



Informe final de residencia profesional

Proyecto

**“CONTROL INALAMBRICO DEL PROCESO DE OBTENCION DE
BIODISEL”**

Presenta:

**JESUS DAVID HERNANDEZ GONZALEZ
05270279**

**LEONEL GOMEZ MORENO
06270048**

Asesor:

Dr. Héctor Ricardo Hernández De León

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Enero de 2011.



Contenido

1. INTRODUCCION.	4
2. JUSTIFICACIÓN.	5
3. OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo general	12
3.2 Objetivos específicos	12
4. ALCANCES Y LIMITACIONES	13
5. FUNDAMENTO TEÓRICO	14
5.1 Biodiesel	15
5.2 Proceso	15
5.3 Productos necesarios para la obtención de biodiesel	16
5.4 Aceites y grasas.....	17
5.5 Transesterificación	18
5.6 Lavado	20
5.6.1 Lavado con niebla.....	20
5.6.2 Lavado con burbujas.....	21
5.7 Ventajas y desventajas del Biodiesel.	23
5.8 Sensores.....	24
5.8.1 Sensor Pt100	24
5.8.2 Sensor de PH	31
5.9 Protocolo inalámbrico ZigBee	34
5.9.1 Módulos inalámbricos Xbee y Xbee PRO (MaxStream)	40
5.10.1 Microcontrolador PIC18f4550	44
5.11 ELECTROVALVULA.....	46
5.12 Bomba periférica (de agua).....	¡Error! Marcador no definido.
5.13 Agitador y Calentador	48



6. METODOLOGIA.....	49
7. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	50
7.1 Procesos para la obtención del Biodiesel	52
7.1.1 Tipo de proceso.....	52
7.1.2 Tamaño del prototipo.....	52
7.1.3 Suministro de las sustancias.....	52
7.2 Reactor.....	52
7.2.1 Recipiente contenedor de aceite.....	53
7.2.2 Recipiente contenedor de metóxido.....	53
7.2.3 Armadura de soporte	54
8. CONSTRUCCION Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO.....	55
8.1 CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.....	55
7.2 El reactor y sus partes	56
9. CONCLUSIONES.....	60
10. RECOMENDACIONES	62
11. REFERENCIAS.....	63

1. INTRODUCCION.

El deterioro del medio ambiente, sumado a las poco alentadoras perspectivas que presentan los combustibles fósiles y la creciente conciencia ambiental, han llevado al desarrollo de diversos combustibles y fuentes de energía denominadas renovables.

Una de los problemas más frecuentes en éste campo es la adaptabilidad de dichas energías a la vida cotidiana, ya que la transición hacia éstas acarrea costos frecuentemente insuperables. Sin embargo, el desarrollo de un combustible en particular, denominado biodiesel, se presenta como una alternativa alentadora.

Hoy día, la producción e iniciativa ha mermado dados los precios relativamente altos del aceite (principal materia prima) que como ha tendido a adoptar un precio "dolarizado". Sin embargo, el desarrollo del biodiesel resulta de sumo interés por sus implicancias económicas a futuro para un país agrícola como México, por su favorable impacto sobre el medio ambiente y por su gran adaptabilidad al mercado local de combustibles.

Este proyecto tiene como finalidad ofrecer al usuario una forma innovadora de interacción entre el usuario y el proceso de producción, gracias a su tamaño, flexibilidad, múltiples funcionalidades, aplicaciones y bajo costo, haciendo posible la recolección de información.

No es necesario efectuar ninguna modificación en los motores para poder emplear este combustible. Importantes fabricantes de vehículos europeos efectuaron pruebas con resultados satisfactorios en automóviles, camiones y ómnibus.

2. JUSTIFICACIÓN.

El principal y más importante beneficio de este combustible es su efecto no contaminante que permite el uso convencional de vehículos y maquinaria sin la desagradable consecuencia del efecto invernadero causado por los gases emanados en la combustión de diesel de petróleo.

Otro de sus beneficios es la generación de mano de obra en el sector agrario ya que es un proceso recursivo que requiere de mayor cantidad de puestos de trabajo que el diesel obtenido del petróleo, además de por supuesto ser un producto que puede ser elaborado a nivel enteramente nacional sin necesidad de importación de materias primas.

Genera independencia económica y energética, un país que fabrica su propio combustible ya no dependerá de las constantes alzas del mercado petrolero ni de las disputas causadas por la escasez del llamado "oro negro".

Mayor duración y lubricidad de los motores, ya que por haber sido obtenido de aceites vegetales sus propiedades lubricantes ayudan al motor a funcionar de forma más eficiente

Su elaboración no requiere de grandes y complicadas economías ya que el proceso de obtención es lo bastante sencillo para ser incluso fabricado de forma casera.

Puede ser utilizado en caso de desastres ambientales como un derrame de petróleo en el mar.

El biodiesel, desde el punto de vista de la inflamabilidad y toxicidad, es más seguro que el gas-oíl proveniente del petróleo, no es peligroso para el ambiente y es biodegradable.

Las ventajas del biodiesel con respecto al diesel de petróleo se tipifican de la siguiente manera.



Las principales propiedades del Biodiesel.

Entre otras podemos enumerar las siguientes propiedades:

- Libre de contaminación
- Lubrica los motores
- Sencillo de elaborar
- Genera mano de obra
- Es Biodegradable
- Su producción es renovable
- Puede emplearse puro o combinado
- No se degrada con el tiempo
- No contiene azufre
- Mejora la combustión
- Prolonga la vida de los motores
- No es altamente inflamable
- Genera independencia económica
- Genera independencia energética
- No emite gases nocivos
- Es menos irritante para la epidermis
- Tiene un aroma agradable.

Ventajas del Biodiesel

- Ahorro de combustibles agotables. En la medida en la que se sustituye el empleo de derivados del petróleo por biocombustibles de origen renovable.
- Diversificación energética.
- Desarrollo agrícola. Una fuente renovable de producción de combustibles alternativos con origen en la agricultura permite a la sociedad disponer de una fuente de empleo adicional y de un aprovechamiento de terrenos que en algunos casos no pueden ser usados para otros cultivos por restricciones políticas o condiciones del terreno.
- Una de las ventajas más importante, está relacionada con la emisión neta de CO₂. La emisión de CO₂, a pesar de no estar regulada, es de gran preocupación, por ser un gas que contribuye al efecto invernadero del planeta. Además, el sector transporte destaca por contribuir más que ningún otro sector a las emisiones de CO₂. El empleo de biodiesel, juega un papel muy importante en este aspecto, puesto que cuando se emplea como combustible, el CO₂ emitido por el motor se contrarresta durante el crecimiento del cultivo agrícola del que procede, a través de la fijación por fotosíntesis. Esto cierra el ciclo de vida del CO₂, eliminándose por tanto su emisión neta.

Numerosos estudios han comprobado, al emplear biodiesel, una reducción en la formación de monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados y núcleos de hollín (ver tabla 2.1). La justificación a este hecho radica en la presencia de oxígeno en la molécula de biodiesel, que aumenta la disponibilidad de comburente en el cilindro, favoreciendo una combustión más completa. Según la tabla 2.1 al sustituir biodiesel por diesel |de petróleo se consigue una disminución del 48% de monóxido de carbono.

Tabla 2.1 Emisiones promedio de Biodiesel comparadas con las de Diesel

<i>TIPO DE EMISION REGULADAS</i>	<i>B 100</i>	<i>B 20</i>
Hidrocarburos Totales	-67%	-20%
Monóxido de Carbono	-48%	-12%
Particulas	-47%	-12%
NO _x	10%	2%

- El biodiesel es un combustible biodegradable, lo cual ayuda a minimizar el impacto en caso de derrame accidental, además de ser muy indicada su utilización en motores de lanchas y barcos.
- El biodiesel tiene un mayor número de cetanos, lo cual mejora el proceso de combustión, permite aumentar la relación de compresión del motor (conlleva un aumento del rendimiento de éste) y produce menos ruido.
- Presenta un mayor poder lubricante, con lo que se disminuye la necesidad de incluir aditivos en el combustible para mejorar esta propiedad.

Aunando a las ventajas propias del biodiesel, la presente propuesta representa una conjunción de distintos conocimientos, para la obtención de unos dispositivos mecatrónico y una posible solución al problema agrícola de diferentes plantíos la cual, podría convertirse en un gran potencial en la producción de biodiesel.

El incremento en los precios internacionales del petróleo y las perspectivas de su baja disponibilidad o de agotamiento entre los próximos 50 o 100 años, hace necesaria la búsqueda constante de fuentes alternas de energéticos. De la misma forma, la degradación de la calidad de vida en las grandes ciudades industriales, a causa de los altos índices de contaminación alcanzados en la

biosfera y en la atmósfera de nuestro planeta, ha impulsado la búsqueda constante de combustibles amigables con el Medio Ambiente.

En Europa y Estados Unidos, la producción de biodiesel derivado de aceites de origen vegetal ha tomado un lugar estratégico, en respuesta al incremento exagerado del precio del petróleo y a la perspectiva mundial de agotamiento de éste en un corto plazo. En México, ha sido poco el interés para utilizar los recursos renovables como fuentes alternativas de energía.

El proceso de producción de biodiesel involucra, como reactivos, el aceite vegetal comestible, metanol o etanol y sosa cáustica. Además de necesitar un lugar en el cual llevar a cabo las reacciones de los reactivos con el aceite vegetal (reactor), el gran avance tecnológico de las últimas décadas permite llevar a cabo una medición y control más precisa y mejorar el aprovechamiento de estos recursos.

La instalación de sensores en el reactor permite registrar las variables más importantes en el proceso almacenar esa información y enviarla a una computadora donde se puede ver el comportamiento del proceso, así como alterar su funcionamiento.

El tiempo invertido por las personas encargadas de la realización del proceso para medir las diferentes variables en forma manual es bastante extenso, lo cual ocasiona errores en el proceso, además de alentar el mismo.

En la tabla 2.2 se resumen las características típicas del biodiesel y del diesel petrolífero

Tabla 2.2 Características típicas del biodiesel y diesel

Datos físico - químicos	Biodiesel	Diesel
Composición combustible	Ester metílico ac. Grasos C ₁₂ -C ₂₂	Hidrocarburo C ₁₀ -C ₂₁
Poder calorífico inferior, Kcal./Kg. (aprox.)	9500	10800
Viscosidad cinemática, CST (a 40°C)	3,5 - 5,0	3,0 - 4,5
Peso específico, g/cm ³	0,875 - 0,900	0,850
Azufre, % P	0	0,2
Punto ebullición, °C	190 - 340	180 - 335
Punto inflamación, °C	120 - 170	60- 80
Punto escurrimiento, °C	-15 / +16	-35 / -15
Número cetenos	48 - 60	46
Relación estequiometria Aire/comb. p/p	13,8	15

Emisiones.

- Monóxido de carbono (CO): la emisión durante la combustión del biodiesel en motores diesel es del orden del 50% inferior (comparada con aquella que produce el mismo motor con combustible diesel). Es conocida la toxicidad del monóxido de carbono sobre todo en las ciudades.

- Dióxido de azufre (SO_2): no se produce emisión de dióxido de azufre por cuanto el biodiesel no contiene azufre. El dióxido de azufre es nocivo para la salud humana así como para la vegetación.
- Material particulado: esta emisión con el empleo del biodiesel se reduce del 65% respecto del combustible diesel. Las partículas finas son nocivas para la salud.
- Productos orgánicos aromáticos: el biodiesel no contiene productos aromáticos (benceno y derivados) siendo conocida la elevada toxicidad de los mismos para la salud.
- Balance de dióxido de carbono (CO_2): el dióxido de carbono emitido durante la combustión del biodiesel es totalmente reabsorbido por los vegetales. Por lo tanto el biodiesel puede ser considerado un combustible renovable.

Empleando el biocombustible obtenido a partir del aceite de soja en una proporción del 20% con petrodiesel se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Resultados del uso de biodiesel a partir de aceite de soja

Cambio % en las emisiones	
NO_x	+ 2,0 %
Particulado fino	- 10,1%
Hidrocarburos	- 21,1%
CO	- 11,0%

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Construir un prototipo a nivel laboratorio para generar biodiesel además del Análisis del comportamiento de las variables características en cada uno de los procesos de producción de Biodiesel mediante la operación de los sensores de tipo industrial de forma inalámbrica.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar e implementar un sistema de adquisición de datos basado en una red de sensores inalámbricos.
2. Medir y monitorear las variables características en cada uno de los procesos de producción de Biodiesel (pH, presión, temperatura, consumo de agua, vacío, catalizador, entre otras) que intervienen en el proceso.
3. Diseñar y construir un prototipo de generación de biodiesel para efectos de pruebas.
4. Comprobar la operación del modelo en tiempo real a través de la implementación del reconocimiento de estados funcionales en línea por medio de la instalación de por lo menos 2 sensores (pH y Temperatura).
5. Determinar la mejor combinación de aceite vegetal-alcohol-catalizador de donde se obtenga la mayor conversión.
6. Automatizar el proceso.

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Este proyecto tiene como objetivo monitorear de manera inalámbrica el proceso de biodiesel pero como no tenemos un prototipo que ya produzca necesitamos antes que nada tener uno por lo cual a lo largo del periodo tuvimos la necesidad de buscar la información adecuada para los procesos de obtención de biodiesel y así tener una idea de cómo podríamos crear nuestro propio reactor, como combinar las materias primas y en qué cantidad.

En este proceso nos encontramos con los siguientes inconvenientes:

- ❖ El tiempo de adquisición del material a utilizar en el proyecto fue un poco lento por lo cual no se pudo avanzar a un ritmo constante, el principal problema fue el reactor que tiene que ser de material inoxidable, sellado y con un fondo en forma de cono, este para encontrarlo fue difícil y la solución fue mandarlo a hacer pero el fabricante se demoró un periodo de tres meses.
- ❖ Después de lo del reactor ya teniendo armado el prototipo nos encontramos con la dificultad en el manejo de los componentes químicos por lo cual buscamos apoyo con los compañeros del área de bioquímica y la poca disponibilidad de su tiempo retrasó aun más la elaboración.
- ❖ No se pudo encontrar un modo eficiente de distribuir los componentes de manera automática debido al tiempo
- ❖ Alto costo de los materiales así como de los químicos presentes en la producción de biodiesel
- ❖ Poco material para realizar pruebas.
- ❖ Por todas estas limitaciones solo alcanzamos a armar el prototipo, crear biodiesel de manera muy empírica y a tener la información necesaria, los componentes electrónicos para hacer que el proceso sea de manera electrónica y automática.

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

La red de sensores inalámbricos ha crecido de una forma muy rápida, que los ha convertido en una tecnología de gran auge. En 1997 el Instituto de Ingenieros eléctricos y electrónicos IEEE desarrolla el estándar 802.11 o WLAN1 el cual tiene una gran tasa de transferencia de datos que alcanza aproximadamente 2 [Mbps]. Actualmente en el mercado los protocolos de comunicación inalámbrica más populares son el 802.11.b con una tasa de transferencia de 11 [Mbps] y el 802.11.a con una tasa de 54 [Mbps].

Es así que las redes inalámbricas están en constante crecimiento de tal forma que día a día han ido reemplazando en algunas aplicaciones específicas, como sistemas de control, mediciones de variables ambientales y sistemas de seguridad entre otras, a la tecnología de redes cableadas dada su flexibilidad y fácil instalación. Su desarrollo y tecnología ha sido capaz de integrar en éstas a pequeños dispositivos llamados sensores. Esto nos lleva a conocer una tecnología reciente, innovadora, capaz de solucionar problemas de forma rápida y confiable. Es así que las redes de sensores inalámbricas revolucionan la forma que entendemos y manejamos los sistemas físicos, desde las alas de un avión hasta complejos eco-sistemas. La disponibilidad de sensores de bajo consumo, actuadores, procesadores embebidos y transmisores permite la aplicación del sensado inalámbrico distribuido a una gran variedad de aplicaciones incluyendo monitoreo ambiental (aire, agua, suelo, variables químicas), vigilancia militar, instrumentación de planta, seguimiento de inventario, aplicaciones médicas y por último la agricultura.

Actualmente una de las necesidades más importantes de esta variedad de aplicaciones es contar con la información lo más rápido posible, es así que las redes de sensores inalámbricas proveen una latencia de procesamiento muy baja, es decir, son capaces de transmitir los datos tan rápidos como sean capturados por el sensor a través de la red, enrutando así los paquetes hasta el nodo destino, permitiendo así una respuesta oportuna al estímulo.

Así se tiene que las redes de sensores inalámbricas son actualmente una tecnología de punta aplicada a las necesidades actuales en el mercado, que requieran soluciones rápidas y de fácil implementación. Las redes de sensores inalámbricas es una tecnología en constante desarrollo, es así que distintas asociaciones, empresas y universidades están dedicando tiempo e invirtiendo recursos en el desarrollo de la "Tecnología del Futuro".

5.1 BIODIESEL

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.

Es un combustible oxigenado, lo cual implica reducciones importantes en las emisiones

- Hidrocarburos no quemados: -70%
- Monóxido de carbono: -50%
- Materias particulada: -50%
- NOx: Constante o ligero aumento

5.2 PROCESO

Las grasas animales y vegetales son triglicéridos, formados por glicerina y ácidos grasos. Al hacer biodiesel se transforman los aceites en ésteres, separando la glicerina, que se hunde hasta el fondo. El biodiesel flota encima y puede aspirarse con un sifón.

Este proceso se llama transesterificación. Consiste en sustituir a la glicerina por un alcohol mediante una reacción química con lejía como catalizador.

5.3 PRODUCTOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIESEL

El alcohol puede ser metanol, que forma metilésteres, o etanol, que forma etilésteres. La mayor parte del metanol procede del petróleo, aunque puede producirse a partir de la madera. El etanol suele proceder de las plantas (aunque también puede producirse a partir de petróleo) y puedes destilarlo tú mismo. Todavía no existe un método "casero" de producir metanol. Pero el proceso de biodiesel con etanol es más difícil que con metanol, no es para principiantes.

El etanol (o alcohol etílico, C_2H_5OH) también tiene varios nombres bien conocidos, como vino o cerveza. El metanol es venenoso. En realidad los dos son venenosos, pero en distinta medida; el metanol es más peligroso. Pero no te asustes, no es peligroso si tienes cuidado, es fácil manejarlo sin peligro. Todo lo que se explica aquí es seguro.

El metanol también es llamado alcohol metílico, alcohol de madera, nafta de madera, metil hidrato, carbinol, metilol, metil hidróxido, hidroximetano, monohidroximetano, o $MeOH$ (CH_3OH o CH_4O). Todos son lo mismo. Pero "metilcarbinol" o "metil carbinol" se usa tanto para el metanol como para el etanol.

Normalmente se puede conseguir metanol al por mayor de los distribuidores de combustibles líquidos. Con un poco de paciencia en la mayoría de los países se puede conseguir un suministro de metanol por \$ 2-3 el galón (3,78 lts).

El metanol también se vende como combustible para barbacoa, pero comprueba su composición. El combustible para barbacoa a veces es gasolina. Asegúrate de que lo que compras es metanol, si no el proceso no funcionara.

El alcohol etílico desnaturalizado y el alcohol isopropílico no sirven para producir biodiesel.

La lejía, o catalizador, puede ser hidróxido de sodio (sosa caustica, NaOH) o hidróxido de potasio (KOH). Los productores domésticos experimentados y los productores comerciales, normalmente usan KOH, que además puede proporcionar fertilizante de potasio como subproducto.

Con KOH el proceso es el mismo, salvo porque hacen falta 1,4 veces más catalizador exactamente 1,4025).

Puedes comprar NaOH y KOH a proveedores para la fabricación de jabones y a proveedores de productos químicos.

El NaOH se vende en las droguerías como limpiador de desagües. Tiene que ser NaOH puro. Agita el bote para comprobar si se ha apelmazado por la humedad. Tienes que conservar la lejía protegida del aire y la humedad.

No utilices productos con los granos azules o púrpuras, ni de cualquier otro color, porque solo tienen la mitad de NaOH, y contienen aluminio. Esos productos no sirven para hacer biodiesel. Los granos deben ser translúcidos.

5.4 ACEITES Y GRASAS

Las grasas y los aceites están compuestos de ésteres: monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos (siendo estos últimos los más comunes) y de ácidos de cadena larga, llamados ácidos grasos, (ver figura 5.1).

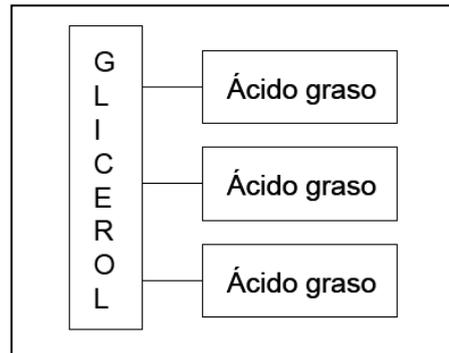
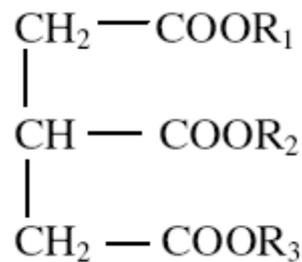


Figura 5.1 Composición de un aceite o grasa.

La mayoría de los aceites y grasas son triglicéridos mixtos, pues tienen dos o tres ácidos grasos diferentes. La diferencia que existe entre los aceites y las grasas radica en los enlaces de los ácidos grasos presentes en la molécula (ver figura 5.2). Las grasas tienen ácidos grasos en los que predominan los enlaces sencillos (saturados) y los aceites tienen ácidos grasos con varios enlaces dobles (insaturados).



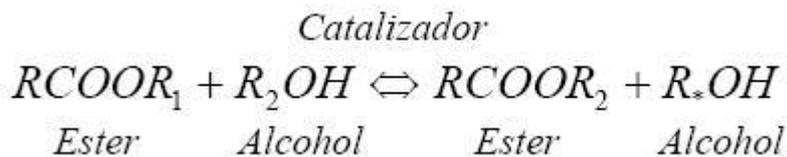
Fórmula genérica de los triglicéridos

5.5 TRANSESTERIFICACIÓN

A través del proceso de transesterificación de los aceites vegetales y su reacción con un alcohol (normalmente, metanol), se obtienen los ésteres

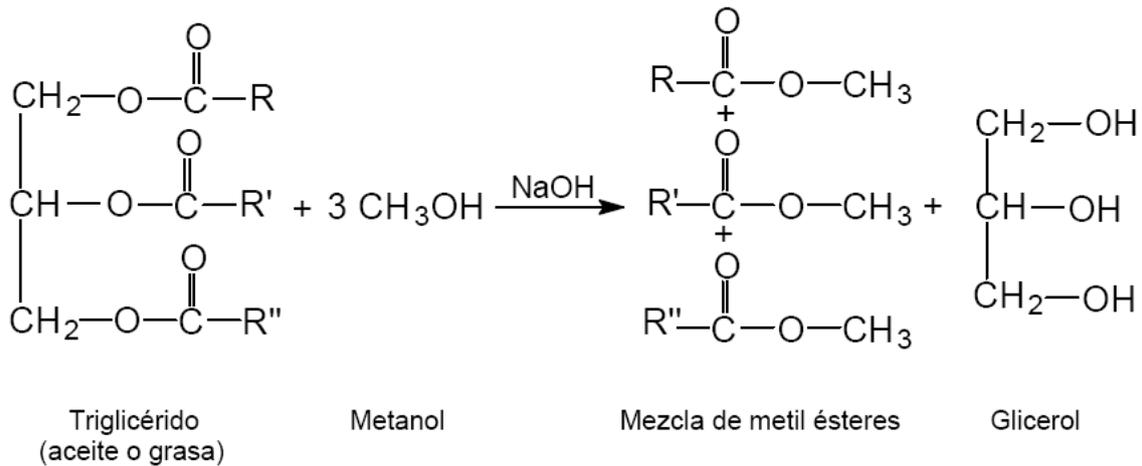
metílicos derivados, que son compuestos oxigenados con características similares en su comportamiento a las del diesel, principalmente en lo referente a la viscosidad, temperatura de ebullición, residuo carbonoso, número de ceteno, etcétera.

Transesterificación o alcoholisis, es el desplazamiento del grupo alcoxi (grupo alquilo unido a un átomo de oxígeno, RO_x 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. La reacción de transesterificación está representada por la ecuación general 5.1.



Ecuación 5.1 Reacción de transesterificación

Si el alcohol usado en este proceso es el metanol, se le llama metanólisis. La metanólisis de un triglicérido se aprecia en la figura 1.4. Sin embargo para que la reacción ocurra en un tiempo razonable y se logre una mayor conversión, es necesario adherir un catalizador a la mezcla del aceite vegetal y metanol, amén que sin él no se logre la reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos (H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, RSO₃), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas, SO₄/ZrO₂, WO₃/ZrO₂), básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/Al₂O₃), básicos homogéneos (KOH, NaOH) o enzimáticos (Lipasas: Candida, Penicillium, Pseudomonas); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos, sosa cáustica (NaOH) e hidróxido de potasio (KOH), ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas .



Ecuación 5.2 Reacción de transesterificación de triglicérido con metanol

5.6 LAVADO

Hay que lavar el biodiesel para quitarle el jabón, el metanol, la lejía, la glicerina y otras impurezas.

Existen tres tipos diferentes de lavado.

- Lavado con niebla
- Lavado con burbujas
- Y lavado por agitación

5.6.1 Lavado con niebla

El lavado con niebla consiste en rociar una nube de gotitas minúsculas que caen sobre la superficie sin perturbar el líquido y lo atraviesan arrastrando al fondo las impurezas. Funciona, por lo menos lava el biodiesel, aunque es lento y necesita mucha agua, que no suele reutilizarse

5.6.2 Lavado con burbujas

El lavado con burbujas fue desarrollado en la Universidad de Idaho y es popular entre los productores caseros. Hacen falta una pequeña bomba de aire (suelen utilizarse las de acuario) y una piedra difusora. Se ponen agua y biodiesel en el tanque de lavado.

Tiene que haber entre 1/4 y 1/2 más de agua que de biodiesel. El agua está en el fondo, donde se encuentra la piedra difusora, y el combustible flota encima.

Las burbujas de aire (mejor que sean muchas y muy pequeñas) suben atravesando primero el agua y luego el biodiesel. Cada gota queda cubierta por una fina película de agua y la eleva a través del biodiesel, lavándolo por el camino. Cuando la burbuja estalla en la superficie deja caer la gotita de agua que la acompañaba, que vuelve al fondo atravesando de nuevo el biodiesel y lavándolo más.

Para que quede bien limpio hacen falta tres o cuatro lavados consecutivos de entre seis y ocho horas de duración cada uno (el primero suele ser más corto), con un reposo intermedio de al menos una hora entre lavado y lavado, aunque algunos lo dejan reposar mucho más.

Después del reposo el agua se saca por un desagüe del fondo para sustituirla por agua limpia. Al final del último lavado el agua debe estar cristalina, con pH 7 aproximadamente (ver figura 5.5).

Algunas piedras difusoras baratas se desmenuzan por culpa del biodiesel, especialmente las de color azul. Las cerámicas son mejores y duran indefinidamente.

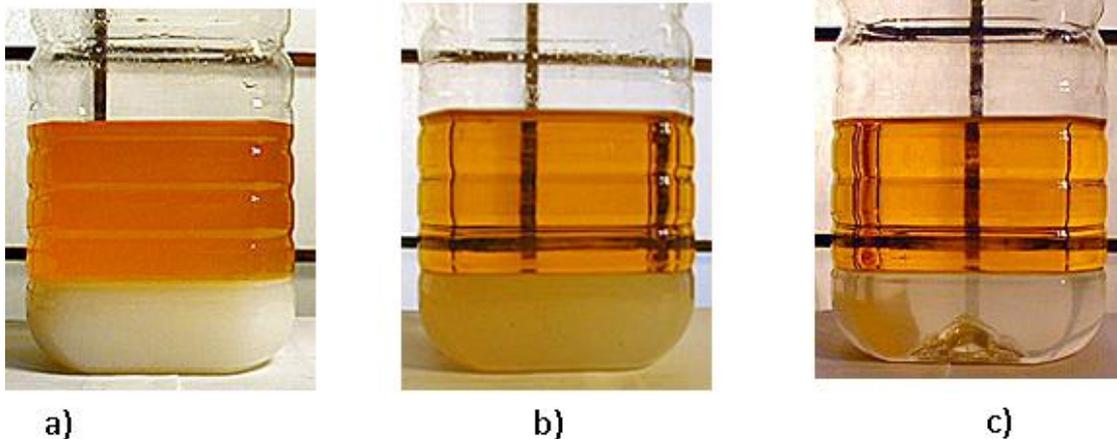


Figura 5.5 Lavado con burbujas, a) primer lavado; b) segundo lavado, c) tercer lavado.

Ventajas del lavado con burbujas:

Es fácil, funciona y no da preocupaciones; pon agua, enciende la bomba y vuelve más tarde.

Inconvenientes:

Tarda mucho. Hay formas mejores y más rápidas (mira más abajo). También oxida el combustible.

El lavado con burbujas es delicado y puede ocultar una reacción incompleta, que se haría evidente agitando la mezcla. Siempre es bueno hacer una prueba antes de lavar, agitando un bote con biodiesel y algo de agua para ver si luego se separan bien.

Otro problema es que el lavado con burbujas oxida el combustible. Cada aceite tiene sus características. Algunos son aceites secantes, como el de linaza, que se usa en pinturas. Cuando se seca se polimeriza y forma un sólido parecido al plástico. Con las altas temperaturas que hay en los motores de combustión interna la polimerización se acelera. Ocurre cuando el oxígeno atmosférico rompe los enlaces dobles de los aceites insaturados. Todos sabemos lo que hace una bomba para acuario: bombea oxígeno en el agua; en el lavado con burbujas bombea oxígeno en el biodiesel.

5.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.

Ventajas:

- El biodiesel disminuye de forma notable las principales emisiones de los vehículos, como son el monóxido de carbono y los hidrocarburos volátiles, en el caso de los motores de gasolina, y las partículas, en el de los motores diesel.
- La producción de biodiesel supone una alternativa de uso del suelo que evita los fenómenos de erosión y desertificación a los que pueden quedar expuestas aquellas tierras agrícolas que, por razones de mercado, están siendo abandonadas por los agricultores.
- El biodiesel supone un ahorro de entre un 25% a un 80% de las emisiones de CO₂ producidas por los combustibles derivados del petróleo, constituyendo así un elemento importante para disminuir los gases invernadero producidos por el transporte.
- Por su mayor índice de octano y lubricidad reduce el desgaste en la bomba de inyección y en las toberas.
- No tiene compuestos de azufre por lo que no los elimina como gases de combustión.
- El biodiesel también es utilizado como una alternativa de aceite para motores de dos tiempos, en varios porcentajes; el porcentaje más utilizado es el de 10/1.
- El biodiesel también puede ser utilizado como aditivo para motores a gasolina (nafta) para la limpieza interna de estos.

Desventajas:

- Debido a su mejor capacidad solvente con respecto al petrodiesel, los residuos existentes son disueltos y enviados por la línea de combustible, pudiendo atascar los filtros, caso que se da únicamente cuando se utiliza por primera vez después de haber estado consumiendo diesel mineral.
- Tiene una menor capacidad energética, aproximadamente un 3% menos, aunque esto, en la práctica, no es tan notorio ya que es compensado con el mayor índice ceteno, lo que produce una combustión más completa con menor compresión.
- Ciertas hipótesis sugieren que se producen mayores depósitos de combustión y que se degrada el arranque en frío de los motores, pero esto aún no está documentado.
- Otros problemas que presenta se refieren al área de la logística de almacenamiento, ya que es un producto hidrófilo y degradable, por lo cual es necesaria una planificación exacta de su producción y expedición. El producto se degrada notoriamente más rápido que el petrodiesel.
- Hasta el momento, no está claro el tiempo de vida útil del biodiesel; algunos sostienen que posee un tiempo de vida muy corto (meses), mientras que otros afirman que su vida útil llega incluso a 10 años o más. Pero todos concuerdan que depende de su manipulación y almacenamiento.

5.8 SENSORES.

5.8.1 Sensor Pt100

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 (ver figura 5.6).

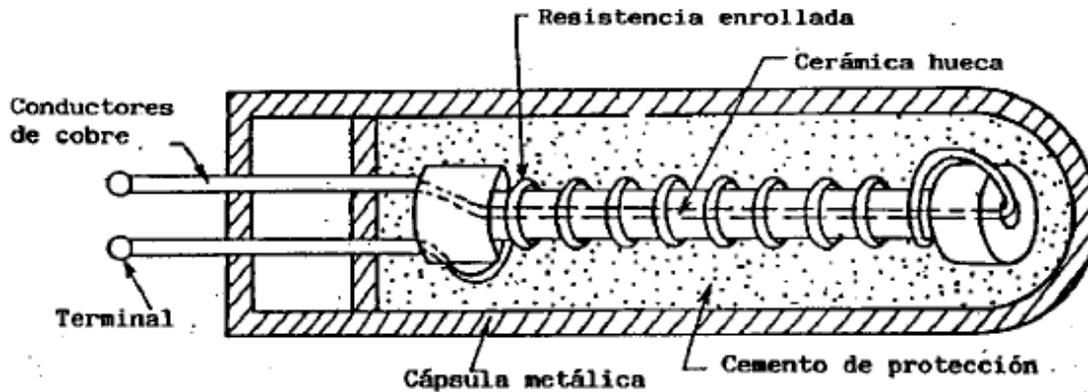


Figura 5.6 Estructura interna de un pt100.

La ecuación que relaciona su resistencia con la temperatura se puede apreciar en la ecuación 5.3.

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta T + \alpha^2 \Delta T^2 + \dots)$$

Ecuación 5.3

Donde: R_0 = Resistencia a la temperatura de referencia (habitualmente 0 °C).
 $\Delta T = T^a - T$ referencia α, α^2 = coeficientes de temperatura. (También suelen expresarse como A, B, C, etc.)

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.

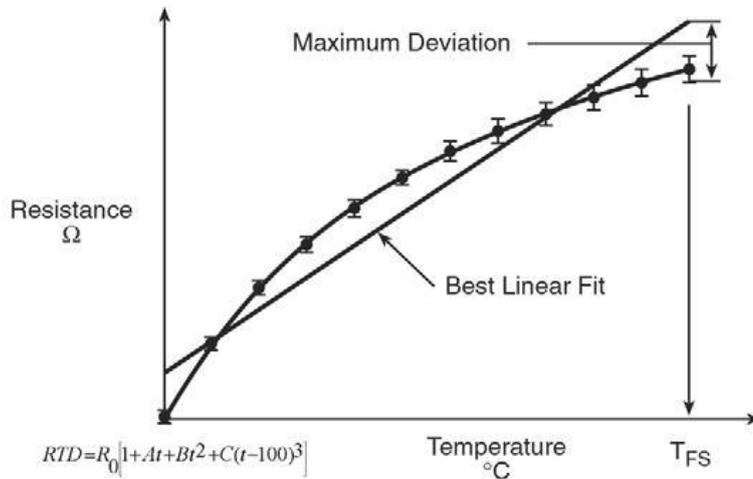


Figura 5.7 Curva de calibración típica de una RTD (Ecuación Callendar- Van Dusen). Observar su alinealidad. El coeficiente C es cero para temperaturas superiores a 0° C.

Los sensores 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.

El material utilizado para la fabricación de los sensores RTD, pueden apreciarse en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Características del material usado para la fabricación de sensores RTD

METALES	RESISTIVIDAD (ρ)	COEFICIENTE TÉRMICO (α)	INTERVALO ÚTIL DE TEMPERATURA		DIÁMETRO MÍNIMO DEL HILO	PRECISIÓN USUAL
	Ωm	K ⁻¹	°C		mm	°C
Platino	10,6·10 ⁻⁸	3,9·10 ⁻³	-200	950	0,05	0.01
Niquel	6,84·10 ⁻⁸	7·10 ⁻³	-150	300	-	0.50
Cobre	1,68·10 ⁻⁸	4,3·10 ⁻³	-200	120	-	0.10

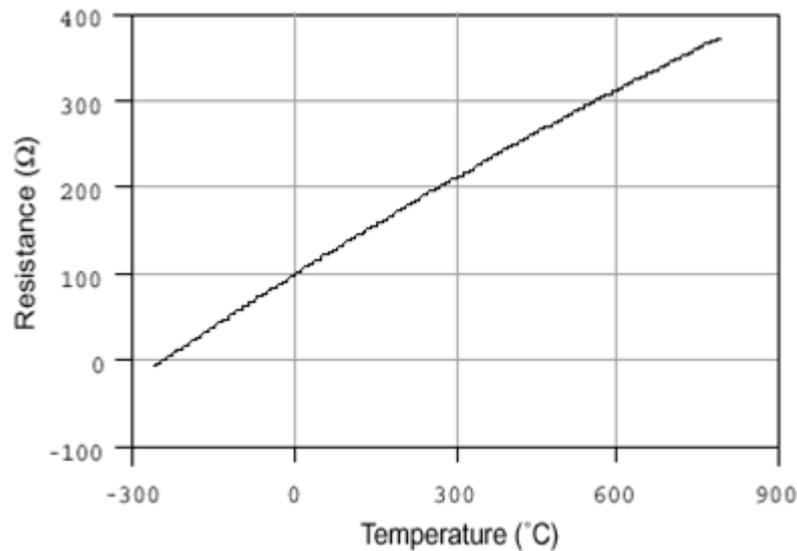
En la tabla 5.2 se muestra la comparación de los sensores de temperatura RTD con otros tipos de sensores existentes en el mercado.

Tabla 5.2 Comparación de sensores RTD con otros tipos de sensores

Ventajas	Rtd	Termistor	Sensoric	Termopar
↑	Más estable	Alto rendimiento	El ms lineal	Autoalimentado
	Más preciso	Rápido	El de mayor rendimiento	Robusto
	Mas lineal termopar	Medida 2 hilos	Económico	Económico
				Amplia variedad Formas físicas
				Amplia gama de temperaturas
Desventajas	Rtd	Termistor	Sensoric	Termopar
↓	Caro	No lineal	Limitado at<250°c	No lineal
	Lento	Rango de t. Limitado	Lento	Baja tensión
	Precisa fuente al.	Precisa fuente al.	Precisa fuente al.	Precisa referencia
	Peq. Cambio resistencia.	Frágil	Config. limitada	Menos estable
	Medida 4 hilos	Autocalentable	Autocalentable	Menos sensible
	Autocalentable			

La RTD más popular, conocida como PT100 está constituida por un hilo de platino cuya resistencia nominal es de 100 °C a 0° C. La utilización del platino consigue la mayor precisión y estabilidad hasta 500° aprox. Coeficiente más significativo $\alpha = 0^{\circ}00385$.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde (ver figura 5.8).



. Resistance-Temperature Curve for a 100 Ω Platinum RTD, $\alpha = 0.00385$

Figura 5.8 Incremento de resistencia de un sensor RTD con Platino

El material del cual está formado el sensor tiene un coeficiente de temperatura de resistencia α , el cual determina la variación de resistencia del conductor por cada grado centígrado, esto se expresa de la siguiente manera

$$R_t = R_o(1 + \alpha t)$$

Donde:

R_o = resistencia en Ω (ohms) a 0°C

R_t = resistencia en Ω (ohms) a $t^\circ\text{C}$

t = temperatura actual

α = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0°C y 100°C es de $0.003850\Omega \times (1/\Omega) \times (1/^\circ\text{C})$ en la escala práctica de temperaturas internacionales (IPTS-68).

La mejor linealidad y el rango de temperatura que estas soportan van desde -260 hasta 1000 °C. (Ver figura 5.9).

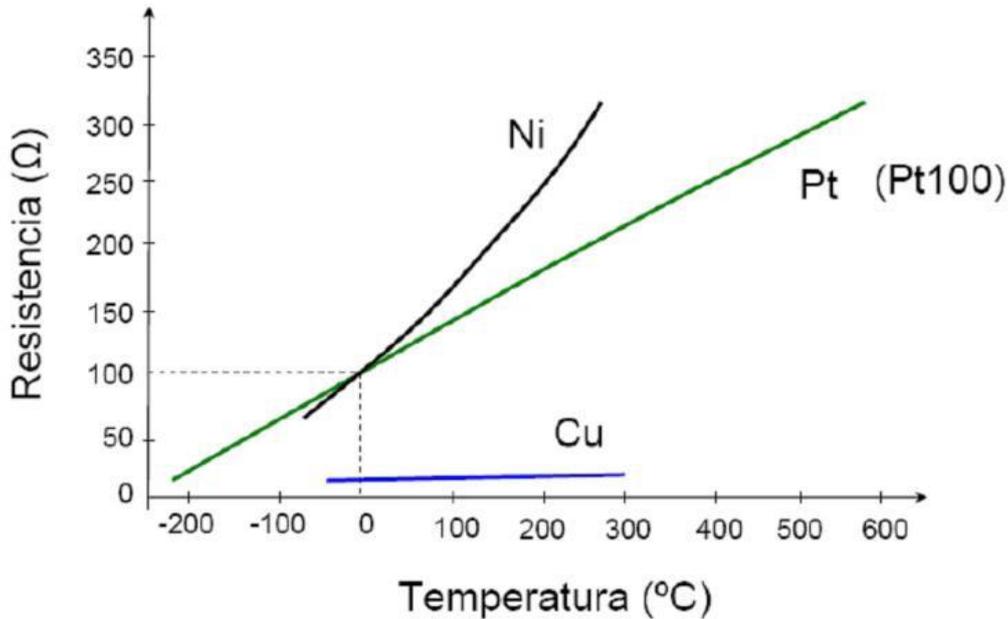


Figura 5.9 Incremento de resistencia según temperatura

En el caso de los sensores RTD, PT100, existen tres formas de poderlos conectar (para un PT100 de dos hilos, de tres o de cuatro hilos). El objetivo es determinar exactamente la resistencia eléctrica $R(t)$ del elemento sensor de platino sin que influya en la lectura la resistencia de los cables R_c . El PT100 requerido para este proyecto es el PT100 de 3 hilos

El modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables (ver figura 5.10).

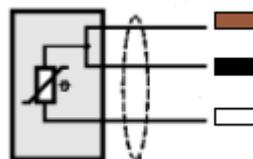


Figura 5.10 Configuración de colores de los cables de conexión.

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el "puente de Wheatstone". Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

En el caso particular de los instrumentos ARIAN, se hace pasar una corriente conocida a través de los cables azul y verde con lo cual el instrumento mide $2R_c$. Luego mide la resistencia por los cables café y azul para finalmente restarle $2R_c$ al valor medido y obtener $R(t)$.

Autocalentamiento y corriente del PT100 Se debe hacer pasar una cierta corriente I por el elemento sensor de modo de poder medir su resistencia. Esta corriente I llamada "corriente de excitación" la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo. Un problema que puede ocurrir es que la "corriente de excitación" genere por efecto Joule ($P=I^2R$) un calentamiento del elemento sensor aumentando su temperatura y produciendo así un error en la lectura.

Este problema es más pronunciado mientras más pequeña sea la Pt100 (menor capacidad de disipación del calor generado) y a la vez mientras se esté midiendo en un medio menos conductor de calor. Por ejemplo es mayor cuando se mide temperatura en el aire que cuando se la mide en el agua. Valores típicos del error producido en un Pt100 son del orden de 0.5°C por mW generado cuando la Pt100 está en aire sin circular y 0.05°C con la misma Pt100 en agua.

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave. Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del

medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

5.8.2 Sensor de PH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH es la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ 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.

Las tecnologías disponibles para la medición de pH pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Electroquímicos y Ópticos.
- Sensores electroquímicos

Son aquellos que utilizan dispositivos que transducen la actividad química del ión de hidrógeno en una señal eléctrica (ver figura 5.11). 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.

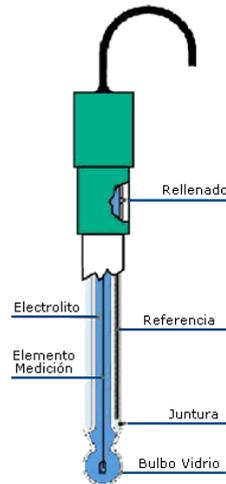


Figura 5.11 Sensor de PH

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.

Donde: R es la constante de los gases y vale $8,31 \text{ }^\circ\text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, T es la temperatura en $^\circ\text{K}$, F es la constante de Faraday que vale 96485 C y E_0 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 E_0 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^+ .

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 $M\Omega$) 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.

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-óxido metálico bastante utilizados son los de telurio, tungsteno, y molibdeno.

5.9 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:

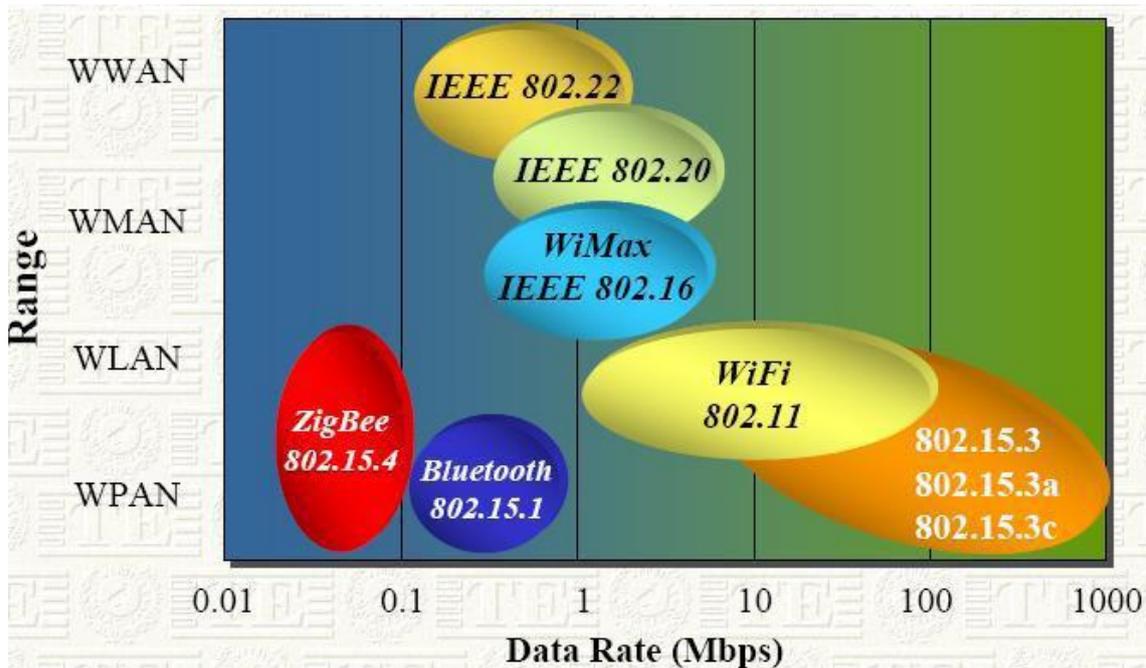


Figura 5.12 comparación de zigbee con otras formas de comunicación.

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 área 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.

En la figura 5.13 se puede apreciar las diversas aplicaciones que se le puede dar a este tipo de protocolo:



Figura 5.13 aplicación de 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 del 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.

5.9.1 Módulos inalámbricos Xbee y Xbee PRO (MaxStream)

Una red ZigBee la forman básicamente 3 tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (end points).

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.(ver figura 5.14).

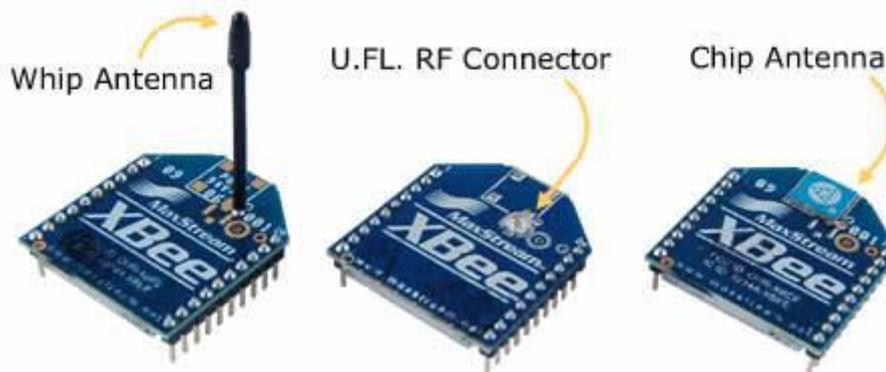


Figura 5.14 Modulo Xbee

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.

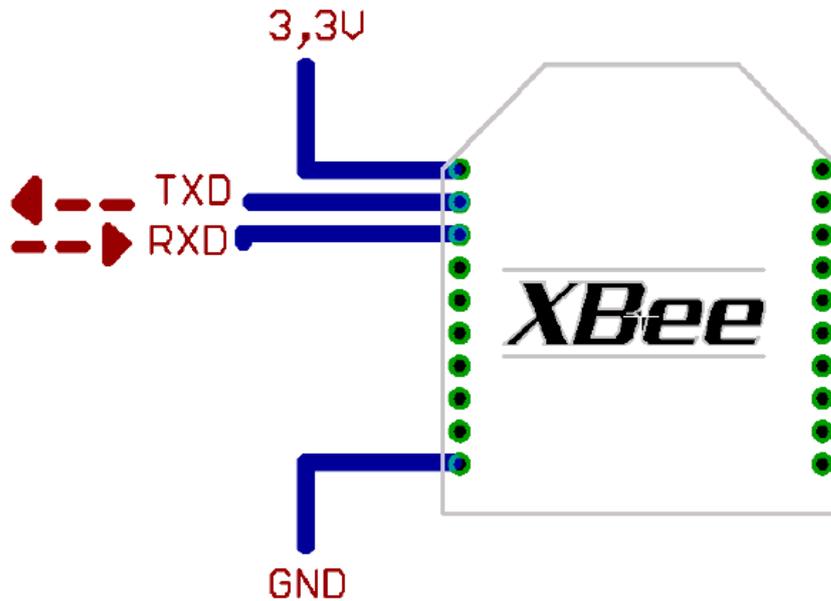


Figura 5.15 diagrama básico de Xbee.

5.10 MICROCONTROLADOR PIC.

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

Juego de instrucciones y entorno de programación.

El PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria,

instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada sleep.

Microchip proporciona un entorno de desarrollo freeware llamado MPLAB que incluye un simulador software y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C, BASIC como Mikroelectrónica. Microchip también vende compiladores para los PICs de gama alta ("C18" para la serie F18 y "C30" para los dsPICs) y se puede descargar una edición para estudiantes del C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

Programación del PIC.

Para transferir el código de un ordenador al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PICs que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (In Circuit Serial Programming, programación serie incorporada) o LVP (Low Voltage Programming, programación a bajo voltaje), lo que permite programar el PIC directamente en el circuito destino. Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación aplicando un voltaje de unos 13 voltios.

5.10.1 Microcontrolador PIC18f4550

PIC18: microcontroladores de 8 bits, con gran variedad de número de pines y prestaciones medias/altas.(ver figura 5.16).

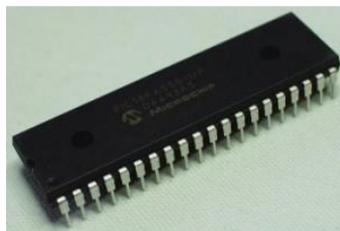


Figura 5.16 Microcontrolador PIC18F4550

Ventajas de los microcontroladores PIC de Microchip. (Ver tabla 5.3)

- Amplia gama: gran variedad de familias que permiten adaptar el uC a las necesidades de cada aplicación.
- Gran variedad de unidades funcionales (temporizadores, USART, I2C, SPI, unidades de comparación/captura/PWM, Convertidores A/D, USB, receptores/transmisores de RF, Ethernet, etc.)
- Precios competitivos.
- Buen soporte (datasheet, libros, notas de aplicación, seminarios, mucha información disponible en internet).

Tabla 5.3 Características del Microcontrolador PIC18F4550

CARACTERÍSTICAS	PIC18F4550	PIC18F2450
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	32.768	32.768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2.048	2.048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256	256
Interruptores	20	20
Líneas de E/S	35	24
Temporizadores	4	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	1	2
Módulos de Comparación/Captura/PWM Mejorado (ECCP)	1	0
Canales de Comunicación Serie	MSSP. EUSART	MSSP. EEUSAR
Canal USB	1	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	1	0
Canales de Conversión A/D de 10 bits	13 Canales	10 Canales
Comparadores Analógicos	2	2
Juego de Instrucciones	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)
Encapsulado	PDIP 40 pines QFN 40 pines TQFP 40 pines	PDIP 28 pines SOIC 28 pines

5.11 ELECTROVALVULA

Es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería (ver figura 5.17).

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.



Figura 5.17 Electroválvula

Existen varios tipos de electroválvulas. En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es corriente que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle. Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula deba estar abierta.

También es posible construir electroválvulas biestables que usan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrar o bien un solo solenoide que abre con un impulso y cierra con el siguiente.

Las electroválvulas pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o

bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Hay electroválvulas que en lugar de abrir y cerrar lo que hacen es conmutar la entrada entre dos salidas.(ver figura 5.18). Este tipo de electroválvulas a menudo se usan en los sistemas de calefacción por zonas lo que permite calentar varias zonas de forma independiente utilizando una sola bomba de circulación.

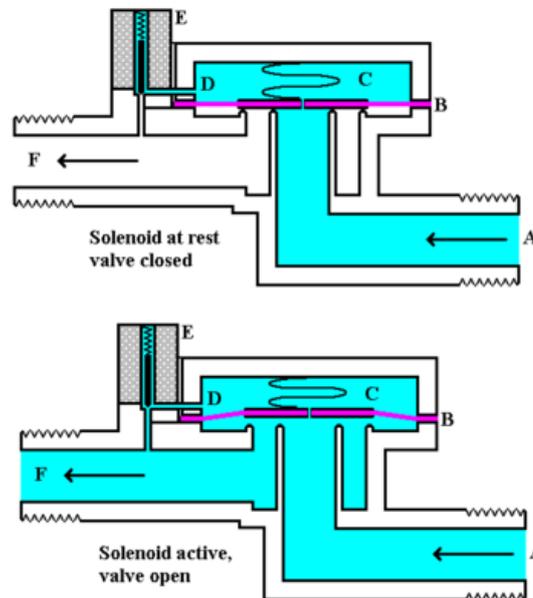


Figura 5.18 Diagrama interno de una Electroválvula. A-Entrada B-Diafragma C-Cámara de presión D- Conducto de vaciado de presión E- Solenoide F- Salida

En otro tipo de electroválvula el solenoide no controla la válvula directamente sino que el solenoide controla una válvula piloto secundaria y la energía para la actuación de la válvula principal la suministra la presión del propio fluido.

5.13 Agitador y Calentador

El cálculo para conocer la potencia del motor del agitador, tuvo como punto de partida la conclusión hecha en la etapa de experimentación; la intensidad de la agitación no es un factor determinante en la obtención de biodiesel, basta con que ésta sea suficiente para mantener una mezcla homogénea que favorezca el contacto de los reactivos, sobre todo en las etapas donde la viscosidad de la mezcla se incrementa.

Se eligió hacer uso de un motor eléctrico monofásico de 1800 rpm, considerando que no es muy común en el mercado y por tanto difícil de conseguir.(ver figura 5.19).



Figura 5.19 Calentador y agitador

6. METODOLOGIA

En el análisis y desarrollo del proyecto se tomaron una variedad de consideraciones en diferentes partes del proyecto. En los siguientes tópicos que se tocarán, se darán a conocer esas consideraciones.

Al inicio del desarrollo del proyecto se planteo como un sistema de adquisición de datos y monitoreo regular de los valores de dos de las variables más importantes de una planta de biodiesel, variables con las cuales los operadores de la planta pueden llevar un control preciso de las variables y su cambio durante el tiempo que dura el proceso, de mantener un historial de las diferentes lecturas tomadas durante cada día, de tener la posibilidad de almacenar este historial para un posterior uso o explotación de estos datos y de ahorrarse una infinidad de tiempo a la hora de tomar lectura de las variables, dado que muchos de estos procesos manuales llevan varios minutos de espera antes de obtener un resultado; así como también no podemos dejar de mencionar los errores provocados por descuidos al momento de la medición, o aún peor, debido al desajuste de algunos de los instrumentos de medida utilizados, debido al uso continuo o condiciones no apropiadas.

7. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

La presente propuesta de investigación pretende contribuir a la automatización de la planta de producción de biodiesel, con el fin de maximizar el rendimiento de dicha planta, en base al uso de herramientas electrónicas para un óptimo suministro de materia prima como son: (aceite vegetal o animal) así también como químicos participantes en las reacciones asociadas al proceso tales como el metanol, catalizador, ácido mineral y el monitoreo de los procesos realizados en los reactores y mezcladores. De acuerdo a las figura 7.1, las mediciones de las variables características estarían ubicadas en las diferentes unidades de proceso indicadas.

Diagrama de flujo del proceso

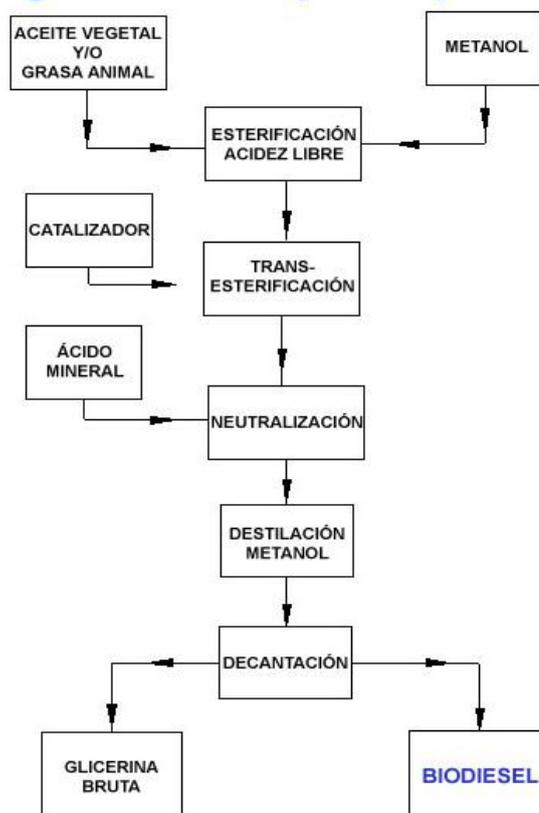


Fig. 7.1 Diagrama del proceso para la obtención de biodiesel.

El monitoreo de las variables características de la planta de producción de biodiesel es muy importante presentarla en las diferentes unidades del proceso ubicando cada uno de ellos así como se muestra en la figura 7.2.

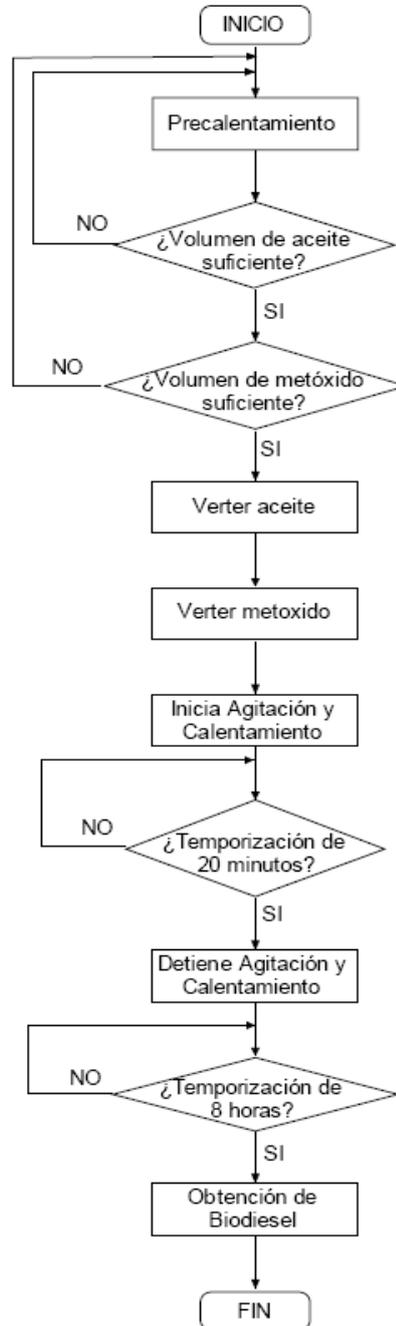


Figura 7.2 Diagrama típico de la operación de una planta de biodiesel

7.1 PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

7.1.1 Tipo de proceso.

El proceso de transesterificación que se llevará a cabo en el prototipo podrá considerarse por lotes aún y que, si después del tiempo de reacción se trasfiere la carga del reactor a otro tanque para que se separen la glicerina y el biodiesel, inmediatamente se puede iniciar una nueva carga.

7.1.2 Tamaño del prototipo.

El prototipo diseñado y construido como objetivo principal de este trabajo de residencia, representa el escalamiento a equipo piloto del proceso estudiado a nivel laboratorio. Las características de los materiales en que se construirá, la instrumentación y los sistemas de control para su operación servirán de modelo (prototipo), en caso de que se quiera reproducir el proceso a escala industrial. En este caso particular, se diseñó para una capacidad máxima de producción de biodiesel de 10 litros por lote.

7.1.3 Suministro de las sustancias.

A través de la acción de la gravedad se van a verter las sustancias que intervienen en la reacción, con esto, se anula el uso de un dispositivo de bombeo.

7.2 REACTOR.

La reacción de transesterificación para producir biodiesel se propicia en el reactor. Durante el tiempo de reacción se mantiene la mezcla en agitación, así como a la temperatura dentro del intervalo especificado. El tiempo de reacción y de agitación es de 25 minutos. Culminada la agitación, se deja reposar la mezcla en el mismo reactor para que se logre la separación de glicerina y

biodiesel por diferencia de densidades. Como mínimo se requieren de 4 horas para garantizar que se ha precipitado la totalidad de la glicerina.

La glicerina se precipita en el fondo del reactor, aunque no se hizo de forma cónica, es conveniente que la forma de dicho reactor sea parecida a un embudo, es decir de forma cónica, con ello permitirá drenar su contenido con mayor facilidad.

Considerando el tamaño del prototipo, el reactor se diseñó para manejar hasta un volumen de 10 litros de mezcla aceite-metóxido. Poniendo atención que al agitar, el nivel de la mezcla se incrementa.

7.2.1 Recipiente contenedor de aceite

Para almacenar el aceite vegetal se tomo un recipiente de plástico de grado 2, el cual fue el más adecuado para contener aceite, de 20 litros de capacidad que se muestra en la figura 7.3.



Figura 7.3 Recipiente para el aceite

7.2.2 Recipiente contenedor de metóxido

La mezcla de metanol y sosa cáustica se le conoce como metóxido, el cual estará contenido en un recipiente de plástico de grado 2, este es de 10 litros de capacidad mostrado en la figura 7.4.



Figura 7.4: Recipiente contenedor de metóxido

7.2.3 Armadura de soporte

La armadura fue diseñada para ser totalmente móvil, es decir, que se pueda transportar de un lugar a otro sin ningún problema pero de manera eficiente y que cada contenedor quede en la mejor posición en la producción de Biodiesel así como podemos apreciar su estructura en la figura 6.5.



Figura 6.5 Armadura de los diferentes contenedores.

8. CONSTRUCCION Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO.

8.1 CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

En una etapa inicial, se ensamblaron las partes que conformarían el reactor y los recipientes de aceite y metóxido de acuerdo a las cantidades requeridas.

El siguiente componente en ser construido fue la armadura de soporte, con uniones soldadas en su mayoría.

La colocación de los recipientes y el reactor en la armadura de soporte, permitieron definir las medidas de la tubería como se muestra en la figura 8.1.

La tubería de pvc y mangueras de $\frac{1}{2}$ " , conecta a los recipientes de aceite y metóxido con el reactor, a través de electroválvulas del mismo diámetro de conexión. El ensamble de los tramos de mangueras con las electroválvulas es de manera roscada.

El motor del agitador y calentador se acopló a un al reactor de acero inoxidable, El motor quedó instalado sobre la parte central de la tapa del reactor. (Ver figura 8.1)



Figura 8.1 Prototipo armado

7.2 El reactor y sus partes

En la figura 8.2 se muestra claramente la ubicación de cada contenedor de materia prima así como la parte en donde se mezclan, señalizadas con su función.

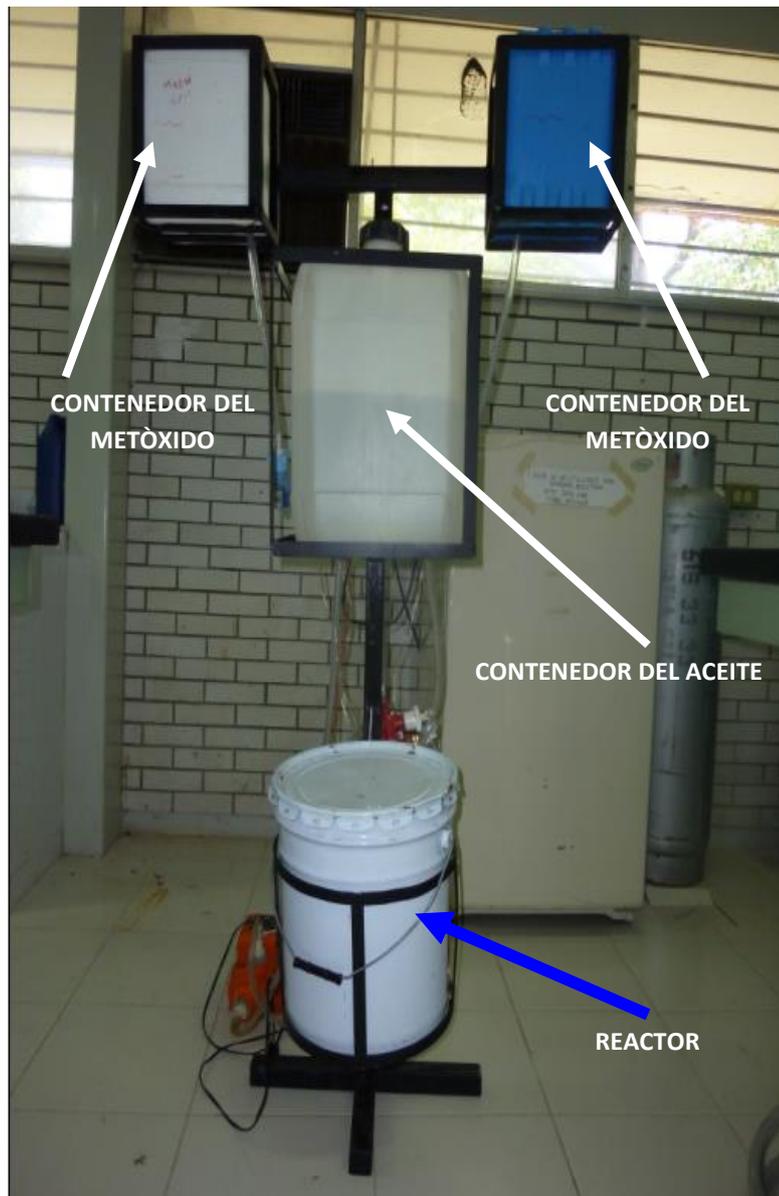


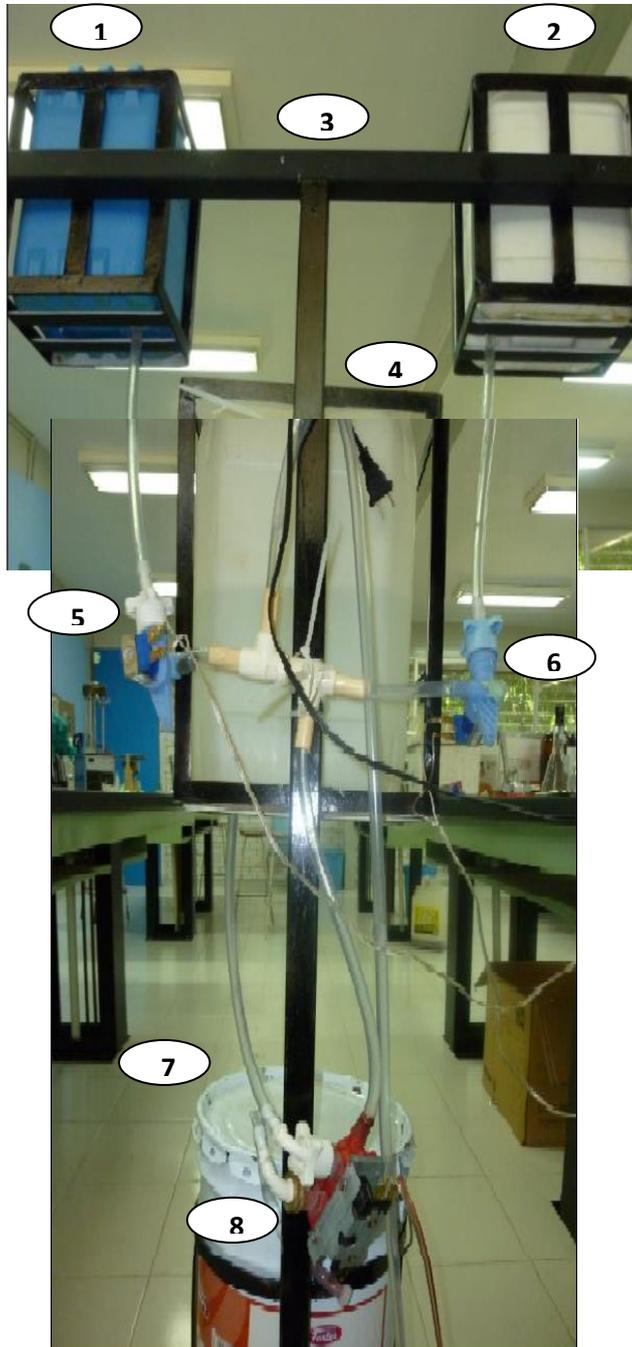
Figura 8.2 ubicación de contenedores del proceso.

Al igual que en la figura 8.2 mostramos la posición de los recipientes en la figura 8.3 se muestra la posición de las electroválvulas, las mangueras,

uniones y la parte del reactor en donde se toman las medidas del pH para ver que tan ácido en el producto obtenido y en la figura 8.4 se muestra y se enumeran cada componente principal del prototipo.



Figura 8.3 Interconexión entre los recipientes



COMPONENTES PRINCIPALES

1. CONTENEDOR DE METOXIDO
2. CONTENEDOR DE METOXIDO
3. ARMADURA DE SOPORTE
4. CONTENEDOR DE ACEITE
5. ELECTROVALVULA
6. ELECTROVALVULA
7. MANGUERAS
8. REACTOR
9. ELECTROVLVULA

Figura 8.4 Componentes principales del prototipo

8.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Habiendo terminado la construcción y armado del prototipo, se realizaron diferentes pruebas de su funcionamiento variando las condiciones de operación y volúmenes de producción de biodiesel.

Las pruebas de funcionamiento deben atestiguar que se estén realizando cada una de las etapas del proceso y que se obtengan resultados favorables en la obtención de biodiesel. De esta manera, los pasos que se verificaron en cada una de las pruebas fueron:

1. Comprobar la parte de la evaluación llamada, falta de aceite y/o metóxido.
2. Con los volúmenes necesarios de aceite y metóxido, arrancar la prueba.
3. Verificar lo siguiente, de acuerdo a las etapas del proceso:
 - a. Iniciar con un Pre calentamiento
 - b. Cuando alcance la temperatura deseada, pasará a la etapa de Vertiendo el aceite y encenderá el led correspondiente.
 - c. Continuará convirtiendo el metóxido.
 - d. Agitación y Calentamiento se activarán al mismo tiempo.
 - e. Visualizar en el cronómetro que el tiempo agitación sea de 25 minutos.
 - f. Cumplido los 25 minutos, empezará la Separación.
 - g. Después de 4 horas de estar en reposo, se abrirá la válvula a la salida del reactor. Se estará drenando la glicerina.

Cabe hacer mención que, con estas pruebas se comprobó la existencia de un escalamiento, en las cantidades de los reactivos usados.

9. CONCLUSIONES

El biodiesel no es nocivo para la salud humana, para la vegetación, los animales vivos y no daña monumentos y/o edificios. Por tal motivo su empleo es ventajoso frente al combustible diesel sobre todo para el transporte público en las grandes ciudades. Es seguro y fácil de transportar debido a que es biodegradable y posee un punto de inflamación más alto que el del combustible petrolífero.

Dado que la materia prima principal es el aceite vegetal, el biodiesel se convierte en un factor sobresaliente para promover el desarrollo regional en México.

Nuestro país es apto para la generación de biodiesel, ya que cuenta con la superficie y las condiciones para producir aceite vegetal, del cual se puede generar biodiesel.

Puede destacarse una serie de conclusiones generales del presente trabajo. A saber:

El biodiesel representa una alternativa extremadamente útil para un país agrícola como la Argentina.

Su aplicación comercial a gran escala no implica inversiones extras en adaptación, genera puestos de trabajo, y puede llegar a ser económicamente rentable.

El contenido de agua disuelta del metiléster de girasol (así como del metiléster de soja) puede sobrepasar ampliamente los límites exigidos por las normas internacionales de calidad d biodiesel, y

Se considera que los límites de las normas DIN y ASTM sobre contenido de agua no debieran ser taxativas.

Las bajas emisiones de combustión convierten al biodiesel en una alternativa atractiva para ciudades con problemas de contaminación severos, o ambientes frágiles (como Parques Nacionales)

Las extensas pruebas realizadas en todo el mundo con éste combustible demuestran que el mismo es competitivo con el gasoil, y representa una de las alternativas más viables en el campo de las energías renovables.

La reducción neta de humos (en escala lineal) fue de cerca de un 43%. El aumento de humos derivados de la combustión de gasoil fue de un 75% respecto a las emisiones del biodiesel.

La simplicidad del proceso de producción torna al BD una alternativa interesante para el autoabastecimiento de combustible de empresas agropecuarias productoras de oleaginosas.

El aceite de cocina usado es actualmente desechado o vendido a precios ínfimos para su reutilización, y su aprovechamiento para su conversión en biodiesel debe ser estudiado tanto por las implicancias ambientales (reciclaje) como por su utilidad en términos económicos.

10. 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 una teoría de control a las variables que intervienen en el proceso.
- Incluir una pantalla LCD, para visualizar la temperatura, 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 pruebas con distintos volúmenes de sustancias, sin necesidad de programar el PIC en cada cambio.
- Establecer una comunicación entre el prototipo para producir biodiesel y la computadora, mediante una interfaz.
- Establecer una temperatura homogénea del aceite, que funcione como temperatura inicial de la reacción de transesterificación.

11. REFERENCIAS.

- [1] Hernández, H., Camas, A., Pérez, M., Juárez, N., Mota, R. & LeLann, MV. "Intelligent control at the coagulation process in a drinking water treatment plant". *Journal of Advances in Computer Science and Engineering*, 42. pp. 347-358. 2009.
- [2] M. D. Cárdenas. El biodiesel, una alternativa sostenible al gasóleo convencional. *Boletín de la Universidad de Castilla-La Mancha*. España, 2006. [En línea]. Disponible: <http://www.uclm.es/>. Consultada en Junio, 2007.
- [3] Du, W., Xu, Y., Liu, D. & Zeng, J. "Comparative study on lipase – catalysed transformation of soybean oil for biodiesel production with different acyl acceptors". *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 30. pp. 125-130. 2004.
- [4] Hama, S., Yamaji, H., Kaieda, M., Oda, M. Kondo, A. & Fukuda, H. "Effect of fatty acid membrane composition on whole-cell biocatalysis for biodiesel-fuel production". *Biochemical Engineering Journal*, 21, pp. 155-160. 2004.
- [5] Meher, L.C., Saga, V. & Naik, S.N. "Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10. pp. 248-268. 2006.
- [6] Samukawa, T. et al. "Pretreatment of immobilized *Candida Antarctica* lipase for biodiesel production for plant oil". *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2(90). Pp. 180-183. 2000.
- [7] Zeng, J., Du, W., Liu, X., Liu, D. & Dai, L. "Study of the effect of cultivation parameters and treatments of *Rhizopus oryzae* cell-catalyzed transesterification of vegetable oils biodiesel production". *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*. 43. pp. 15-18. 2006.

- [8] Lara, A.V. & E. Park. "Lipase-catalyzed production of biodiesel fuel from vegetable oils contained in waste activated bleaching earth". *Process Biochemistry*. 38. pp 1077-1082. 2003.
- [9] Ma, F. & Hanna. "Biodiesel production: a review". *Bioresource Technology*. 70. pp 1-15. 1999.
- [10] Shieh, C. J., Liao, H.F. & Lee, C-C. Optimization of lipase-catalyzed biodiesel by response surface methodology". *Bioresource Technology*. 88. pp. 103-106. 2003.
- [11] Zagonel, G., Peralta-Zamora, P. & Ramos L. "Multivariate monitoring of soybean oil ethanolysis by FTIR". *Talanta*. 63. pp. 1021-1025. 2004.
- [12] Marchetti, J.M., Miguel V.U. & Errazu, A.F. "Possible methods for biodiesel production". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 10. pp. 248-268. 2006.
- [13] Van Gerpen et al. "Biodiesel production technology. Internal review". National renewable energy lab. USA: Department of Energy. Pp. 30-42. 2004.
- [14] Balance de Energía. Secretaría de Energía, México. 2005.
- [15] R. J. Larosa, "Proceso Para la Producción de Biodiesel," [En línea]. Disponible: <http://www.biodiesel-uruguay.com/articulos/Biod-rev2.pdf>. Mayo, 2006.
- [16] J. Tickell, K. Roman, "From the fryer to the fuel tank. The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel," third edition.
- [17] 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.

- [18] S. D. Romano. Proyecto Biodiesel FIUBA. Facultad de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina. Disponible: <http://www.uncu.edu.ar/> . Consultada en Febrero, 2007.
- [19] Renovada Energía. [En línea]. Disponible: <http://www.jornada.unam.mx/2005/08/01/004n1sec.html> Consultada en Mayo, 2006.
- [20] La copra, su importancia y comercialización en México. Claridades Agropecuarias. 95, pp. 3-24. (Mayo, 2006). [En línea]. Disponible: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/095/ca095.pdf#page=1>
- [21] KEMPOWSKY, T., AGUILAR-MARTIN, J., LELANN, M-V., SUBIAS, A. Learning Methodology of a supervision System using LAMDA Classification Method. LAAS/CNRS. Iberamia 2002.
- [22] P. J. Villegas, R. Z. Vigoroux, B. Bucki, E. Bonnet, I. L. Díaz, I. Herrera y E. Viedma. Algunas Consideraciones Preliminares Acerca de la Factibilidad de la Obtención de Biodiesel en Países en Vías de Desarrollo. ASADES. Argentina. [En línea]. Disponible: <http://www.asades.org.ar>. Consultada en Mayo, 2006.
- [23] J. M. García, J. A. García. Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol. Informe de vigilancia tecnológica. Universidad de Alcalá y Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España, 2006.
- [24] Biodiesel, Handling and Use Guidelines. Energy Efficiency and Renewable Energy. Departamento de Energía de los Estados Unidos de América. Marzo, 2006. Segunda edición.



[25] Joshua Tickell. From the Fryer to the Fuel Tank, The complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel. Pag. 35 – 88, (2003).

[26] Sensores y Acondicionadores de señal, Ramón Pallas Areny, 3ª edición. Editorial Marcombo.