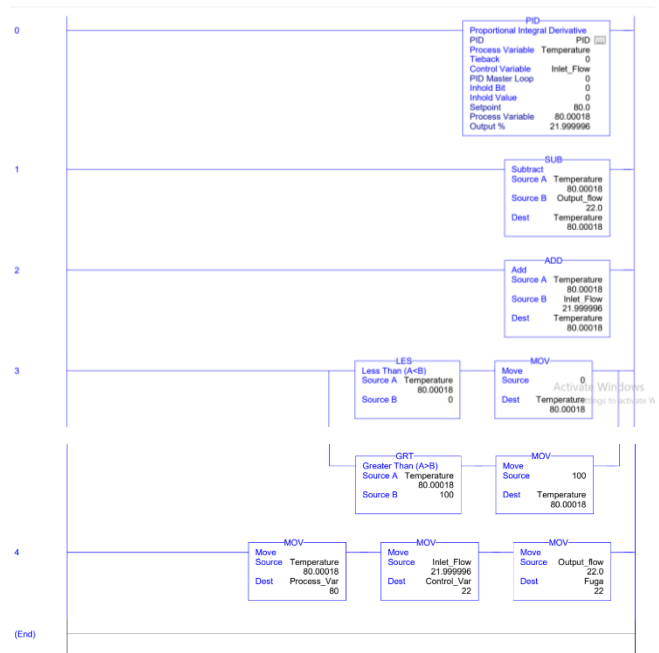


Figure 13: Ladder Logic Diagram

Parameter	Parameter Type	Data Type	Description
			Function block enable
EN	Input	BOOL	TRUE = Execute function.
			FALSE = Do not execute function. Applicable to Ladder Diagram programs.



Process	Input	REAL	Process value, which is the value measured from the process output.
Setpoint	Input	REAL	The set point value for the process.
			Feedback signal, which is the value of the control variable applied to the process.
Feedback	Input	REAL	For example, the feedback can be IPIDCONTROLLER output.
Auto	Input	BOOL	Operating modes of PID controller: TRUE = Normal operation of PID. FALSE = Output tracks Feedback.
Initialize	Input	BOOL	A change in value (TRUE to FALSE or FALSE to TRUE) causes the controller to eliminate any proportional gain during that cycle. It also initializes AutoTune sequences.
			Gains PID for IPIDCONTROLLER.
Gains	Input	GAIN_PID	Use the GAIN_PID data type to define the parameters for the Gains input.
AutoTune	Input	BOOL	TRUE = Autotune. FALSE = No Autotune. AutoTune parameters
ATParameters	Input	AT_Param	Use AT_Param data type to define the parameters for the ATParameters input.
Output	Output	Real	Output value from the controller.
AbsoluteError	Output	Real	Absolute error (Process - SetPoint) from the controller.
			Warning for the AutoTune sequence. Possible values are: 0 = No auto tune done. 1 = In auto tune mode.
ATWarnings	Output	DINT	2 = Auto tune done. -1 = Error 1: Input automatically set to TRUE, no auto tune possible. -2 = Error 2: Auto tune error, the ATDynamSet expired.

OutGains	Output	GAIN_PID	Gains calculated from AutoTune Sequences. Use GAIN_PID data type to define the OutGains output.
ENO	Output	BOOL	Enable output. Applicable to Ladder Diagram programs.

Table 1 Arguments details of PID controller function block used for this experiment.

The PID loop is implemented using the functions mentioned in Table 1. The raw value coming from the temperature transmitter is converted to the real value for processing in the PLC system. After getting the real value, scaling is performed on the real number to perform computations on the signal, which is a current output from a sensor to make it meaningful to the operator in the control room in terms of engineering units. The output from the scalar is fed to the IPIDCONTROLLER functional ladder and PID parameters are set in HIM. The output from the PID functional ladder is scaled again to convert the variable to real number and a 4 to 20 mA output signal is generated which is sent to the actuator of the control valve.

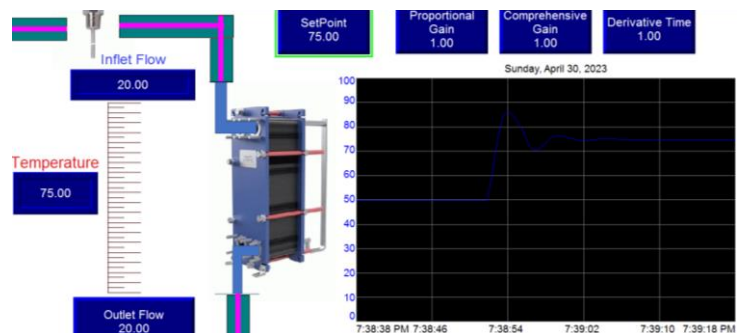


Figure 14: Functional HMI of PID loop implemented in Rockwell Automation-based PLC system

## V. CONCLUSION

This research paper examines PID based control approach to controlling the output fluid temperature using a case study of a heat exchanger system in an ETS station. The response of individual transfer functions as well as overall transfer function against the step signal has been studied and PID control algorithm has been implemented to improve the settling time, rise time, percentage overshoot and the system stability using MATLAB. The system has been implemented using Rockwell based PLC and SCADA system. It has been concluded that PID control significantly improved the response of a heat exchanger.





**ACKNOWLEDGMENT**

**REFERENCES**

- [1] A. Almeida. Low delta-T syndrome diagnosis and correction for chilled water plants. Master dissertation, Texas A&M University, 2014.
- [2] S. Taylor. Degrading chilled water plant delta-T: Causes and mitigation. ASHRAE Transactions; Atlanta Vol. 108, 2002.
- [3] F.W. Yu, K.T. Chan, Environmental performance and economic analysis of all-variable speed chiller systems with load-based speed control, Applied Thermal Engineering, Vol. 29, Issues 8–9, pp. 1721-1729, 2009.
- [4] M. Dai, X. Lu, P. Xu. Causes of low delta-T syndrome for chilled water systems in buildings. Journal of Building Engineering, Vol. 33, 2021.
- [5] D. Gao, S.W. Wang, K. Shan, C.C. Yan. A system-level fault detection and diagnosis method for low delta-T syndrome in the complex HVAC systems, Applied Energy, Vol. 164, pp. 1028-1038, 2016.
- [6] D. Gao, S.W. Wang, K. Shan. In-situ implementation and evaluation of an online robust pump speed control strategy for avoiding low delta-T syndrome in complex chilled water systems of high-rise buildings, Applied Energy, Vol 171, pp. 541- 554, 2016.
- [7] C. Yan, X. Yang, Y. Xu. Mathematical explanation and fault diagnosis of low delta-T syndrome in building chilled water systems. Buildings 8(7), 84, 2018.
- [8] S. Li, J. Gao, Y. Wei, H. Zhang, L. Wang and J. Miao, "Temperature Control and Energy Saving System for Communication Base Station Based on Fuzzy PID Algorithm," 2022 34th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Hefei, China, 2022, pp. 1702-1707, doi: 10.1109/CCDC55256.2022.10033920.



# Electric and Hybrid Vehicles

Mario Alberto Gonzalez de Leon  
Texas A&M University- Kingsville  
TAMUK  
Kingsville, Texas, USA  
mario.gonzalez\_de\_leon@students.tamuk.edu

---

**Abstract**— This article seeks to investigate, through a narrative investigation, the relationship between electric cars and their needs so that they are more efficient. In this webinar, the Doctors explain clearly and concisely how technology can be used for its use in the evolution of electric cars, what advances have been made at present, as well as the demand for electric cars to be more efficient.

**Keywords** (IEEE, Electric Cars, Battery, Cells, Autonomy electric Car, Hybrids, Webinars, HEV, EV).

---

**Resumen**— Este artículo busca indagar, a través de una investigación narrativa, la relación entre los autos eléctricos y sus necesidades para que sean más eficientes. En este webinar, los Doctores explican de forma clara y concisa cómo se puede utilizar la tecnología para su uso en la evolución de los coches eléctricos, qué avances se han realizado en la actualidad, así como la demanda de que los coches eléctricos sean más eficientes.

**Palabras clave** (IEEE, Coches eléctricos, Batería, Celdas, Autonomía coche eléctrico, Híbridos, Webinars, HEV,

---

## I. INTRODUCTION

The first pure electric vehicle was invented between 1832 and 1839 by Scottish businessman Robert Anderson. Even before the Diesel or Otto cycle engines of conventional vehicles were developed [1]. This type of vehicle continued to be developed throughout the 19th and early 20th centuries. Due to the technical limitations of energy storage systems and the great technological development of ICMEs (internal combustion engines) of the time, electric vehicles definitively stagnated their progress in 1920.

Vehicles with internal combustion engines offered comfort, speed and great autonomy to travel long distances without having to refuel on many occasions.

The human being has achieved in the last centuries an immense technological development that has allowed a great improvement in the quality of life for millions of people. In countless sectors such as transportation, fossil fuels have brought countless possibilities: bringing people closer, traveling previously insurmountable distances, heating homes or providing electricity for all kinds of uses are some of these examples.

All these advantages have triggered a great increase in the burning of fossil fuels on the planet. This burning of fuels causes large CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere and

other varieties of so-called GHG (greenhouse gases), which are responsible for the increase in global temperature. In addition, these gases represent a risk to people's health, being the cause of respiratory diseases in cities with high pollution rates and reducing their life expectancy.

These circumstances make climate change one of the biggest and most complicated challenges that human beings must face. Despite this, pollution is not the only problem brought about by the large increase in the consumption of fossil fuels.

In this context of search for alternatives and since the transport sector is one of the most dependent on fossil fuels and the cause of approximately 60% of pollution, the electric vehicle emerges as an alternative in mobility to the increase in fuel prices. or other factors.

## II. AUTONOMY

Autonomy has always been one of the great problems of the electric car, however it is increasingly common to see figures that exceed 400-500 km among the latest generation electric cars.

The electric car poses serious dilemmas when it comes to increasing autonomy, because although the improvement in efficiency, aerodynamics and other sections allows kilometers to be scratched, the key to increasing autonomy lies in the use of larger batteries. However, this solution has

two big problems: weight and price. Offering great autonomy can play against certain electric cars, since excess weight and cost can be unaffordable.

The ideal motor vehicle would be:

- Affordable-price similar or lower than gasoline/diesel-powered vehicles (cars and trucks)
- Safe
- Convenient: Charge time similar to fuel up gasoline; convenient to charge anytime anywhere.
- Low maintenance
- Long life
- Environment friendly

#### A. Hybrids

Also called parallel hybrids. (Figure 1) The motor stops running when stopped and provides additional power when accelerated. The electrical system also has auto-start and auto-stop functions. Gasoline consumption decreasing by approximately 10% [2]. Examples of light hybrid vehicles are the Honda Civic Hybrid and the BMW 7-series hybrid.

The latest version of the Honda model has a 20-kW lithium battery with a capacity of 100 kAh and a 17-kW electric motor. In these models you cannot talk about electric autonomy, because with the exception of some models that are capable of disconnecting the combustion engine at moderate speed, they cannot be driven by battery power.



Figure 1 Hybrid Car

#### B. HEV

Like light hybrid vehicles, its only source of energy is fuel and it does not allow charging of its battery through connection to the electrical network. The battery works intermittently in charge and discharge cycles and does not store a large amount of energy. It is recharged by means of excess energy produced by the gasoline engine and by means of regenerative braking.

The traction electric motor is reconnected as a generator during braking and the power terminals become energy suppliers which are conducted to an electrical load; it is this

charge that provides the braking effect. Regenerative braking technology harnesses kinetic energy to charge the batteries each time the driver hits the brakes.

The reduction in gasoline consumption in these models ranges from 25% to 40%. Hybrid systems minimize idling and provide an integrated electric start, increasing the vehicle's ability to start and accelerate.

Its beginnings date back to the beginning of the 20th century. Porsche developed an electric vehicle relevant to their future operation. It used an internal combustion engine to drive an electric generator that powered coupled motors at each wheel.

This vehicle managed to travel close to 65 km in electric mode [3]. Examples of hybrid vehicles are the Ford Fusion Hybrid and the Toyota Prius. The difference with light hybrid vehicles is that they have the ability to activate the electrical system 9 voluntarily. [4]. The Ford Fusion Hybrid uses a 1.4kWh lithium-ion battery and is capable of traveling in electric mode up to 130 km/h. In electric mode it allows a minimum consumption of 19.9 km/L and a range of 3.2 km [5SP].

The strong point of hybrid vehicles is that through the electric motor they manage to increase the efficiency of the vehicle and therefore reduce fuel consumption. At the same time that they preserve the comforts of conventional vehicles. The disadvantages are that the initial price is usually higher than that of a conventional utility vehicle and that this class of vehicle does not definitively eliminate dependence on fossil fuels.

### III. BATTERY ELECTRIC VEHICLES (EVS)

They are powered solely by an electric motor. The power source comes from the electricity stored in the battery that must be charged through the network. Although they also incorporate other charging technologies such as regenerative braking.

The operation and mechanics of the EV is much simpler than in conventional vehicles. Fundamentally it is based on one or more electric motors mechanically coupled to the vehicle's axles.

These electric motors are controlled with variable frequency drives and other methods of power electronics that execute the signals received by the driver when stepping on the accelerator. The volume of the engine is also considerably reduced compared to combustion engines.

#### A. Advantages and disadvantages of electric vehicles

- The great disadvantage of EVs for their market position is their price. Lithium batteries, despite their high energy density, are still very expensive and this affects the final price. This is expected to

change in the short term with the mass production of the batteries. Although the electricity expenses per year are also considerably less than the fuel expenses of conventional vehicles and help to amortize the investment.

- The great advantage of electric vehicles compared to vehicles with MCI is that they do not produce any type of pollution in the place or at the time of use. Despite this, they can produce pollution indirectly, if the electricity used to charge their batteries has not been produced by clean energy sources. With all this, it allows greater independence from fossil fuels, and if it happens that its generation source is renewable, its total cycle of emissions will be zero.

Currently, the bottleneck for EVs is the battery. Its autonomy and the time required for recharging are the main disadvantage compared to conventional vehicles in prolonged use. As the batteries are still very heavy, the total weight is greater and gives less autonomy.

### B. Battery

There are currently several relevant types of commercial batteries. These are some of them: acid-lead, nickel-cadmium, nickel-metal hydride and lithium ion. Figure 2

The main parameters measured when analyzing the viability of the materials used in batteries are the specific energy (Wh/kg), the energy density (Wh/l), the number of life cycles and the voltage per cell. The first two parameters are especially important, since they determine the mass and volume that the battery to be used will possess. The number of life cycles defines the useful life that the product will have and the voltage per cell is crucial in the performance required by electrical equipment.

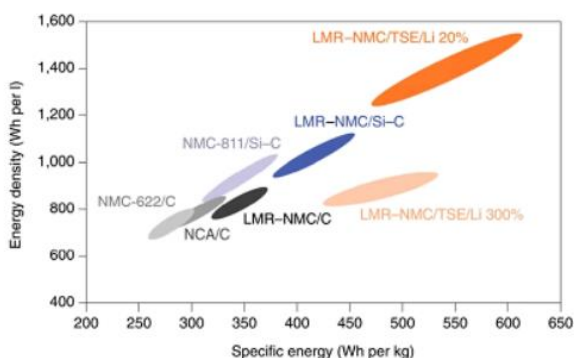


Figure 2 Types of Battery

Due to its characteristics and its relationship with those of its competitors, lithium batteries are currently the most attractive to automobile manufacturers among other industries. They have a greater storage capacity in smaller dimensions and less weight, which is more weighted by the electric car industry than its high price due to the scarcity of material and its environmental danger.

Despite the great progress that lithium batteries represent, this part of the electric vehicle is the one that entails the most obstacles to its development and expansion. Electric vehicles have great disadvantages compared to those with internal combustion engines due to the autonomy of their batteries and their subsequent charging time. For this reason, the field of batteries represents the sector with the greatest investment and research within the electric vehicle.

Through new production methods, it is expected to reduce the cost of batteries to 70% of their price, reduce the weight of their batteries by 60%, as well as increase their life cycles by the 2030s, compared to 2020 values. In this improvement of the characteristics, the search and application of new materials such as the example of graphene will have an important weight.

This material is achieving great results for batteries in its laboratory phase and could greatly increase the viability of the electric vehicle and therefore its expansion.

Meanwhile, the doctor exposes the following points that must be worked on at this time in order to improve in the area of opportunity

- Batterie is the most expensive components (More that car itself) and they need a second chance.
- The single most vulnerable piece in an EV- most concerned about safety, fire, explosion of EV batteries.
- Producing batteries induce environment pollution; use of heavy metal and rare-earth material, acids, etc.
- EVlife-cycle environment-friendliness needs tp be thoroughly studied
- Solid-state batteries may be the future but still have a long way to go.

### IV. CONCLUSION AND DISCUSSION

This scenario is allowing the development of the electric vehicle in giant steps. Large companies such as Tesla Motors or BMW are achieving innovative and highly functional models, which even surpass conventional vehicles in many aspects.

In particular, it is worth noting the investment by Tesla Motors to minimize the costs of electric vehicle batteries and maximize their capacity. The innovation with the greatest potential for a definitive boost to the electric vehicle may come from graphene batteries.

American researchers claim to have obtained batteries made from this material, which has ideal properties, such as an energy density much higher than that of lithium, great lightness and high conductivity. Also, when it comes to

testing this carbon, it is a very abundant raw material. The researchers assured that their batteries would increase the autonomy of the EV up to 1000 km and its charge would be completed in 8 minutes, in addition to lowering the price with fatigue.

#### ACKNOWLEDGMENT

I thank the university in Kingsville Texas for allowing me to do my master's degree in Mechatronics and the professors who are committed to the students, giving their best to create great engineers, masters and doctors.

#### REFERENCES

[1] G. Eas Wikipedia. Wikipedia.com. [Online].  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_el%C3%A9ctrico)

- [2] IDAE, "Mapa Tecnológico de Movilidad Eléctrica," Observatorio Tecnológico de la Energía, Ministerio de Industria, Energía y Fomento, Informe 2018.
- [3] U.S. Department of Energy. (2022) Fuel Economy Web site. [Online].  
[https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hpev\\_spanish.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hpev_spanish.pdf)
- [4] University Houston <https://uh.edu> [Online]  
<https://uh.edu/uh-energy/ev-webinar-series/content/electric-hybrid-vehicles-rajá-presentation.pdf>
- [5] Christ, J. (2021, julio 30). *Webinar on electric and hybrid vehicles*. Proceedings of the IEEE.  
<https://proceedingsoftheieee.ieee.org/webinar-on-electric-and-hybrid-vehicles/>
- [6] Hybrid electric vehicles. (s/f). Energy.gov. Recuperado el 8 de diciembre de 2022, de  
[https://afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_basics\\_he](https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_he)