



Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

Reporte de Residencia Profesional

Diagnóstico Inteligente Aplicado a Plantas de Producción de Biodiesel

Asesor Externo: Dr. Héctor Ricardo Hernández de León

Asesor Interno: M.C. José Rafael Sánchez Maldonado

Autor: **Edgar Ameth Cruz Castro**

Área: Ingeniería en Electrónica

Tuxtla Gutiérrez Chiapas, diciembre del 2011

Contenido

1. Introducción.....	3
2. Planteamiento del problema.....	3
3. Objetivos.....	3
4. Justificación.....	4
5. Alcances.....	4
6. Estado del arte.....	5
7. Marco Teórico.....	5
7.1 Orígenes del biodiesel.....	5
7.1.1 Qué es el biodiesel.....	6
7.1.2 Transesterificación.....	7
7.1.3 Ventajas del uso del biodiesel.....	8
7.1.4 Desventajas del uso del biodiesel.....	9
7.1.5 Propiedades físico-químicas del aceite.....	9
7.1.6 Propiedades físico-químicas del biodiesel.....	10
7.2 Metanol.....	10
7.2.1 Propiedades.....	10
7.2.2 El metanol en el Biodiesel.....	12
7.3 Catalizador.....	13
7.4 Sensores.....	13
7.4.1 PT100.....	13
7.4.2 PH.....	15
7.4.3 Protocolo inalámbrico ZigBee.....	17
7.4.3.1 Aplicaciones de ZigBee.....	20
7.4.3.2 Xbee.....	22
7.4.4 Microcontrolador Arduino.....	25
7.4.5 Inteligencia Artificial.....	25
7.4.5.1 Sistema Experto.....	25
7.4.5.2 Lógica Difusa.....	27
7.4.5.3 Teoría de control.....	30
7.4.5.4 Sistemas dinámicos.....	30
8. Metodología.....	31
9. Resultados.....	39
10. Conclusiones.....	41
11. Recomendaciones.....	41
11. Bibliografía.....	42

1. Introducción

Utilizar productores naturales o residuos vegetales como materia prima para generar energías, en nuestra época, cada vez es más común. Teniendo como prioridad lograr un menor impacto ambiental en el uso de combustibles.

Cada vez es más común mencionar el biodiesel como medio alternativo de combustibles derivados del diesel. Reduciendo la contaminación por la emisión de gases nocivos hasta casi en un 50%.

Para el proceso de producción de biodiesel es necesario diferentes procesos de sensado y control de las diversas variables que están implícitas en el sistema. Por mencionar dos variables tendríamos el PH y la Temperatura.

El uso de sensores en el proceso de obtención de biodiesel tiene como finalidad reducir los costos al efectuarse la interacción en el sistema. Mediante la reducción del número de errores, con lo que se conseguirá un mejor control de la información así como mejor desempeño en el tiempo de medición.

Así mismo la aplicación de sistemas de inteligencia artificial principalmente la lógica difusa, ayuda a una mejor comprensión del sistema por parte del recurso humano. Ya que este tipo de lógica se adapta mejor al mundo real en el que vivimos, con expresiones cuantitativas (arriba = “un poco, mucho, muy”).

Una cosa muy útil de este tipo de combustibles, es que no es necesario hacer ninguna modificación a los motores, tomando en cuenta muchas pruebas hechas en diferentes tipos de transporte, como camiones, ómnibus, automóviles, etc.

2. Planteamiento del problema

Los niveles de contaminación en nuestra época se están elevando de manera constante. Y ya algunos países están tomando la iniciativa para buscar energías renovables y capaces de reducir estos niveles de polución.

El biodiesel representa muchas ventajas a comparación del diesel ordinario para ser usado como sustituto en motores de combustión interna. Por otra parte el proceso de su elaboración requiere de regular ciertos parámetros, por medio de dispositivos electrónicos, principalmente sensores, para que la reacción química culmine con éxito.

3. Objetivos

Análisis y verificación del comportamiento de las variables características en el proceso del

funcionamiento de la planta para la producción de biodiesel.

Simulación e implementación de un circuito digital basado en microcontroladores, implementados en adquisición de datos.

Aplicar lógica difusa al sistema de adquisición de datos y control del sistema para regular las variables presentes en el proceso de obtención del biodiesel.

4. Justificación

El uso de transportes es vital para el ser humano. Pero las emisiones de gases contaminantes provocados por los combustibles de origen fósil, son cada vez mayores por lo que es urgente usar otro tipo de combustibles, principalmente el biodiesel, para reducir la polución.

Conforme se usa una mayor cantidad de combustibles de origen renovable, decrece el uso de combustibles fósiles.

El uso de fuentes de energía renovable mediante la producción agrícola, genera para la sociedad funciones de empleo adicionales.

El uso de sistemas inteligentes aplicados al proceso de producción de biodiesel, facilita el manejo y comprensión de dicho sistema.

5. Alcances y limitaciones

La correcta operación del proyecto se podría fomentar en otras instituciones tecnológicas para adentrarse en la investigación de nuevas formas y métodos cada vez menos nocivos para el medio ambiente, en la generación de combustibles renovables utilizando tecnología y técnicas avanzadas.

En dicho proyecto al mismo tiempo encontramos algunas limitaciones:

El tiempo necesario para la obtención de los materiales para completar dicho proceso fue un poco lento.

Dificultad en el manejo de los componentes químicos para la generación de biodiesel.

No se pudo encontrar un modo eficiente de distribuir los componentes de manera automática debido al tiempo.

Alto costo de sensores así como los químicos utilizados en el procedimiento de obtención de

biodiesel.

6. Estado del Arte

Numerosos documentos como libros, reportes, artículos, revistas, abordan el tema del biodiesel, en particular, el mecanismo de la reacción de transesterificación, cantidades de los reactivos, ventajas del biodiesel y descripción de cómo producirlo.

Sin embargo, en lo referente a un análisis del proceso, es decir, la manera en cómo se utilizaran los distintos tipos de procesos electrónicos. La planta de producción de biodiesel ubicada en la provincia de Girona, Catalunya al noreste de España con una capacidad de producción de 150, 000 Tn/año. En la que muestra el proceso de producción, consiguiendo un 97% de purificación del biodiesel automatizado y sensado por sistemas inteligentes.

7. Marco Teórico

7.1 Orígenes del Biodiesel

El uso del aceite como combustible, se remonta al año de 1900, en aquella “Exposición Universal de París”, cuando el inventor alemán Rudolf Diesel presentó un motor que funcionaba a base de aceite de cacahuete. Esta invención llamó la atención de muchos, pero debido al fuerte desarrollo de la petroquímica no se lograron avances relevantes.

Sin embargo, durante la primera y segunda guerra mundial, se recurrió a esta opción a causa del desabastecimiento de productos petrolíferos que se presentó. Después de la segunda guerra mundial, el avance tecnológico del campo de los motores diesel se intensifica y el uso de los aceites se vuelve a dejar en el olvido.

En el año de 1973, cuando se presenta la primera crisis de petróleo, se plantea el ahorro de energía y la utilización de recursos energéticos renovables. Entonces, se reinician las investigaciones sobre los biocombustibles derivados de aceites.

Como solución a estos problemas, se analizaron varias alternativas, las cuales fueron:

- ✂ Crear motores completamente nuevos para los combustibles alternativos
- ✂ Modificar los motores actuales para que se adapten a los combustibles alternativos.
- ✂ Utilizar los motores actuales, modificando los combustibles alternativos.

La tercera opción es la que se ha difundido mayormente, teniendo como objetivo principal

reducir la viscosidad de los aceites vegetales hasta valores cercanos de los combustibles de origen fósil y poder utilizarlos en motores diesel.



Figura 7.1 Rudolf Diesel

7.1.1 ¿Qué es el Biodiesel?

Ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y grasas animales”.

El Biodiesel es un combustible elaborado a partir de aceites vegetales o grasas animales que conlleva a la reducción, hasta en un 70 por ciento, de las emisiones contaminantes si se emplea en motores de combustión interna.

El aceite para producir biodiesel puede provenir de varias fuentes:

✦ Frutos y semillas oleaginosas: maíz, algodón, cáñamo, linaza, mostaza, girasol, cacahuate, colza, ricino, jojoba, coco, palma africana y piñón.

✦ Aceite comercial sin usar.

✦ Aceite utilizado en restaurantes y cocina (el cual debe someterse a un pretratamiento para eliminar los restos de comida, humedad y otros).

Los aceites vegetales usualmente contienen ácidos grasos libres, fosfolípidos, esteroides, agua y otras impurezas. A causa de esto, el aceite no puede ser usado como combustible directamente en el motor. Para solucionar estos problemas, el aceite requiere una modificación química principalmente por transesterificación, pirólisis o emulsificación.

Entre ellas, la transesterificación es el proceso más importante para producir un combustible a partir de aceite vegetal, que sea limpio y no ocasione daños ambientales.



Figura 7.2 Diesel

7.1.2 Transesterificación

El proceso de convertir el aceite o grasas en biodiesel, es llamado Transesterificación o alcoholólisis. En términos más técnicos, es el desplazamiento del grupo alcoxi (grupo alquilo unido a un átomo de oxígeno, RO^* donde R es el grupo alquilo) de un tipo de éster por otro alcohol, en un proceso similar a la hidrólisis, excepto, que el alcohol es usado en lugar de agua.

A través del proceso de transesterificación de los aceites vegetales y su reacción con un alcohol (normalmente, metanol), se obtienen los ésteres metílicos derivados, que son compuestos oxigenados con características similares en su comportamiento a las del diesel, principalmente en lo referente a la viscosidad, temperatura de ebullición, residuo carbonoso, número de cetano, etcétera.

La reacción química de transesterificación consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado.

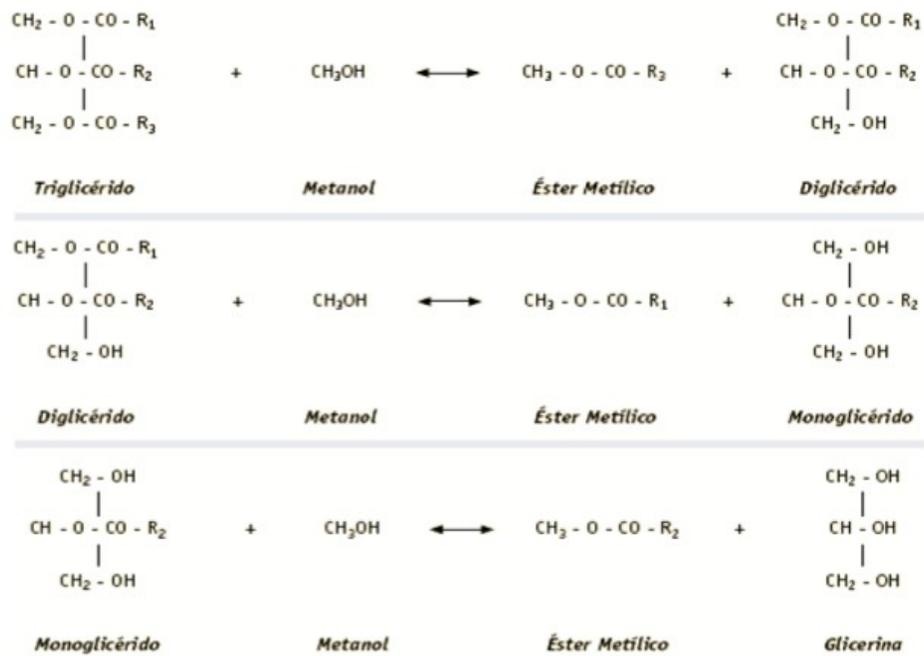


Figura 7.3 Fórmula Transesterificación

7.1.3 Ventajas de uso del Biodiesel

El biodiesel ha tomado gran renombre debido a que es capaz de complementar (en diferentes porcentajes) o reemplazar al diesel convencional derivado de fósiles.

La gran diferencia entre estos dos es la cantidad de emisión de gases dañinos, entre los cuáles, los más importantes son:

∞ Monóxido de carbono (CO): con el uso del biodiesel en los motores, se alcanza a reducir hasta en un 50% de lo que produce el diesel. Éste agente contaminante se concentra principalmente en las ciudades.

∞ Dióxido de Carbono (CO₂): toda emisión de esta polución es reabsorbido por los vegetales. Por lo tanto, es considerado como renovable.

Dióxido de Azufre (SO₂): la manifestación de este agente contaminante se descarta totalmente debido a que, el biodiesel no contiene azufre.

Cabe mencionar que el Dióxido de Azufre es altamente nocivo para la salud del ser humano así como para la vegetación.

Hidrocarburos⁸. Benceno: altamente cancerígeno. El biodiesel no contiene ningún porcentaje.

Se ha demostrado que el uso del biodiesel logra reducir hasta en un 48% la emisión de estos gases.

Además, posee otras características que lo hacen la mejor alternativa en energía renovable:

☞ Es compatible con la mayoría de los motores diesel. ☞ Condiciones de almacenamiento más seguras (punto de inflamación 100°C más elevado que el diesel).

☞ Producción a partir de una fuente renovable.

7.1.4 Desventajas del uso del biodiesel

Aunque su utilización es compatible con la mayoría de los motores diesel, los inconvenientes de su uso son:

☞ Debido a que el biodiesel libera una menor cantidad de energía en la combustión (aproximadamente 10%), el consumo de carburante se ve incrementado y la potencia del vehículo reducida.

☞ La calidad del arranque en frío se degrada, puesto que la densidad y la viscosidad del biodiesel es mayor.

☞ La cantidad de óxidos de nitrógeno emitida es superior y por tanto se necesita un sistema de postratamiento especial para respetar las normas europeas de polución.

☞ Actualmente, este combustible no es reconocido como una alternativa por los constructores y por tanto los motores no han sido optimizados para su uso.

☞ El costo de la producción del litro de biodiesel (0,5€9) es más elevado que del litro de diesel (0,2-0,25€), lo que constituye un handicap muy importante.

7.1.5 Propiedades fisico-químicas del aceite

Densidad: Es una constante que puede ser afectada por la edad, rancidez y cualquier tratamiento especial que se le haga al aceite. Esta es la medida que ocupa determinado peso de aceite que se expresa en g/mL.

Índice de refracción: el índice de refracción depende de la composición de la muestra.

Generalmente se mide a 20, 25 o 40°C, tomando como referencia la línea D del sodio, realizando como mínimo dos mediciones. Se denota como n_D.

Humedad: se define como la relación de masa del agua presente en el aceite y la masa dada de material respecto a su peso anhidro.

Acidez: se entiende por índice de acidez, o valor ácido, los mg de KOH necesarios para saturar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de muestra.

Índice de saponificación: es el número de mg de KOH requeridos para saponificar 1 g de aceite.

Índice de Yodo: se define como el número de gramos de Yodo absorbidos por 100 g de aceite, permite caracterizar la muestra dando una base para saber si es pura o se encuentra mezclada e indica el grado de insaturación que tienen las cadenas de los ácidos grasos del aceite.

Índice de peróxidos: esta prueba es empleada para cuantificar la alteración del aceite causada por el enranciamiento, este valor se expresa en metilequivalentes de peróxido por kilogramo de muestra.

7.1.6 Propiedades fisico-químicas del biodiesel

Densidad: la densidad absoluta expresa la masa por unidad de volumen, da idea del contenido en energía del combustible. Se midió en g/cm³.

Índice de refracción: el índice de refracción depende de la composición de la muestra.

Generalmente se mide a 20, 25 o 40°C, tomando como referencia la línea D del sodio, realizando como mínimo dos mediciones. Se denota como n_D.

Punto de inflamación: se define como la mínima temperatura a la cual los vapores originados en el calentamiento a una cierta cantidad de muestra de combustible se inflama cuando se ponen en contacto con una llama piloto.

Poder calorífico: es la cantidad de calor producida por la combustión completa de 1 kg de combustible.

Viscosidad cinemática: para medir este parámetro se puede utilizar un viscosímetro de Ostwald, es uno de los métodos más sencillos.

Contenido de agua: se define como la relación de masa del agua presente en el aceite y la masa dada de material respecto a su peso anhidro.

7.2 Metanol

También conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es CH₃OH.

7.2.1 Propiedades

La estructura química del metanol es muy similar a la del agua, con la diferencia de que el ángulo del enlace C-O-H en el metanol (108.9°) es un poco mayor que en el agua (104.5°), porque el grupo metilo es mucho mayor que un átomo de hidrógeno.

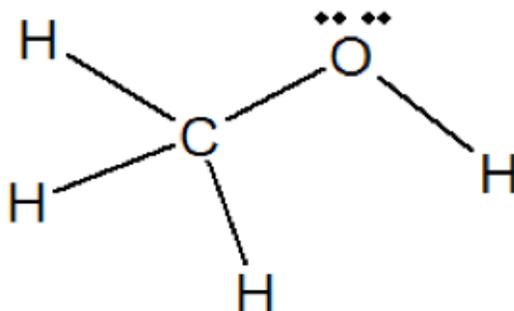


Figura 7.4 Estructura química del Metanol

En condiciones normales es un líquido incoloro, de escasa viscosidad y de olor y sabor frutal penetrante, miscible en agua y con la mayoría de los solventes orgánicos, muy tóxico e inflamable. El olor es percibido a partir de los 2 ppm.

Es considerado como un producto petroquímico básico, a partir del cual se obtienen varios productos secundarios.

Las propiedades físicas más relevantes del metanol, en condiciones normales de presión y temperatura, se listan en la siguiente tabla:

Tabla 7.1 Propiedades fisico-químicas del metanol

Peso Molecular	32 g/mol
Densidad	0.79 kg/l
Punto de fusión	-97 °C
Punto de ebullición	65 °C

De los puntos de ebullición y de fusión se deduce que el metanol es un líquido volátil a temperatura y presión atmosféricas. Esto es destacable ya que tiene un peso molecular similar al del etano (30 g/mol), y éste es un gas en condiciones normales.

La causa de la diferencia entre los puntos de ebullición entre los alcoholes y los hidrocarburos de similares pesos moleculares es que las moléculas de los primeros se atraen entre sí con mayor fuerza.

En el caso del metanol estas fuerzas son de puente de hidrógeno, por lo tanto esta diferencia es más remarcada.

El metanol es considerado como un producto o material inflamable de primera categoría; ya que puede emitir vapores que mezclados en proporciones adecuadas con el aire, originan mezclas combustibles.

El metanol es un combustible con un gran poder calorífico, que arde con llama incolora o transparente y cuyo punto de inflamación es de 12.2°C.

Para finalizar con las propiedades y características podemos decir que el metanol es un compuesto orgánico muy importante ya que el grupo hidroxilo se convierte con facilidad en cualquier otro grupo funcional.

Así el metanol se oxida para obtener formaldehído (formol) y ácido fórmico; mientras que por su reducción obtenemos metano. Igualmente importantes son las reacciones de éter y esterificación.

7.2.2 El metanol en el biodiesel

Para producir biodiesel, el alcohol es el que reacciona con el aceite, separando los ésteres del glicerol. El alcohol comúnmente más usado en la obtención de biodiesel es el metanol, aunque otros alcoholes, tales como etanol, isopropanol y butil pueden ser empleados.

Un factor de calidad clave para elegir el alcohol es el contenido de agua. El agua interfiere con la reacción de transesterificación y puede resultar en una pobre conversión y altos niveles de jabón, ácidos grasos libres y triglicéridos en el combustible final.

Desafortunadamente los alcoholes más puros son más costosos. Sin embargo, el metanol, que no forma azeótropos¹⁰ con el agua, puede tener un precio bajo y cumplir con un bajo contenido de agua también.

El proceso de transesterificación para producir biodiesel, dependiendo del alcohol usado, se le puede nombrar de manera diferente. Haciendo uso de metanol se le conoce como metanólisis, en el caso del etanol, es conocido como etanólisis. De la misma forma el resultado de la reacción de transesterificación puede llamarse éster metílico, si metanol es usado, o bien éster etílico si se utiliza etanol.

La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanólisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya un mayor contacto entre las moléculas reaccionantes.

Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanólisis esta emulsión desciende rápidamente formándose una capa rica en glicerol, quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico. En cambio en la etanólisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los ésteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéridos y diglicéridos intermedios, que

contienen tanto grupos hidróxidos polares como cadenas de hidrocarburos no polares. La presencia del metanol en el biodiesel tiene una gran influencia sobre la calidad final, ya que disminuye su poder calorífico, punto de inflamación, aumenta los depósitos carbonosos, etc.

7.3 Catalizador

Un catalizador propiamente dicho es una sustancia que está presente en una reacción química en contacto físico con los reactivos, y acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma. Por ejemplo, los que reducen la velocidad de la reacción son denominados catalizadores negativos o inhibidores. A su vez, las sustancias que aumentan la actividad de los catalizadores son denominados catalizadores positivos o promotores, y las que los desactivan son denominados venenos catalíticos.

Los catalizadores son empleados en la transesterificación para iniciar con la reacción y en aumentar la cinética de la reacción. Los catalizadores usados para la transesterificación de los triglicéridos se pueden clasificar en alcalinos, ácidos, enzimáticos o catalizadores heterogéneos, siendo los básicos homogéneos y en particular los hidróxidos los más utilizados.

Catalizadores homogéneos básicos, NaOH (también llamado soda cáustica) y KOH (también llamado potasa cáustica), son recomendados esencialmente para aceites vegetales sin usar, debido a que el contenido de agua y de ácidos grasos libres son generalmente bajo. Si el aceite presenta altos porcentajes de ácidos grasos libres, el uso de catalizadores básicos durante el proceso de transesterificación originaría la formación de jabón y agua.

La cantidad de soda cáustica necesaria para que se produzca la reacción de transesterificación, según reportes de experimentos realizados, es de 0.35% del volumen de aceite. Por su parte, la cantidad de KOH es de 0.9% del volumen de aceite.

7.4 Sensores

7.4.1 PT100

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío que puede ser medida con un termómetro. Por lo general, un objeto más "caliente" que otro puede considerarse que tiene una temperatura mayor, y si es frío, se considera que tiene una temperatura menor. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "energía cinética".

Los sensores de temperatura RTD (Resistive Temperature Detector) son los sensores de temperaturas más estables y precisas, Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

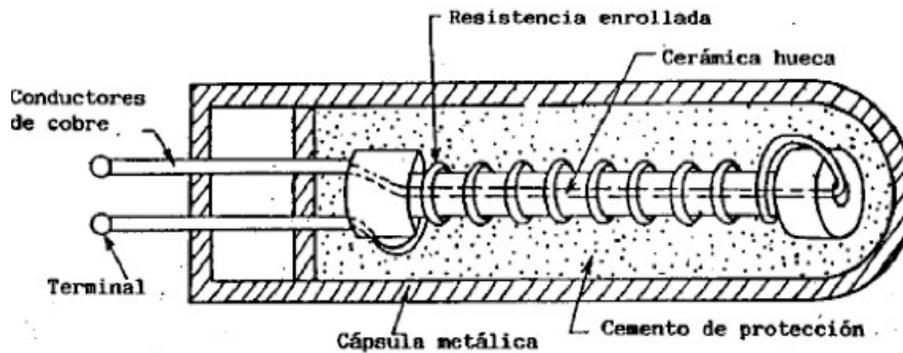


Figura 7.5 Estructura interna del sensor PT100

La ecuación que relaciona su resistencia con la temperatura es:

$R = R_0(1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 \Delta T^2 + \dots)$ Donde: R_0 = Resistencia a la temperatura de referencia (habitualmente 0 °C). $\Delta T = T^a - T$ referencia α_1, α_2 = coeficientes de temperatura. (También suelen expresarse como A, B, C, etc.).

Una aproximación bastante utilizada es la dada por la Ecuación Callendar-Van Dusen:

$$R = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)^3]$$

Los coeficientes A, B y C se encuentran estandarizados por normas como la DIN 43760. En la siguiente figura, observar la relación NO LINEAL, es decir, Sensibilidad NO constante. Así como la curva de calibración típica de una RTD (Ecuación Callendar- Van Dusen). Observar su alinealidad. El coeficiente C es cero para temperaturas superiores a 0° C.

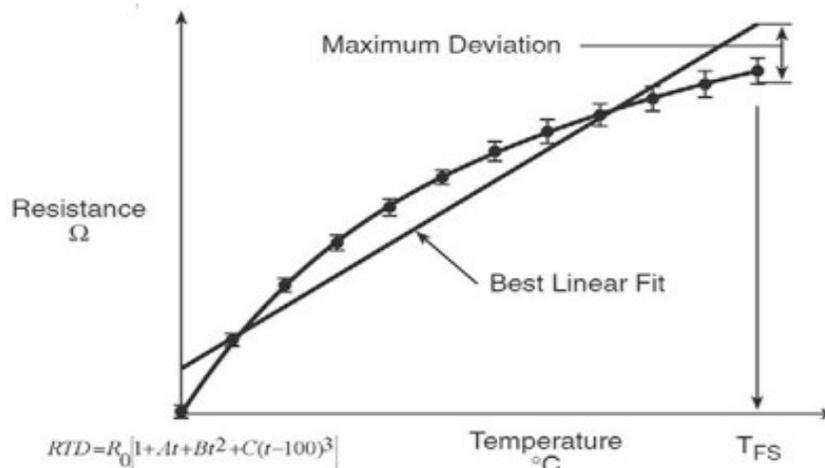


Figura 7.6 Curva de calibración típica del PT100

Los RTD suelen ir asociados a montajes eléctricos tipo puente, que responden a la variación de la resistencia eléctrica por efecto de la temperatura para originar una señal analógica de 0-20mA ó 4-20mA que es la que se utiliza en el sistema de control correspondiente como señal de medida.

7.4.2 WQ201 (Sensor de PH)

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH es la concentración de iones hidronio [H₃O⁺] presentes en determinadas sustancias. La sigla significa "potencial de hidrógeno" (pondus Hydrogenii o potentia Hydrogenii; del latín pondus, n. = peso; potentia, f. = potencia; hydrogenium, n. = hidrógeno). Este término fue acuñado por el químico danés Sørensen, quien lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno.

Elegimos este tipo de sensor por que al leer nuestra información preliminar, y otras investigaciones llegamos a la conclusión de que es un dispositivo bastante ideal a la hora de trabajar con sustancias que requieren medir el PH bajo condiciones industriales.

Son aquellos que utilizan dispositivos que transducen la actividad química del ión de hidrógeno en una señal eléctrica. En esta categoría se destacan aquellos sensores que cuentan con Electroodos de Ion Selectivo (ISE por sus siglas en inglés): de vidrio, de membrana líquida y de metal-óxido de metal. Una sección aparte merecen los ISFET (Ion Selective Field Effect Transistor).

Los ISEs pueden pensarse como una "celda electroquímica", donde uno de sus electrodos es la referencia y el otro se inserta en la solución a la cual se le quiere medir el pH. Ese segundo electrodo cuenta con una membrana, que para el caso del pH, es sensible al ión hidrógeno. Como cualquier celda electroquímica, entre los electrodos se genera una diferencia de potencial según la ecuación de Nernst, que es lo que efectivamente se mide y que está relacionada directamente con la medida de pH de la solución.

$$PH = + \left(H + \frac{F E E_0}{RT} \ln \right)$$

Donde: R es la constante de los gases y vale 8,31 °K- 1mol⁻¹, T es la temperatura en °K, F es la constante de Faraday que vale 96485 C y E₀ es una constante que agrupa una serie de potenciales: en primer lugar el valor del voltaje de referencia, pero también otros que aparecen en la pila y que escapan al alcance de este trabajo. Sin embargo se quiere mencionar que estos potenciales varían con el tiempo y es lo que provoca que se requiera una calibración periódica. Asimismo E₀ depende de la temperatura. Modelo de "celda electroquímica" para un sensor de pH basado en el electrodo de membrana de vidrio selectivo al ión H⁺.

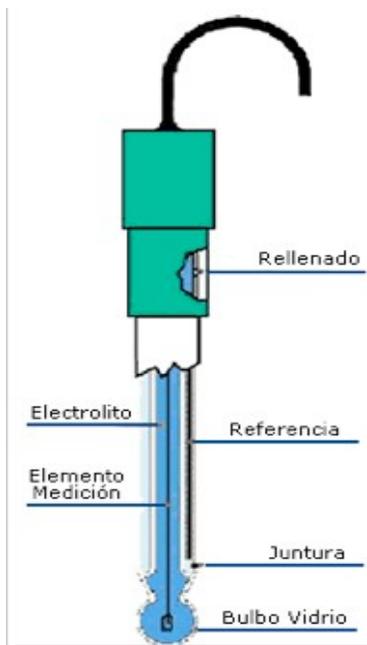


Figura 7.7 Sensor de PH

El modelo de sensor, basado en el electrodo de vidrio formando parte de una celda electroquímica, es el más ampliamente difundido y es el que aparece en los textos de enseñanza a nivel superior. Tiene la ventaja de ser relativamente sencillo, a pesar de que hay fenómenos que no logra explicar. No entraremos en esos aspectos ya que exceden el alcance de este trabajo pero se deja constancia que existen modelos más complejos, aunque no tan difundidos, basados en la ecuación de Boltzman que parecerían modelar de forma más adecuada el funcionamiento del sensor.

En la realización de estudios prologados, la deriva de los sensores es el parámetro más relevante. Como la característica pH-Voltaje va variando con el tiempo es necesario calibrar, y por lo tanto suspender el estudio, para mantener las medidas dentro de un precisión aceptable.

Los ISE requieren calibración y limpieza periódica. Para mantener una precisión de 0,1 unidades de pH es necesario.

El sensor de pH de vidrio Es un estándar a nivel industrial y de laboratorio. Su principio de funcionamiento se conoce desde principios de siglo XX y su uso está ampliamente generalizado y sus resultados ampliamente validados, al punto que el patrón de la medida de pH se basa en un electrodo de vidrio. El electrodo entra en contacto con el analito a través de una membrana de vidrio sensible al ión hidrógeno. Las características de esta membrana hacen que el sensor tenga una resistencia de salida muy grande (decenas o centenas de MΩ) y sea necesario mantenerlo húmedo. Logran una precisión muy buena (0,01) y tienen tiempos de vidas relativamente cortos (1 año). Los costos varían entre 30 y 300 dólares.



Figura 7.8 Sensor PH con cable conector (WQ201)

Los electrodos de membrana líquida son similares al electrodo de vidrio excepto que la membrana es un polímero orgánico saturado con un intercambiador iónico líquido. Por más detalles puede consultarse. Los electrodos de estado sólido consisten en metales cuya superficie está recubierta parcialmente por una capa de óxido del mismo metal. Entre ellos, el más utilizado es el electrodo de antimonio. Es resistente, adecuado para el registro continuo y operaciones de control. Su intervalo de utilización es de pH 2 a 8. Otros electrodos metal-oxidometálico bastante utilizados son los de telurio, tungsteno, y molibdeno.

7.4.3 Protocolo inalámbrico ZigBee

Las redes inalámbricas (Wireless Network) son aquellas que se comunican por un medio de transmisión no guiado (sin cables) mediante ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de antenas.

Tienen ventajas como la rápida instalación de la red sin la necesidad de usar cableado, permiten la movilidad y tienen menos costos de mantenimiento que una red convencional.

Ventajas de utilizar Redes Inalámbricas (en general):

- Movilidad: El uso de redes inalámbricas permiten a los usuarios conectarse a éstas y les permite desplazarse (roaming) libremente. Ejemplo: red telefónica celular.
- Flexibilidad: Permiten atender a uno o muchos usuarios utilizando la misma infraestructura (reducción de costo).
- Flexibilidad: Permiten la implementación de una red en aquellos escenarios en los que cablear la red resulta ser muy difícil.
- No requiere derecho de paso

- Facilidad para salvar obstáculos naturales
- Instalación más rápida
- Gran flexibilidad en velocidades de transmisión
- Inversión distribuida en el tiempo
- Rápida recuperación ante desastres y reubicación
- Potencialmente más económicas
- Menos sujetas a robo y vandalismo

Limitaciones al utilizar redes inalámbricas (en general):

- Se requiere licencia del órgano regulador (n algunos casos).
- En las bandas de uso libre no hay protección contra la interferencia
- Los obstáculos entre el transmisor y el receptor pueden bloquear la transmisión
- El ancho de banda disponible es proporcional a la frecuencia de la portadora
- Más susceptibles a errores de transmisión y a brechas de seguridad.

Las redes inalámbricas se clasifican de acuerdo a su área de cobertura: personales (WPAN – algunos metros), de área local (WLAN – cientos de metros) o metropolitanas (WMAN – kilómetros), etc., como se puede apreciar en la figura siguiente:

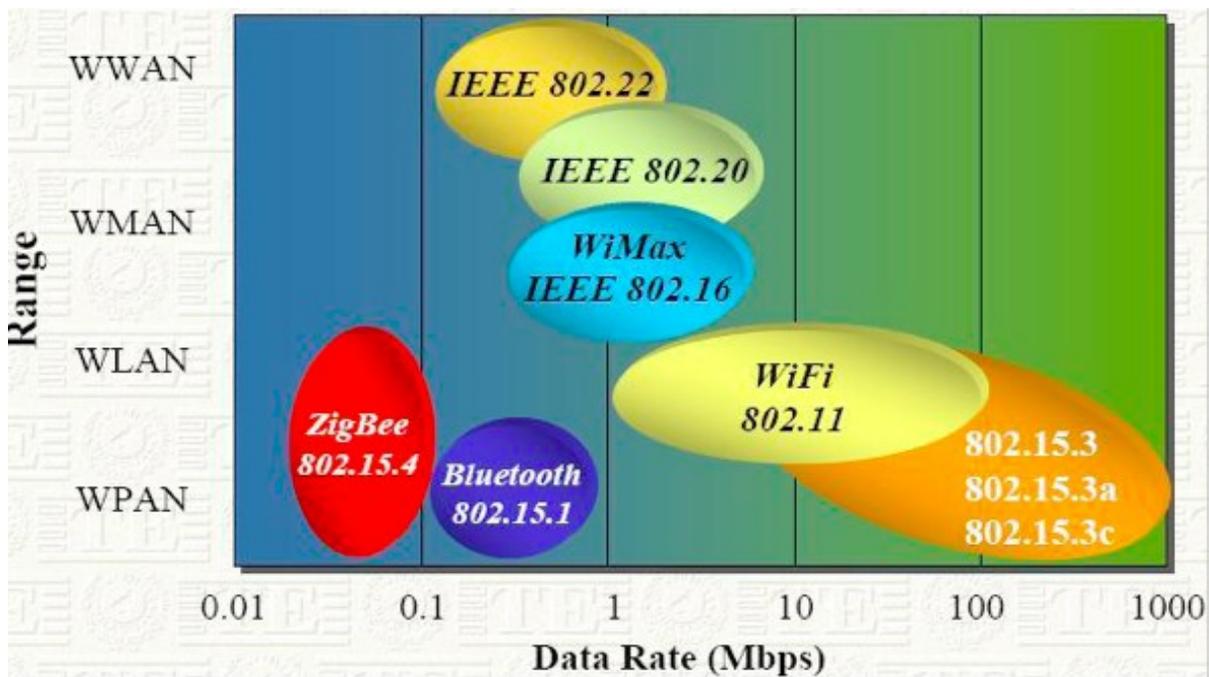


Figura 7.9 Comparación de los protocolos de comunicaciones

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

ZigBee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto, 868 MHz en Europa, 915 en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo. Sin embargo, a la hora de diseñar dispositivos, las empresas optarán prácticamente siempre por la banda de 2,4 GHz, por ser libre en todo el mundo.

El desarrollo de la tecnología se centra en la sencillez y el bajo coste más que otras redes inalámbricas semejantes de la familia WPAN, como por ejemplo Bluetooth. El nodo ZigBee más completo requiere en teoría cerca del 10% del hardware de un nodo Bluetooth o Wi-Fi típico; esta cifra baja al 2% para los nodos más sencillos.

ZigBee es muy similar al Bluetooth pero con algunas diferencias:

- Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos.
- Menor consumo eléctrico que el de Bluetooth. En términos exactos, ZigBee tiene un consumo de 30mA transmitiendo y de 3uA en reposo, frente a los 40mA transmitiendo y 0.2mA en reposo que tiene el Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, y siempre se está transmitiendo y/o recibiendo.

- Tiene una velocidad de hasta 250 Kbps, mientras que en Bluetooth es de hasta 1 Mbps.
- Debido a las velocidades de cada uno, uno es más apropiado que el otro para ciertas cosas. Por ejemplo, mientras que el Bluetooth se usa para aplicaciones como los teléfonos móviles y la informática casera, la velocidad del ZigBee se hace insuficiente para estas tareas, desviándolo a usos tales como la Domótica. los productos dependientes de la batería, los sensores médicos, y en artículos de juguetería, en los cuales la transferencia de datos es menor.

Tipos de dispositivos.

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- Router ZigBee (ZigBee Router, ZR). Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías.

7.4.3.1 Aplicaciones ZigBee

En la siguiente imagen se puede apreciar las diversas aplicaciones que se le puede dar a este tipo de protocolo:



Figura 7.10 Aplicaciones del protocolo Zigbee

Las redes de sensores están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica los cuales permiten formar redes ad hoc sin infraestructura física preestablecida ni administración central.

Las redes de sensores es un concepto relativamente nuevo en adquisición y tratamiento de datos con múltiples aplicaciones en distintos campos tales como entornos industriales, domótica, entornos militares, detección ambiental.

Esta clase de redes se caracterizan por su facilidad de despliegue y por ser auto configurables, pudiendo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra de sus características es su gestión eficiente de la energía, que les permite obtener una alta tasa de autonomía que las hacen plenamente operativas.

Áreas de aplicación.

Pasando de largo las aplicaciones militares, éstas tienen usos civiles interesantes como vemos a continuación:

- Entornos de alta seguridad: Existen lugares que requieren altos niveles de seguridad para evitar ataques terroristas, tales como centrales nucleares, aeropuertos, edificios del gobierno de paso restringido. Aquí gracias a una red de sensores se pueden detectar situaciones que con una simple cámara sería imposible.
- Sensores ambientales: El control ambiental de vastas áreas de bosque o de océano, sería imposible sin las redes de sensores. El control de múltiples variables, como temperatura, humedad, fuego, actividad sísmica así como otras. También ayudan a

expertos a diagnosticar o prevenir un problema o urgencia y además minimiza el impacto ambiental de la presencia humana.

- **Sensores industriales:** Dentro de fábricas existen complejos sistemas de control de calidad, el tamaño de estos sensores les permite estar allí donde se requiera.
- **Automoción:** Las redes de sensores son el complemento ideal a las cámaras de tráfico, ya que pueden informar de la situación del tráfico en ángulos muertos que no cubren las cámaras y también pueden informar a conductores de la situación, en caso de atasco o accidente, con lo que estos tienen capacidad de reacción para tomar rutas alternativas.
- **Medicina:** Es otro campo bastante prometedor. Con la reducción de tamaño que están sufriendo los nodos sensores, la calidad de vida de pacientes que tengan que tener controlada sus constantes vitales (pulsaciones, presión, nivel de azúcar en sangre, etc.), podrá mejorar substancialmente.
- **Domótica:** Su tamaño, economía y velocidad de despliegue, lo hacen una tecnología ideal para domotizar el hogar a un precio asequible.

7.4.3.2 Xbee

Una red ZigBee la forman básicamente 3 tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (end points). Decidimos usar un protocolo de comunicaciones inalámbrica por que debido a los cambios tecnológicos de reciente crecimiento ya no es factible usar cableado en este tipo de instalaciones.

El Coordinador.

Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.

Los Routers.

Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red ZigBee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de End points.

End Device.

Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías.

El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento. Los módulos Xbee son módulos de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4 (ZigBee) fabricados por MaxStream.

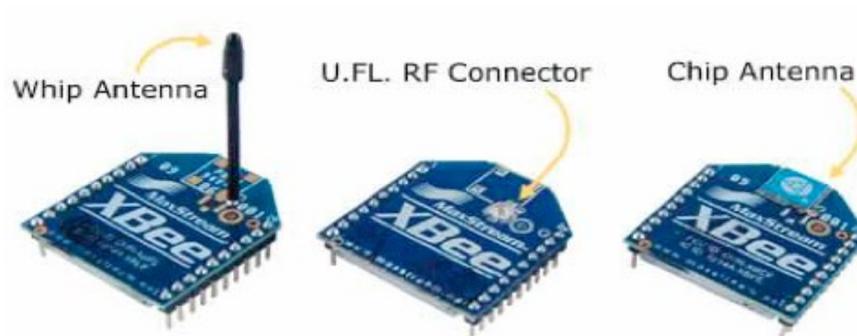


Figura 7.11 Módulos de comunicación inalámbrica Xbee

Módulos Xbee con alcance en interiores de hasta 30 m. En exteriores el alcance es de hasta 100 m. con antena dipolo. En la imagen anterior se muestran los 3 diferentes tipos de Xbee.

Dimensiones:

Ancho: 24.38 mm

Largo: 27.61 mm

Alto de antena: 25 mm

Cada módulo ZigBee, al igual que ocurre con las direcciones MAC de los dispositivos Ethernet, tiene una dirección única. En el caso de los módulos ZigBee cada uno de ellos tiene una dirección única de 64bits que viene grabada de fábrica. Por otro lado, la red ZigBee, utiliza para sus algoritmos de ruteo direcciones de 16 bits.

Cada vez que un dispositivo se asocia a una red ZigBee, el Coordinador al cual se asocia le asigna una dirección única en toda la red de 16bits. Por eso el número máximo teórico de elementos que puede haber en una red ZigBee es de $2^{16} = 65535$, que es el n° máximo de direcciones de red que se pueden asignar.

Estos módulos Xbee, pueden ser ajustados para usarse en redes de configuración punto a punto, punto-a-multipunto o peer-to-peer.

También existen los llamados módulos Xbee PRO de la Serie 1 que se diferencian en la capacidad de alcance, permitiendo en algunos casos doblar la distancia de transmisión, ya que poseen una mayor potencia en la señal. Con los módulos Xbee PRO de la Serie 2, es posible crear redes más complejas, como las llamadas MESH.

Estas permiten acceder a un punto remoto, utilizando módulos intermedios para llegar como routers. Además los módulos automáticamente generaran la red entre ellos, sin intervención humana alguna, permitiendo la reparación de la red en caso de que algún nodo falle. Al mismo tiempo la red por sí sola resuelve la mejor ruta para un determinado paquete.

La figura siguiente se muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo Xbee para poder ser utilizado. Luego de esto, se debe configurar según el modo de operación adecuado para la aplicación requerida por nosotros.

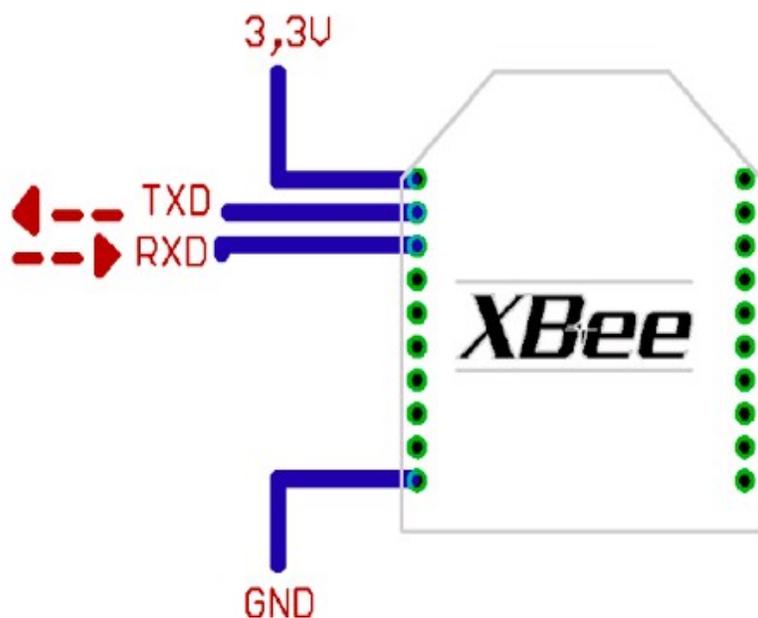


Figura 7.12 Esquema de conexiones de los Módulos Xbee

7.4.1 Microcontrolador Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino(basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

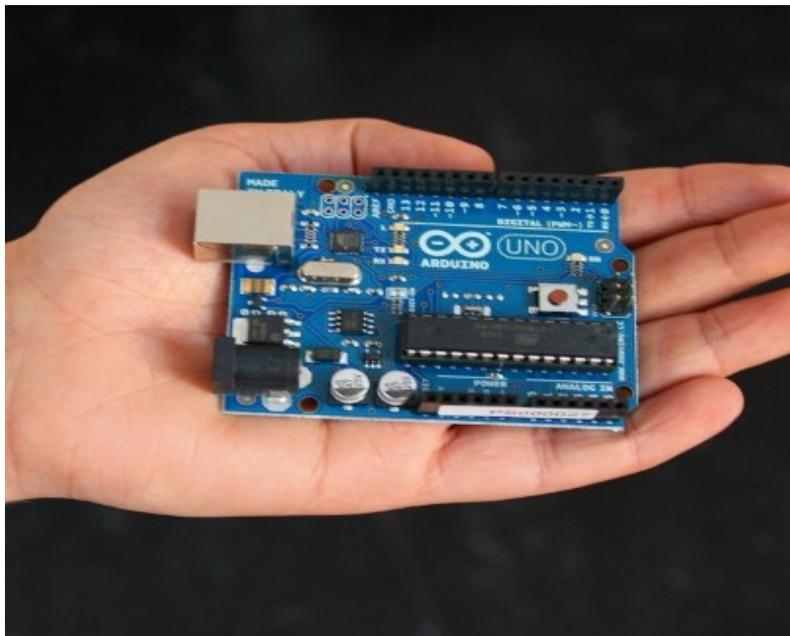


Figura 7.13 Microcontrolador Arduino

7.4.5 Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial es la forma en la que se denominan a las inteligencias no naturales de las ciencias de la computación en agentes racionales no vivos.

7.4.5.1 Sistema experto (SE)

Aplicación informática capaz de solucionar un conjunto de problemas que exigen un gran conocimiento sobre un determinado tema. Conjunto de programas que sobre una base de conocimientos, posee información de uno o más expertos en un área específica.

Imitan las actividades de un humano para resolver problemas de distinta índole.

En un SE para que los usuarios puedan interactuar de forma sencilla, es necesario que cumpla con las siguientes dos características:

1. Explicar su razonamiento: los SE se deben realizar siguiendo ciertas reglas o pasos comprensibles de manera que se pueda generar la explicación para cada una de estas reglas, que a la vez están basadas en hechos.
2. Integrador de nuevos conocimientos para el sistema: mecanismos de razonamiento que sirven para modificar los conocimientos anteriores.

Un sistema experto está conformado por:

- Base de conocimientos
- Base de hechos (memoria de trabajo)
- Motor de inferencia
- Módulos de justificación
- Interfaz de usuario

Tareas que realiza un sistema experto:

- Monitoreo: es la comparación continua de los valores de los datos de entrada con valores de referencia. Es una herramienta de diagnóstico, anticipándose a posibles incidentes futuros.
- Diseño: uso de principios científicos, información técnica e imaginación en la definición de una estructura mecánica, máquina o sistema que ejecute funciones específicas con el máximo de economía y eficiencia.

También es un intento consciente de traer forma y orden visual a la ingeniería de hardware.

- Planificación: es la realización de secuencias de acciones. Está compuesto por un simulador y un sistema de control. El efecto final es la ordenación de un conjunto de acciones con el fin de conseguir un objetivo global.
- Control: un sistema de control participa en la realización de las tareas de interpretación, diagnóstico y reparación de forma secuencial. Con ello se consigue guiar un proceso o sistema.
- Simulación: es una técnica que consiste en crear modelos basados en hechos, observaciones e interpretaciones sobre la computadora, a fin de estudiar el comportamiento de los mismos mediante la observación de las salidas para un conjunto de entradas.
- Instrucción: un sistema de instrucción realiza un seguimiento del proceso de aprendizaje. El sistema detecta errores, e identifica la solución. Es decir, desarrolla un plan de enseñanza que facilita el proceso de aprendizaje y la corrección de errores.

- Recuperación de información: debido a la capacidad de los SE de combinar información y reglas de actuación, han sido vistos como posibles soluciones al tratamiento y recuperación de información. La diferencia que los SE tienen a un sistema tradicional de recuperación de información, es que éstos últimos sólo son capaces de recuperar lo que existe explícitamente, mientras que un SE debe ser capaz de generar información no explícita, razonando con los elementos que se le dan.

7.4.5.2 Lógica Difusa

La lógica difusa, como su nombre indica, es una lógica alternativa a la lógica clásica que pretende introducir un grado de vaguedad en las cosas que califica. En el mundo real existe mucho conocimiento no-perfecto, es decir, conocimiento vago, impreciso, incierto, ambiguo, inexacto, o probabilístico por naturaleza.

El razonamiento y pensamiento humano frecuentemente conlleva información de este tipo, probablemente originada de la inexactitud inherente de los conceptos humanos y del razonamiento basado en experiencias similares pero no idénticas a experiencias anteriores.

El problema principal surge de la poca capacidad de expresión de la lógica clásica. Supongamos por ejemplo que tenemos un conjunto de personas que intentamos agrupar según su altura, clasificándolas en *altas* o *bajas*.

La solución que presenta la lógica clásica es definir un umbral de pertenencia (por ejemplo, un valor que todo el mundo considera que de ser alcanzado o superado, la persona en cuestión puede llamarse *alta*). Si dicho umbral es 1.80, todas las personas que midan 1.80 o más serán *altas*, mientras que las otras serán *bajas*. Según esta manera de pensar, alguien que mida 1.79 será tratado igual que otro que mida 1.50, ya que ambos han merecido el calificativo de *bajas*.

Sin embargo, si dispusiéramos de una herramienta para caracterizar las alturas de forma que las transiciones fueran suaves, estaríamos reproduciendo la realidad mucho más fielmente.

Asimismo, no hay un valor cuantitativo que defina el término joven. Para alguna gente, 25 años es joven, mientras que para otros, 35 es joven. Incluso el concepto puede ser relativo al contexto. Un presidente de gobierno o de 35 años es joven, mientras que un futbolista no lo es.

Hay sin embargo cosas que están claras: una persona de 1 año es joven, mientras que una de 100 años no lo es. Pero una persona de 35 años tiene algunas posibilidades de ser joven (que normalmente dependen del contexto).

Para representar este hecho, definiremos el conjunto joven de modo que cada uno de sus elementos pertenezca a él con cierto grado (posibilidad). De un modo más formal, un conjunto difuso A se caracteriza por una función de pertenencia: $\mu_A = U \rightarrow [0,1]$ que asocia a cada elemento x de U un número $\mu_A(x)$ del intervalo [0,1], que representa el grado de pertenencia de x al conjunto difuso A. A U se le llama *universo de discurso*.

Por ejemplo, el término difuso *joven* puede definirse mediante el conjunto difuso siguiente:

Tabla 7.2 Ejemplo de grado de pertenencia

Edad	Grado de pertenencia
≤ 25	1.0
30	0.8
35	0.6
40	0.4
45	0.2
≥ 50	0

Es decir, la función de pertenencia del conjunto difuso *joven* viene dada por:

$$\mu_A(x) = 1 \text{ si } x \leq 25, \mu_A(30) = 0.8, \dots, \mu_A(x) = 0 \text{ si } x \geq 50$$

Que podemos representar en la siguiente gráfica:

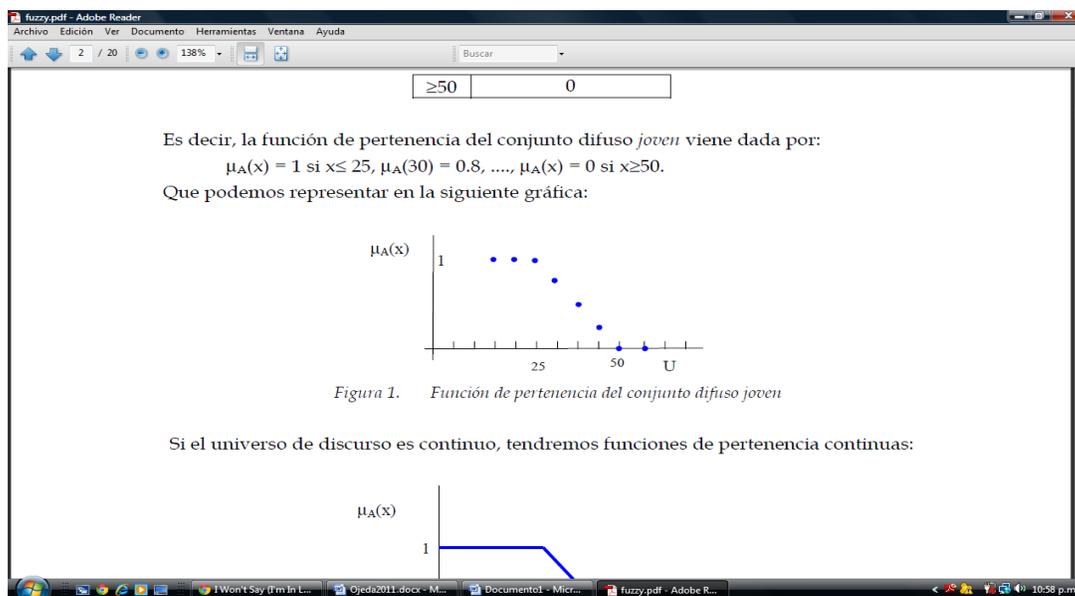


Figura 7.14 Función de pertenencia discontinua

Si el universo de discurso es continuo, tendremos funciones de pertenencia continuas:

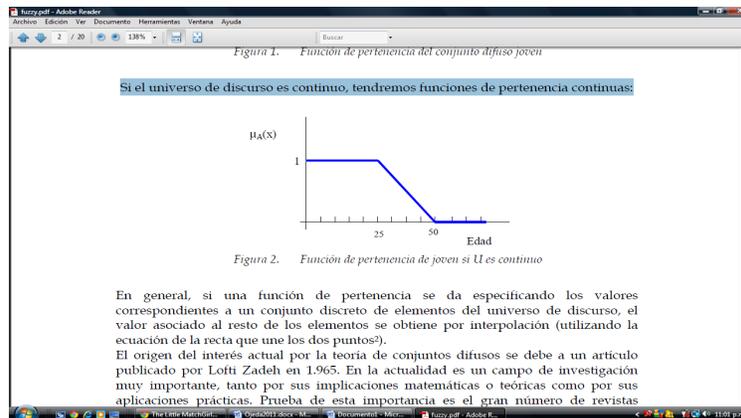


Figura 7.15 Función de pertenencia continua

En general, si una función de pertenencia se da especificando los valores correspondientes a un conjunto discreto de elementos del universo de discurso, el valor asociado al resto de los elementos se obtiene por interpolación (utilizando la ecuación de la recta que une los dos puntos).

El origen del interés actual por la teoría de conjuntos difusos se debe a un artículo publicado por Lotfi Zadeh en 1965. En la actualidad es un campo de investigación muy importante, tanto por sus implicaciones matemáticas o teóricas como por sus aplicaciones prácticas. Prueba de esta importancia es el gran número de revistas internacionales (Fuzzy Sets and Systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems...) congresos (FUZZ-IEEE, IPMU, EUSFLAT, ESTYLF...) y libros (14) (15), (16), (17) dedicados al tema.

¿En qué situaciones es útil aplicar la lógica difusa?

- En procesos complejos, si no existe un modelo de solución sencillo.
- Cuando haya que introducir la experiencia de un operador “experto” que se basen en conceptos imprecisos.
- Cuando ciertas partes del sistema a controlar son desconocidas y no pueden medirse de forma fiable (con errores posibles).
- Cuando el ajuste de una variable puede producir el desajuste de otras.
- En general, cuando se quieran representar y operar con conceptos que tengan imprecisión o incertidumbre

Algunas aplicaciones importantes de la lógica difusa son:

- *Control de sistemas*: Control de tráfico, control de vehículos (helicópteros...), control de compuertas en plantas hidroeléctricas, centrales térmicas, control en máquinas lavadoras, control de metros (mejora de su conducción, precisión en las paradas y ahorro de energía), ascensores...
- *Predicción y optimización*: Predicción de terremotos, optimizar horarios...
- *Reconocimiento de patrones y Visión por ordenador*: Seguimiento de objetos con

- cámara, reconocimiento de escritura manuscrita, reconocimiento de objetos, compensación de vibraciones en la cámara, sistemas de enfoque automático...
- *Sistemas de información o conocimiento*: Bases de datos, sistemas expertos...

Lógica Difusa. Es un método de clasificación para en el marco de sistemas complejos a analizar.

La idea de la aproximación difusa es la de construir un dispositivo, llamado sistema de inferencia difusa, capaz de limitar las tomas de decisión de un operador humano a partir de reglas verbales traduciendo sus conocimientos relativos a un proceso en particular. Este tipo de conocimiento puede representarse, con la ayuda de reglas de la forma: SI condición ENTONCES conclusión.

7.4.5.3 Teoría de Control

Es un campo interdisciplinario de la ingeniería y las matemáticas, que trata con el comportamiento de sistemas dinámicos. A la salida deseada de un sistema se le llama referencia. Cuando una o más variables de salida de un sistema necesitan seguir cierta referencia sobre el tiempo, un controlador manipula la entrada al sistema para obtener el efecto deseado en la salida del sistema.

7.4.5.4 Sistema Dinámico

Es un sistema cuyo estado evoluciona con el tiempo. El comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta forma se puede elaborar modelos (matemáticos) que buscan representar la estructura del mismo sistema.

Al definir los límites del sistema, se comienza por hacer una selección de aquellos componentes o variables que contribuyan a generar los modos de comportamiento, y luego se determina el espacio donde se llevará a cabo el estudio, omitiendo la mayor cantidad de aspectos irrelevantes.

Para esto se debe tener en cuenta:

1. Un sistema está formado por un conjunto de elementos en interacción.
2. El comportamiento del sistema se puede mostrar a través de diagramas causales (representación gráfica de las relaciones múltiples de causa - efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso).
3. Hay varios tipos de variables: variables exógenas (externas) y variables endógenas (internas).

8. Metodología

La importancia de manejar un método es fundamental para lograr cualquier objetivo. Y en este proyecto para su realización se llevaron a cabo una serie de pasos lógicos para alcanzar los objetivos deseados. A continuación expongo cada uno de los puntos.

Al inicio del desarrollo del proyecto se planteó como un sistema de adquisición de datos y monitoreo, de manera inalámbrica, de los valores de dos de las variables más importantes de una planta de biodiesel, las cuales son la temperatura y el PH, con dichas variables, los operadores pueden llevar un control preciso del proceso y su cambio durante el tiempo que dura. Al mismo tiempo definir un intervalo de lógica difusa para facilitar su comprensión por parte del recurso humano de una planta.

La metodología que se siguió en el proyecto se expone a continuación:

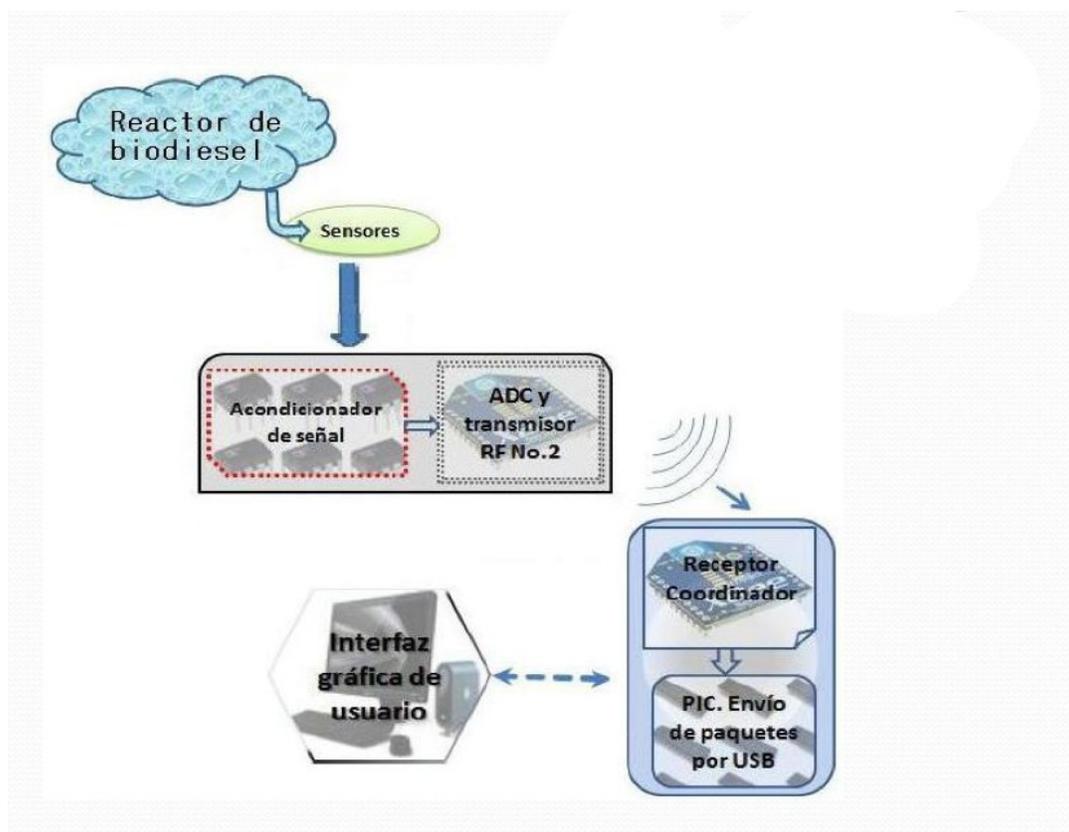


Figura 8.1 Esquema general de la metodología

Como mencionamos anteriormente el objetivo principal en este proyecto es controlar las variables dentro del reactor de biodiesel. Dicho proceso químicos dentro del reactor en resumen es el siguiente:

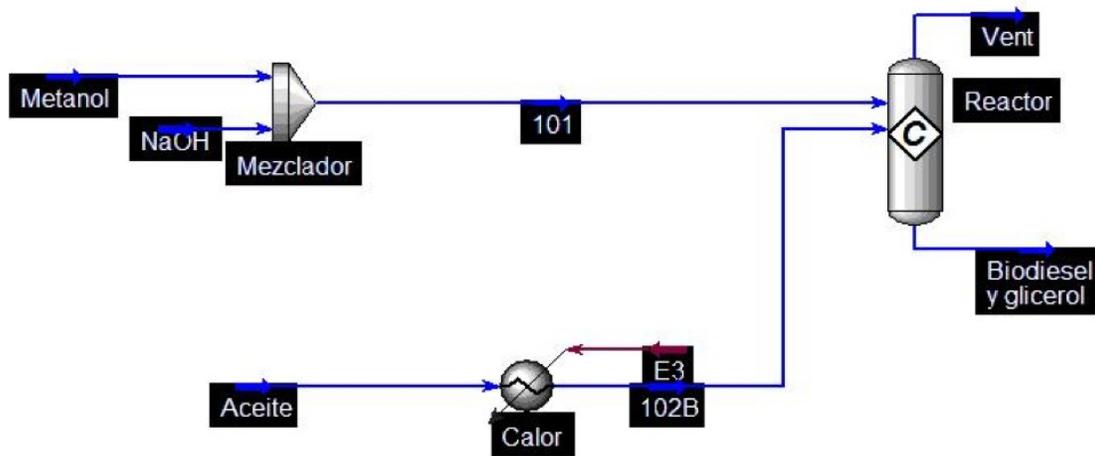


Figura 8.2 Proceso químico de obtención del biodiesel

En la imagen podemos ver claramente el proceso de obtención de Biodiesel.

A continuación algunas fotos de la mezcla y prototipo del reactor:



Figura 8.3 Aceite preparándose para la Mezcla



Figura 8.4 Metanol, NaOH y Aceite preparándose para la mezcla



Figura 8.5 Prototipo del reactor y MatLab



Figura 8.6 Prototipo del reactor de Biodiesel con los sensores PT100 y WQ201

Los sensores que utilizamos fue uno para la temperatura (PT100) y otro para el PH (WQ201), para controlar dos de las variables más importantes en el proceso, ambos dispositivos van dentro del reactor que a la vez envían la información al sistema de adquisición de datos.



Figura 8.7 Sensor de Temperatura PT100



Figura 8.8 Sensor de PH (WQ201)

Estos sensores van dentro del prototipo del reactor por la parte superior, a manera de monitor y a la vez están conectados a la siguiente tarjeta del sistema de adquisición de datos.



Figura 8.9 Sensores conectados a la tarjeta de Adquisición de Datos



Figura 8.10 Tarjeta de Adquisición de datos con XBee

Luego la información es enviada mediante el sistema XBee al receptor siguiente:

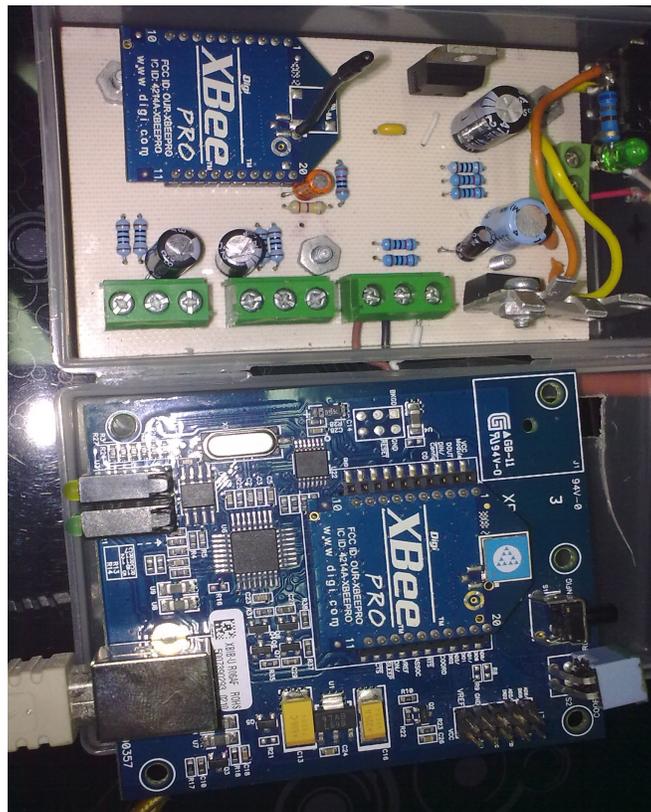


Figura 8.11 Sistema de Adquisición de Datos y Comunicaciones Inalámbrica



Figura 8.12 Receptor y Transmisor por USB al Ordenador

Luego la información es enviada al puerto USB de la Computadora para su posterior monitoreo en MatLab.



Figura 8.13 MatLab haciendo una prueba de una señal aleatoria de entrada

Variable de temperatura y Lógica Difusa

De acuerdo al estudio de las variables realizado se tiene a la variable de temperatura como a la principal responsable de la buena conversión del aceite en biodiesel, dando una conversión óptima del 85 al 98%, con esto se tienen menos trazas residuales y se aumenta la calidad y la producción del biocombustible. La reacción tiene su mejor conversión cuando el aceite se encuentra a una temperatura estable de 53 a 60 grados centigrado (22).

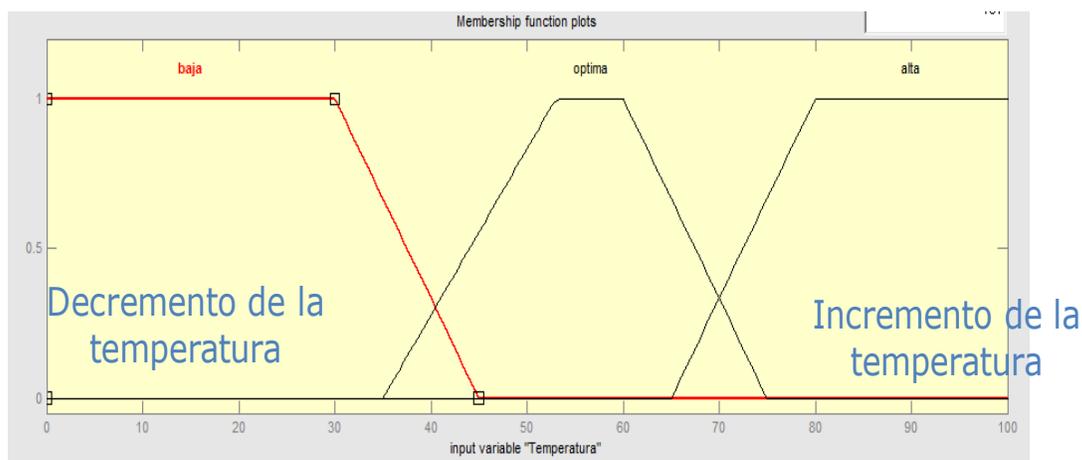


Figura 9.1 Conjuntos difusos de la variable temperatura.

Aplicando lógica difusa a la variable de temperatura tenemos lo siguiente:

De 0 a 45 grados = Baja

De 35 a 75 grados = Óptima

De 65 en adelante = Alta

La temperatura que queremos conseguir es la óptima. Por lo tanto el sistema de control debe estar entre los límites difusos de 45 a 65 grados, esto da como resultado que la temperatura ideal esté entre los 50 a 60 grados haciendo un corte a la función de pertenencia a 0.5 (la mitad) tomando como valor de pico 1.

En los sistemas expertos para mantener una calidad óptima del biodiesel y evitar que este se convierta en sustancia jabonosa es indispensable que se mantenga entre 45 y 65 grados centígrados. Con lo que el conjunto difuso "óptimo" debe estar fuera de los conjuntos "baja" y "alta". Tal y como se ve en la Figura 9.1.

9. Resultados

Se tomaron algunos datos de las variables tanto de temperatura como de PH, que se muestran a continuación. Dicha muestra es sólo una primera prueba que se realizó del prototipo por lo que aún le faltan algunas pruebas posteriores para dar un resultado óptimo en función a los objetivos propuestos.

	Temp	pH	ppM	Hora
1	28,3	26,67	26,67	15:48:17
2	28,3	26,67	26,67	15:49:17
3	28,91	26,67	26,67	15:50:17
4	30,1	26,67	26,67	15:51:18
2	32,3	26,67	26,67	15:52:18
3	34,5	26,67	26,67	15:53:18
4	35,08	26,67	26,67	15:54:18
2	36,10	26,67	26,67	15:55:17
3	38,91	26,67	26,67	15:56:17
4	39,38	26,67	26,67	15:57:18
2	40,13	26,67	26,67	15:58:19
3	40,66	26,67	26,67	15:59:18
4	45,09	26,67	26,67	16:00:18
2	45,53	26,67	26,67	16:01:18
3	47,01	26,67	26,67	16:02:19
4	47,64	26,67	26,67	16:03:19
2	48,40	26,67	26,67	16:04:19
3	50,16	26,67	26,67	16:05:19
4	52,29	26,67	26,67	16:06:18
2	53,03	26,67	26,67	16:07:19
3	54,70	26,67	26,67	16:08:19
4	55,07	26,67	26,67	16:09:18
2	56,19	26,67	26,67	16:10:19
3	56,78	26,67	26,67	16:11:19
4	57,1	26,67	26,67	16:12:19

Figura 10.1 Datos de las mediciones de Temperatura y PH

Como se puede observar en los resultados de la variable de temperatura (fila 1), esta empieza a aumentar desde el conjunto “bajo” de temperatura hasta el conjunto “óptima”. Mientras la variable de PH (fila 2) se mantiene estable. A continuación unas muestras de la variable de PH, de la misma forma es sólo una prueba probando el sistema, que aún no está funcionando óptimamente.

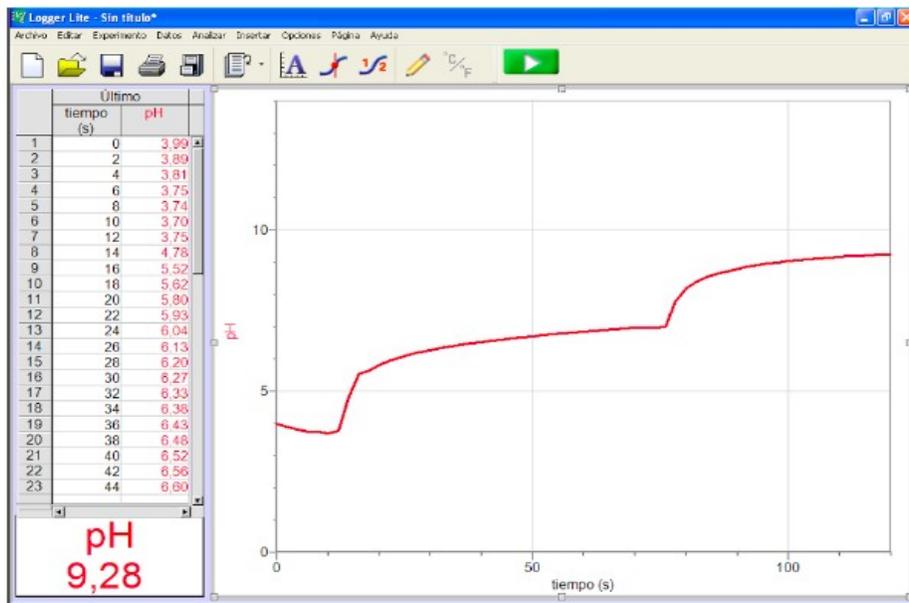


Figura 10.2 Prueba de monitoreo de la variable de PH en Logger Lite

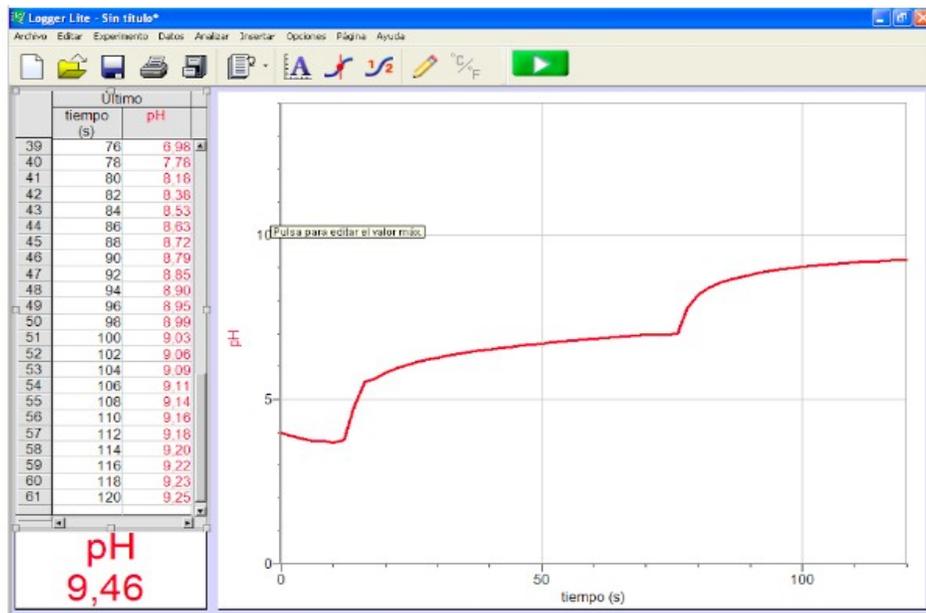


Figura 10.3 Siguiendo con la prueba de monitoreo de la variable de PH en Logger Lite

10. Conclusiones

El biodiesel no es nocivo para la salud humana, para la vegetación, los animales y no daña el medio ambiente a diferencia de los combustibles derivados de los fósiles. Por lo que su empleo es ventajoso frente a otros combustibles generalmente para el transporte público en las grandes ciudades. Por otra parte es seguro y fácil de transportar debido a que es biodegradable y su punto de inflamación es mucho más alto que otros combustibles.

Aplicarle sistemas inteligentes al proceso de producción de biodiesel es un factor necesario para controlarlo y precisar la calidad del producto. Al aplicar un sistema experto y lógica difusa al proceso de control de las variables da como resultado un conocimiento y manejo del sistema más entendible por parte del recurso humano.

11. Recomendaciones

Las recomendaciones que se exponen a continuación, son una serie de trabajos futuros que sirvan para mejorar el funcionamiento del prototipo y que en el presente trabajo no se llevaron a cabo por limitaciones de tiempo y de recursos económicos.

- Aplicar la lógica difusa a las variables estables que se obtendrán del prototipo.
- Incluir una pantalla LCD, de preferencia fabricadas para sistemas arduinos, para visualizar la temperatura, el PH, número de revoluciones por minuto en la agitación, tiempo de agitación, etc.
- Preparar el metóxido (mezcla de metanol y sosa cáustica) de manera automática.
- Hacer el sistema basado en un estándar de preferencia con arduino para no programar el PIC en cada cambio.
- Obtener un sistema funcional que permita el monitoreo de las variables mediante la conexión del prototipo a la computadora.

Bibliografía

Whitman Direct Action, “Biodiesel: Producción y Aplicaciones”, pp 55-77.

Journeytoforever.org. “Lavado del Biodiesel”

Ferrer S., Albert, “Estudio Técnico – Económico de una Planta de Obtención de Biodiesel y de su Impacto Medioambiental”, p 107, archivo pdf.

Torres del Carmen, Felipe de J., “Diseño, Construcción y Pruebas de un Prototipo para la Producción de Biodiesel a Partir de Aceites Provenientes de Recursos renovables”

O. Probst, “El biodiesel como alternativa limpia y renovable para el transporte,” Energía, No. 56, Instituto Tecnológico de Monterrey.

R. J. Larosa, “Proceso Para la Producción de Biodiesel,” [En línea]. Disponible: <http://www.biodiesel-uruguay.com/articulos/Biod-rev2.pdf>. Mayo, 2006.

J. Tickell, K. Roman, “From the fryer to the fuel tank. The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel,” third edition.

L.C. Meher, D. Vidya Sagar and S.N. Naik, “Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification—A review,” Centre for Rural Development and Technology, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi, India. September 2004.

S. D. Romano. Proyecto Biodiesel FIUBA. Facultad de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina. Disponible: <http://www.uncu.edu.ar/> . Consultada en Febrero, 2007.

“Arduino” <http://arduino.cc/es/>

“Proceso de obtención del Biodiesel” <http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/la-produccion-de-biodiesel-materias-primas-procesos-calidad/>