

# **Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez**

## **Ingeniería Electrónica**

### **Residencia profesional**

#### **Nombre del proyecto:**

**Diagnóstico de fallas del reactor químico BIO4L tipo batch del laboratorio de Plantas Piloto del ITTG.**

#### **Asesor:**

**Dr. en ciencias Héctor Ricardo Hernández de León**

#### **Alumno:**

**Morales Núñez Miguel Rey**

**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**

**Mayo del 2017.**

## Índice.

### Capítulo 1

1.1 Introducción . . . . .	1
1.2 Área específica relacionada directamente con el proyecto . . . . .	2
1.2.1 Descripción del POLO Tecnológico de Biocombustibles . . . . .	2
1.3 Justificación . . . . .	3
1.4 Objetivos . . . . .	4
1.5 Metodología . . . . .	5

### Capítulo 2

Fundamentos teóricos . . . . .	6
2.1 Biodiesel . . . . .	6
2.1.1 Producción del biodiesel . . . . .	9
2.1.2 Modelos de producción . . . . .	11
Preparación de la materia prima . . . . .	12
Esterificación . . . . .	13
Transesterificación . . . . .	14
Lavado . . . . .	14
Deshidratado . . . . .	15
Reactor Bio-4L . . . . .	15
2.1.3 Sensores de pH. . . . .	17
2.1.4 Interfaz de comunicación sensor-computadora . . . . .	21
2.1.5 Logger Lite. . . . .	23
2.1.6 LabVIEW . . . . .	23
Adquisición de datos en LabVIEW . . . . .	24
2.2 Diagnóstico de fallas. . . . .	25
2.2.1 Detección basada en métodos analíticos. . . . .	28

2.2.2 Detección basada en modelos analíticos.	29
2.2.3 Detección basada en conocimientos.	31
<b>Capítulo 3</b>	<b>35</b>
Desarrollo	35
3.1 Estructura de sistema de adquisición y visualización de datos en Logger Lite.	36
<b>Logger Lite.</b>	36
Adquiriendo datos de los sensores Logger lite en agua.	37
Adquiriendo datos de los sensores Logger lite en aceite.	40
3.2 Estructura de sistema de adquisición y visualización de datos en LabVIEW.	42
Adquiriendo datos de los sensores LabVIEW en agua.	42
Adquiriendo datos de los sensores LabVIEW en aceite.	44
Recomendaciones y sugerencias.	46
Conclusiones.	47
Referencias.	48

# Capítulo 1

## 1.1 Introducción

La energía es fundamental para el desarrollo de un país y de su población. Se utiliza para hacer funcionar máquinas, herramienta y servicios. Además, es un bien de consumo final que se utiliza para la satisfacción humana. Vivimos en años en los que la tecnología controla nuestra sociedad. Esta tecnología utiliza como combustible y materia prima para sus producciones principalmente al petróleo.

El petróleo no sólo es combustible en motores energéticos, sino, que de él se extraen muchos subproductos y derivados, tal como maquillajes, lubricantes, producción de plásticos, materiales compuestos o sintéticos y la base de multitud de productos químicos y farmacéuticos, etc.

A causa de la reciente subida del petróleo y el calentamiento global se ha iniciado la búsqueda de fuentes de energía renovables, siendo una de ellas el uso de biocombustibles (o agro combustibles), entre estos destaca el biodiésel. Este combustible ofrece múltiples ventajas si se compara con otros biocombustibles (el etanol, por ejemplo), dado que cualquiera puede fabricarlo en casa con los utensilios adecuados, además puede usarse para su fabricación material de desecho (como el aceite usado de restaurantes o el hogar).

El biodiesel es un nuevo tipo de diésel, alternativo, renovable, limpio, hecho de triglicéridos. Para su fabricación se pueden usar cualquier tipo de aceite vegetal ya sea virgen o reciclado; también puede obtenerse de oleaginosas como la colza, girasol o palma. En algunos casos es posible incluso obtenerlo de grasas animales, aunque es mucho más costoso.

Los biocombustibles surgieron como alternativas a los derivados del petróleo, siempre con la preocupación de mantener los niveles de calidad que el diesel mineral ofrece y con la preocupación de reducir los niveles de contaminación ambiental.

## **1.2 Área específica relacionada directamente con el proyecto**

El laboratorio de Ingeniería Electrónica cuenta con 8 áreas destinadas a la investigación, desarrollo e implementación de proyectos escolares, 5 de las cuales son educativas, en las que los discentes imparten clases de: electrónica digital, PLC, electrónica de potencia, instrumentación, mediciones eléctricas, programación en C y electrónicas analógicas. Dos más son para investigación, una pertenece al grupo de IEEE y la otra es de desarrollo de circuitos electrónicos. La última área está destinada para que los alumnos desarrollen sus actividades en extra clase. Las áreas que se ocuparon en la realización de éste proyecto fueron las de IEEE, las de Electrónicas Analógicas y desarrollo de circuitos electrónicos.

La carrera de Ingeniería Electrónica tiene como misión formar profesionales de excelencia con competencias en el ámbito de la Ingeniería Electrónica, motivados para la promoción del desarrollo profesional y el conocimiento científico y tecnológico, con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores cívicos y éticos.

### **1.2.1 Descripción del POLO Tecnológico de Biocombustibles**

El POLO Tecnológico Nacional de Biocombustibles fue diseñado especialmente para la investigación, desarrollo y producción de combustibles hechos a base de elementos naturales; cuenta con x laboratorios, del cual uno de ellos es el laboratorio de destilación, que es el área en el que se encuentra el Birreactor BIO-300L. Fue construido en 2011 y es el primer POLO a Nivel nacional con la capacidad de certificar que un biocombustible este en excelentes condiciones para su venta.

### **1.3 Justificación**

La ingeniería de procesos moderna se basa en el uso de modelos matemáticos rigurosos para realizar tareas de análisis, diseño, optimización y control. En el caso de reactores químicos tipo batch, estos suelen tener un carácter dinámico y no lineal, los cuales son tratados como procesos complejos. Los reactores químicos tipo batch presentan un gran potencial en el tratamiento y control de temperatura de operación.

En la actualidad, la utilización de herramientas computacionales para la adquisición y análisis de datos con el objetivo de realizar un verdadero control y caracterización electrónica de reactores químicos tipo batch se ha incrementado. En estos programas es posible el manejo de distintos tipos de datos y gráficos que representan los comportamientos descritos por los modelos.

La implementación de sistema de diagnóstico de fallas basado en las variables características del reactor tipo batch es de suma importancia con la finalidad de incrementar la calidad y productividad del biocombustible. Para ello es necesario utilizar herramientas y métodos de clasificación que permitan la mejor asociación de clases a estados funcionales de comportamiento del reactor.

## **1.4 Objetivo**

**General:** Aplicar herramientas de supervisión y diagnóstico de fallas al reactor químico BIO4L en su conjunto en base al análisis de las variables características del proceso.

### **Objetivos específicos:**

1. Conocer la teoría básica de los reactores químicos tipo batch.
2. Diseñar y construir una interfaz electrónica aplicada al reactor químico BIO4L tipo batch mediante la identificación de las variables características del proceso, como temperatura y pH.
3. Desarrollar una herramienta de supervisión y diagnóstico de fallas aplicado al reactor químico BIO4L en base al análisis de las variables características del proceso

## 1.5 Metodología

1. **Recopilación de información e investigación de reactores químicos tipo batch (edo. del arte).** Recabar información y observaciones de los sistemas de adquisición de datos existentes en reactores químicos tipo batch. Verificación de trabajos similares, apoyado en los registros e información generada en residencias anteriores y trabajos profesionales de tesis sobre el mismo tema.
2. **Estudio e identificación de las variables características del reactor químico tipo batch, como los sensores de temperatura y pH, para el diagnóstico.** Identificar las variables características del reactor químico tipo batch BIO4L con el objetivo de establecer los parámetros y condiciones de operación en las que se utilizarán los sensores, con la finalidad de implementar un esquema de diagnóstico de fallas.
3. **Diseñar y construir la interfaz electrónica que permita la implementación de un diagnóstico de fallas al reactor químico BIO4L mediante el uso de las variables características del proceso.** Implementación de un circuito electrónico de adquisición de datos que permita la implementación de un esquema de diagnóstico de fallas al reactor químico BIO4L durante el proceso.
4. **Pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos y de diagnóstico de fallas aplicado al reactor químico BIO4L utilizado.** Realizar pruebas de funcionamiento y de diagnóstico de fallas del reactor químico BIO4L en base a los datos de los sensores, para verificar el funcionamiento por partes y luego en su conjunto.
5. **Pruebas finales del prototipo, utilizando la interfaz de usuario y una computadora personal.** Pruebas del prototipo en el laboratorio, poniendo en operación el esquema de diagnóstico de fallas del reactor químico BIO4L, para verificar el funcionamiento por partes y luego en su conjunto.



## Capítulo 2

### Fundamentos teóricos

#### 2.1 Biodiesel

Se trata de un combustible que se obtiene por la transesterificación de triglicéridos (aceite). El producto obtenido es muy similar al gasóleo obtenido del petróleo (también llamado petrodiesel) y puede usarse en motores de ciclo diésel, aunque algunos motores requieren modificaciones.

El Biodiesel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados. El aceite vegetal virgen se extrae de la semilla cultivada dejando atrás la harina de semilla que puede usarse como forraje animal. El aceite es refinado antes de incorporarlo al proceso de producción del biodiesel. Aunque existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más comunes en la producción de biodiesel son la colza, la soja, el girasol y la palma.

Los aceites reciclados proceden de la recogida de sectores como la hostelería, alimentarios, cocinas domésticas, etc. Con el reciclaje de los aceites usados, evitamos su vertido, salvaguardando la contaminación de las aguas subterráneas, fluviales y marinas, así como la vida que en ellas habita. Y evitamos su uso en la alimentación animal (piensos).

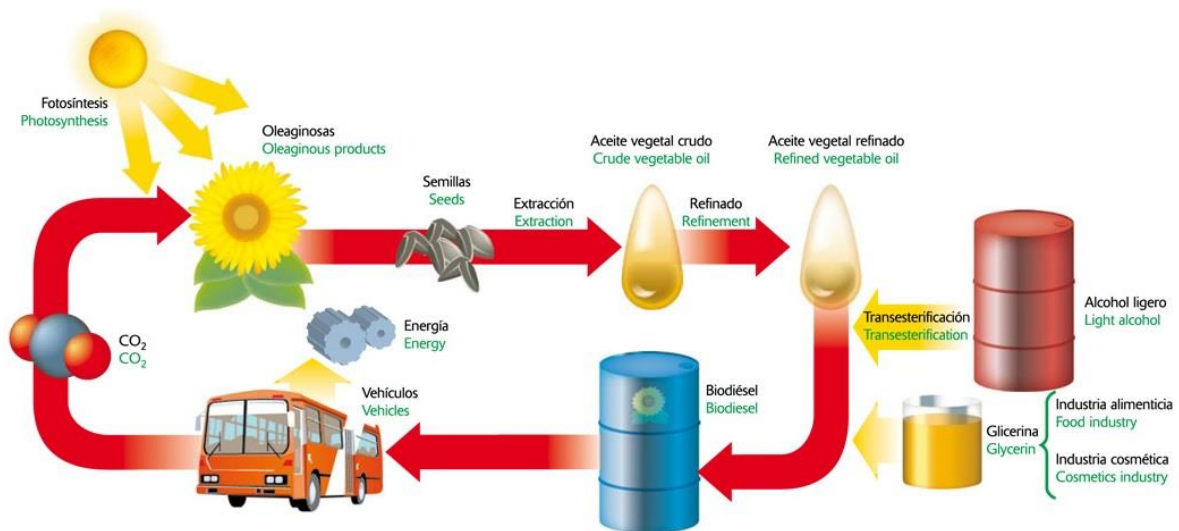
Con los aceites vegetales, se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, incrementando la seguridad y diversidad en los suministros, así como el desarrollo socioeconómico del área rural (producción de oleaginosas con fines energéticos), y la conservación de nuestro medio ambiente.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Es un combustible que no daña el medioambiente.	A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales.
Se produce a partir de materias primas renovables.	Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales, tales como el caucho natural y la espuma de poliuretano.
No contiene prácticamente nada de azufre. Evita las emisiones de SOx (lluvia ácida o efecto invernadero).	Sus costos aún pueden ser más elevados que los del diesel de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite utilizado en su elaboración.
Mejora la combustión, reduciendo claramente emisiones de hollín (hasta casi un 55% desapareciendo el humo negro y olor desagradable).	
Produce, durante su combustión menor cantidad de CO2 que el que las plantas absorben para su crecimiento (ciclo cerrado de CO2).	
No contiene ni benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas (Hidrocarburos aromáticos policíclicos).	
Es fácilmente biodegradable, y en caso de derrame y/o accidente, no pone en peligro ni el suelo ni las aguas subterráneas.	
No es una mercancía peligrosa (el punto de inflamación se encuentra por encima de 110° C).	
Posee un alto poder lubricante y protege el motor reduciendo su desgaste, así como sus gastos de mantenimiento.	
Es el único combustible no contaminante alternativo a los motores de gasóleo convencional.	

**Tabla 2.1** Ventajas y desventajas del biodiesel.

En la figura 2.1 se muestra un esquema del ciclo de vida del biodiesel. Como puede observarse, el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera en la combustión del biodiesel es absorbido por plantas oleaginosas. El prensado de las semillas de estas plantas combinado con procesos de extracción permite obtener el aceite vegetal, es decir, la materia prima necesaria para la fabricación del biodiesel.

Este aceite, en ocasiones refinado, reacciona con un alcohol (generalmente metanol) para, finalmente, originar biodiesel a través de un proceso de transesterificación, cerrándose de esta manera el ciclo. La emisión neta de CO<sub>2</sub> a la atmósfera puede ser ligeramente positiva, ligeramente negativa o nula. En este sentido debe tenerse en cuenta el origen del alcohol utilizado (por ejemplo, el etanol puede tener origen agrícola) y que, durante el proceso de crecimiento de la planta, parte del CO<sub>2</sub> puede quedar fijado en la tierra de cultivo como carbonato



**Fig. 2.1** Ciclo del Biodiesel

### 2.1.1 Producción del biodiesel

En un sentido amplio, la transesterificación (para producir biodiesel) implica tres grupos diferentes de reacciones según un éster reaccione con un alcohol (alcoholisis), con un ácido carboxílico (acidólisis) o con otro éster (interesterificación)

I. La alcoholisis implica la sustitución del grupo alquilo del éster por otro grupo alquilo, a través de la reacción del éster con un alcohol.

II. La acidólisis es la reacción entre un éster un ácido carboxílico, implicando el intercambio o sustitución del grupo acilo éster.

III. La interesterificación es el intercambio entre los grupos acilo y alquilo de dos ésteres diferentes.

La Ilustración Fig. 2.2 muestra el esquema general de las reacciones descritas.

#### Ilustración 1 Reacciones generales de la Transesterificación

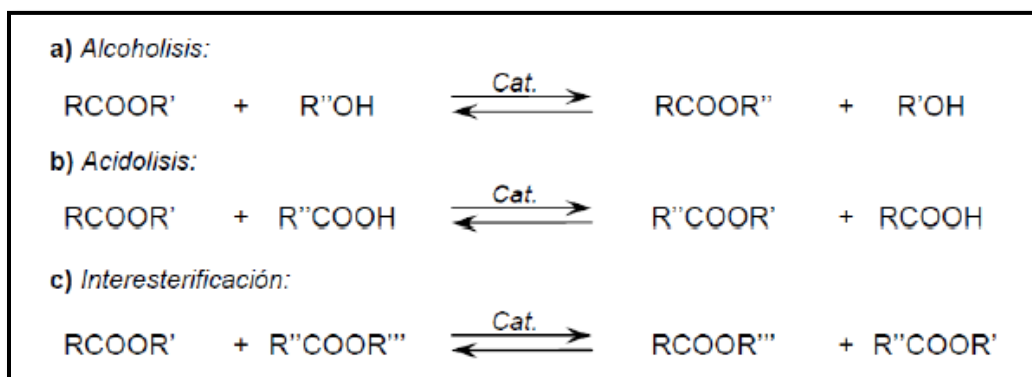
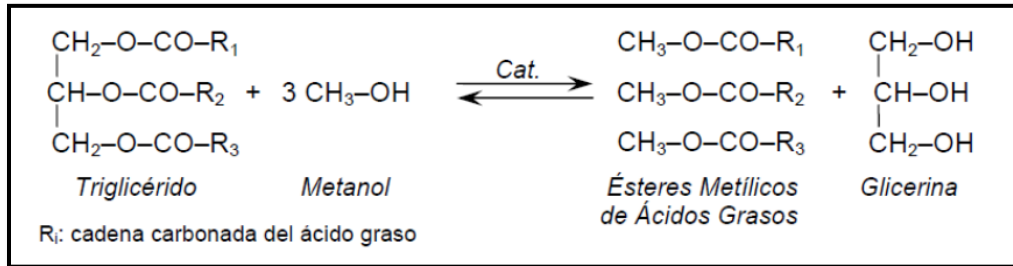


Fig. 2.2

La reacción de transesterificación (o alcoholisis) de un aceite vegetal es aquella en la cual, una molécula de triglicérido, componentes mayoritarios en un aceite, reacciona con un alcohol para producir una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina.

La Fig. 2.3 muestra el esquema general de la reacción de transesterificación de aceite vegetal con metanol para producir ésteres metílicos de ácidos grasos y glicerina.



**Fig 2.3**

Según la estequiometría de la reacción, por cada mol de triglicérido transesterificado se necesitan tres moles de metanol y se obtienen tres moles de ésteres metílicos y un mol de glicerina.

#### **Insumos.**

- **Aceite:** Es el principal insumo para la producción de biodiesel. Puede ser producido a partir de cualquier aceite o grasa de origen orgánico (animal o vegetal), incluyendo aceites residuales ya usados en frituras o recuperados de trampas de grasas, etc.
- **Alcohol:** Se emplea metanol de 95% de pureza. La cantidad requerida para la elaboración de biodiesel es de 20% del volumen de aceite a procesar. Esta sustancia es tóxica cuando se ingiere, se inhala o tiene contacto con la piel, es altamente inflamable y arde con llama incolora. Su manipulación debe hacerse tomando todas las precauciones del caso.
- **Catalizador:** Puede ser hidróxido de sodio (NaOH, soda cáustica) o hidróxido de potasio (KOH, potasa cáustica), de grado industrial, en escamas o en perlas. Se ha preferido el hidróxido de sodio. La cantidad a aplicar de catalizador depende de la acidez del aceite a tratar. Tanto el NaOH como el KOH son corrosivos para diversos materiales, y resultan irritantes para la piel

y las mucosas. La cantidad de sosa 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 que no ha sido utilizado.

- **Temperatura y tiempo de reacción:** La transesterificación puede ocurrir a diferentes temperaturas dependiendo del aceite que se emplee. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace el rendimiento de la reacción, sin embargo, después de un determinado tiempo la diferencia entre temperaturas no afecta de manera considerable el rendimiento. Por lo general la reacción de transesterificación se lleva a cabo cerca del punto de ebullición del alcohol (60- 70 °C), sin embargo, esta reacción ha sido estudiada con temperaturas que varían desde 25 hasta 250°C. En cuanto al tiempo de reacción, a medida que éste crece, se incrementa la conversión de la reacción; además puede variar dependiendo del catalizador empleado.

### **2.1.2 Modelos de producción**

Los modelos de producción de Biodiésel se definen dependiendo del nivel de ácidos grasos libres (o FFA, por sus siglas en inglés) que posea la materia prima a procesar. Si éstos son inferiores al 5% se les aplica un proceso cuyo paso principal se llama transesterificación (más adelante se explican sus detalles); si son mayores al 5% además del proceso de transesterificación, requieren de un proceso previo que se llama esterificación para bajar los ácidos grasos libres a menos de 5%.

Generalmente, los aceites que provienen de plantas tienen menos de 5% de ácidos grasos libres, mientras que los aceites de cocina usados o las grasas animales tienen más de 5%.

El siguiente es el esquema del proceso de producción.

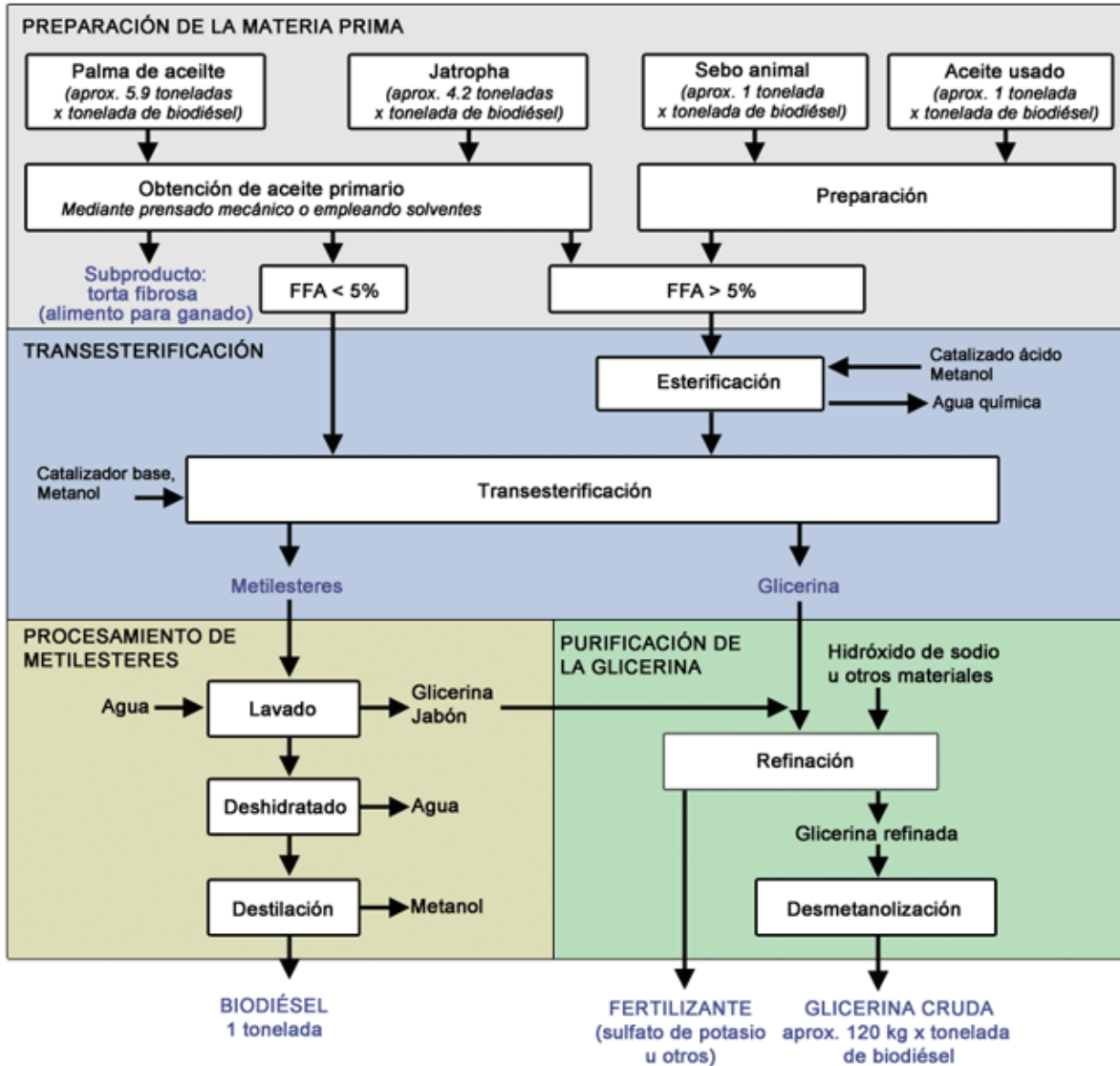


Fig. 2.4 Esquema general del proceso para la obtención de Biodiésel

### Preparación de la materia prima.

Este es el primer paso en el proceso de producción.

Para el caso de la jatropha y la palma africana, consiste en la obtención del aceite primario. Este paso se puede llevar a cabo de dos formas: mediante el prensado mecánico de los frutos o empleando solventes. La extracción de aceite es más eficiente usando solventes, pero requiere de equipos más caros y por ello es más apropiada para procesos de alto volumen, mientras que el prensado mecánico,

aunque extrae menos aceite primario, es más barato y se puede hacer de manera manual usando instrumentos de bajo costo.

Para el caso del sebo animal, la grasa se extrae mediante el molido y cocción de la materia prima en agua. Hay dos tipos de grasa que pueden emplearse: la primera es el sebo directamente retirado de la carne de los animales; el otro incluye, además de lo anterior, cartílagos y huesos. Una vez obtenido el caldo con la grasa, ésta debe separarse por técnicas como el filtrado, el prensado, la centrifugación o la extracción usando solventes. El resultado final es la grasa sin agua ni partículas.

Para el aceite de cocina usado, la preparación consiste en filtrarlo para eliminar las impurezas y restos de alimento, y quitar el agua que pueda contener, mediante calentamiento.

### **Esterificación.**

Este proceso se aplica solamente a las grasas primarias que contienen un alto nivel de ácidos grasos libres. Estos ácidos son de importancia determinante en la producción de biodiesel porque si su nivel es alto, el biodiesel resultante se hará sólido ante temperaturas bajas.

Por ello el proceso de esterificación sirve para retirar a los ácidos grasos libres para dejar al aceite base con una concentración de éstos que sea inferior al 1%.

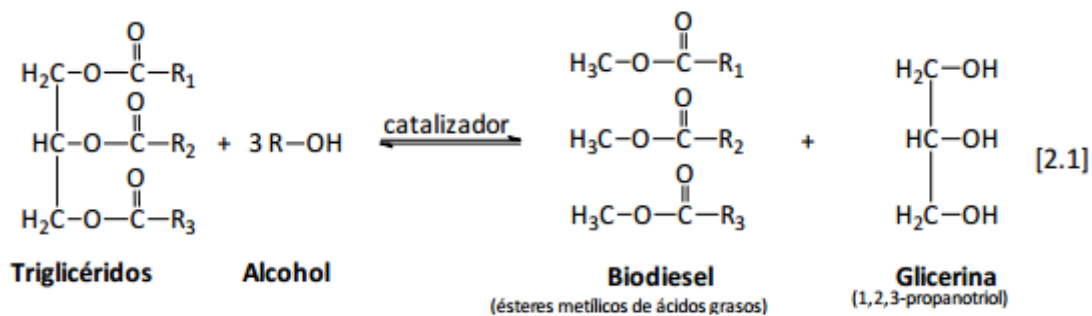
Este proceso es especialmente importante para el caso del biodiesel proveniente de grasas animales o aceites de reuso, puesto que el nivel de ácidos grasos libres presentes en la materia prima varía de lote en lote. Ante esta situación el control de calidad en la planta de producción es un elemento crítico. No sucede así con las grasas provenientes de cultivos, porque casi no tienen variaciones sobre el nivel de tales ácidos.

Se lleva a cabo agregando un catalizador ácido (como el ácido sulfúrico) y metanol a la grasa, lo que hace que los ácidos grasos se separen, generando de una parte un aceite bajo en ácidos grasos libres y de la otra agua química.



## Transesterificación.

En la reacción de transesterificación, los aceites vegetales, expresados como triglicéridos, reaccionan con un alcohol en presencia de un catalizador, produciéndose éster y glicerina. Esta reacción implica la conversión de un éster en otro éster. Los alcoholes más recomendados son el metanol, etanol y butanol. Los ésteres resultantes de la reacción reciben el nombre de ácidos grasos y metil-ésteres (FAME o Biodiesel). La transesterificación es ilustrada mediante la ecuación química en Ec. 2.1.



Como se describió antes, la transesterificación es el proceso en el que el aceite se separa en glicerina por una parte y biodiesel por la otra, gracias a la acción de un catalizador base como el hidróxido de sodio y un alcohol como el metanol.

El biodiesel se dirige a la fase de lavado, mientras que la glicerina es sometida a un proceso de refinación y desmetanolización, puesto que ésta se queda con la mayor parte del metanol empleado en la transesterificación.

## Lavado.

El lavado se hace mediante agua y consiste en retirar del biodiesel cualquier sustancia que sea soluble al agua, aprovechando que los aceites como el biodiesel no son solubles en agua.

Entre otras cosas, de esta fase se retira más glicerina, que puede enviarse al proceso de refinación de la misma.

## **Deshidratado.**

En este paso se quita el agua que pudo quedarse del proceso de lavado. Se realiza calentando el biodiesel para que se evapore el agua.

## **Reactor BIO-4L**

El Reactor de Biodiesel BIO-4L está ubicado en el Polo Tecnológico de Biocombustibles del Instituto Tecnológico cuya función es la de acondicionar el aceite a una temperatura predeterminada a los fines de exponerlo al proceso de reacción química para la obtención de Biodiesel.



**Fig. 2.5** Reactor BIO-4L

Su capacidad es de 4 litros aproximadamente. Es posible observar su estructura en la imagen posee un contenedor fabricado de vidrio, que es sellado mediante dos tapas metálicas por las cuales se encuentran orificios donde es posible introducir tanto los sensores de temperatura, pH, como la resistencia de calor.

En su estructura se encuentra un tablero de comando. Al inicio de las operaciones, en un día de labores de producción del biocombustible, el operario simplemente debe encender el tablero.

Posteriormente el operario debe indicar la velocidad a la cual desea que el motor trabaje. Así también en el LCD se indicará el estado de temperatura y pH del sistema.



**Fig. 2.6** Tablero de comando

En el tablero se aloja a cierta distancia del reactor. Mediante esta prevención, se evita posibles errores accidentales en la adecuación del aceite o acciones deliberadas.

<b>Equipos que se encuentran en la ilustración del Reactor</b>	
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>
1	Reactor BI0-300L
1	Bomba
2	Sensor de temperatura (entrada y salida)
1	Sensor de pH
1	Panel de control
2	LCD

### **2.1.3 Sensores de pH**

Los sensores que se utilizaron para la adquisición de pH fueron Electrodo de pH BNC del fabricante Vernier y pHact pH Sensors del fabricante Omega.

Electrodo de pH BNC.

El Vernier Electrodo de pH BNC es un electrodo de combinación de pH relleno de gel diseñado para hacer mediciones en el rango de pH de 0 a 14. Un cuerpo de epoxi que se extiende por debajo del bulbo sensor de vidrio del electrodo hace que esta sonda ideal para las exigencias de una escuela media, secundaria, o una clase de ciencias a nivel universitario o para realizar mediciones en el medio ambiente. La célula medio de referencia rellenos de gel se sella-nunca necesita ser relleno.



**Fig. 2.7** Sensor de pH Vernier.

- Tipo: Sellado, cuerpo epoxi relleno de gel, Ag / AgCl
- Tiempo de respuesta: 90% de la lectura final en 1 segundo
- Rango de temperatura: 5 a 80 ° C
- 12 mm de diámetro exterior
- Rango: pH 0-14
- pH Isopotencial: pH 7 (punto en el que la temperatura no tiene efecto en la salida)

pHact pH Sensors Omega.

El pHAct es un sensor de pH de acción rápida, con un amplificador diferencial incorporado y sensor de compensación de temperatura 100Ω Platinum RTD automática que proporciona una salida compensada compatible con cualquier medidor de pH. Es una solución ideal para los problemas de bucle de tierra, ya que tiene una solución a tierra incorporado y salida de baja impedancia, por lo que el sistema inmunológico Phact al ruido. El cuerpo moldeado PPS tiene una alta resistencia química.



La serie PHE-9150 utiliza una formulación de vidrio de alta pH, la elección perfecta para aplicaciones de pH extremos, con una célula de referencia unión PTFE triple. Junto con el novedoso diseño de electrodo del émbolo, este sensor asegura el mantenimiento bajo en la mayoría de aplicaciones. El PHE-9151 está fabricado para baja viscosidad y en línea uso, con una 3/4 'o 1' MNPT.

Es ideal para la industria de pulpa y papel, así como aplicaciones de galvanoplastia y petroquímicas. El PHE-9153 tiene 0,5' (12 mm) longitud de inserción, mientras que PHE-9151 tiene 2,3' (59 mm) para su uso en tuberías de gran tamaño. PHE-9150/52 están fabricados de tal manera que se puede utilizar en línea o aplicaciones sumergibles, con un 3/4 "o 1' MNPT. Mientras que el PHE-9150 tiene solamente 0,9' (23 mm) Longitud de la inserción, el PHE -9152 ofrece 2.3' (59 mm), para poder meter la mano en tubos de gran diámetro, o tanques.



**Fig. 2.8** Sensor de pH Omega

## Sensor ds18b20

Esta es una versión pre-cableado e impermeabilizada del sensor DS18B20. Útil para medir algo lejos, o en condiciones de humedad. Mientras que el sensor es bueno hasta 125 °C, el cable está encamisado en PVC por lo que si sugerimos podemos mantenerla por debajo de 100°C.

Debido a que son digitales, no recibe ningún tipo de degradación de la señal incluso en largas distancias. Estos sensores digitales de temperatura 1-wire son bastante precisas ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  en la mayor parte de la gama) y pueden dar hasta 12 bits de precisión del convertidor de digital a analógico a bordo.

Ellos trabajan muy bien con cualquier microcontrolador utilizando un único pin digital, e incluso se puede conectar múltiples queridos para el mismo pin, cada uno tiene un identificador único de 64 bits quemado en la fábrica para diferenciarlos. Se puede utilizar con los sistemas 3.0-5.0V.

La ventaja principal que presentan estos sensores es que se pueden conectar hasta 100 dispositivos a un único pin y a una distancia máxima de nuestro Arduino de 200 metros. Dichos sensores emplean el protocolo de comunicación en serie 1-wire diseñado por Dallas Semiconductor.



**Figura 2.9** Sensor ds18b20.

#### 2.1.4 Interfaz de comunicación sensor-computadora.

Para poder establecer comunicación entre la computadora personal y los sensores de pH así también el de temperatura, se utilizó el amplificador de electrodos del fabricante Vernier.



**Fig. 2.10** Amplificador de electrodos Vernier.

Utilizar un amplificador de electrodos para recopilar datos desde casi cualquier electrodo que tiene un conector BNC. Esto incluye electrodos de Vernier como nuestro electrodo de pH, o electrodos de terceros, tales como el pH, ISE (electrodo selectivo de iones), o ORP (potencial de oxidación-reducción).

- Potencia: 7 mA @ 5 VCC.
- Entrada: Gama de -450 mV a 1100 mV.
- Impedancia: 100 mΩ.
- Ganancia: 2,2 V / V.
- Offset: 1,20 V (nominal).



Del amplificador de electrodos se utiliza una interfaz más para conectar directamente al puerto USB de la computadora personal. Go! Link es una interfaz USB de un solo canal utilizada para conectar muchos sensores Vernier directamente a un Windows O Macintosh. Algunos sensores Vernier también pueden utilizarse cuando Go! Conectado a un Chromebook.



Fig. 2.11 Go! Link del fabricante Vernier.



Fig. 2.12 Go! Link y amplificador de electrodos del ITTG.

## 2.1.5 Logger Lite.

Logger Lite es un programa desarrollado por Vernier para la adquisición de datos de sus sensores como pH o de temperatura. El cual representa los valores de manera gráfica y numérica en tiempo real de las mediciones que realizan los sensores.

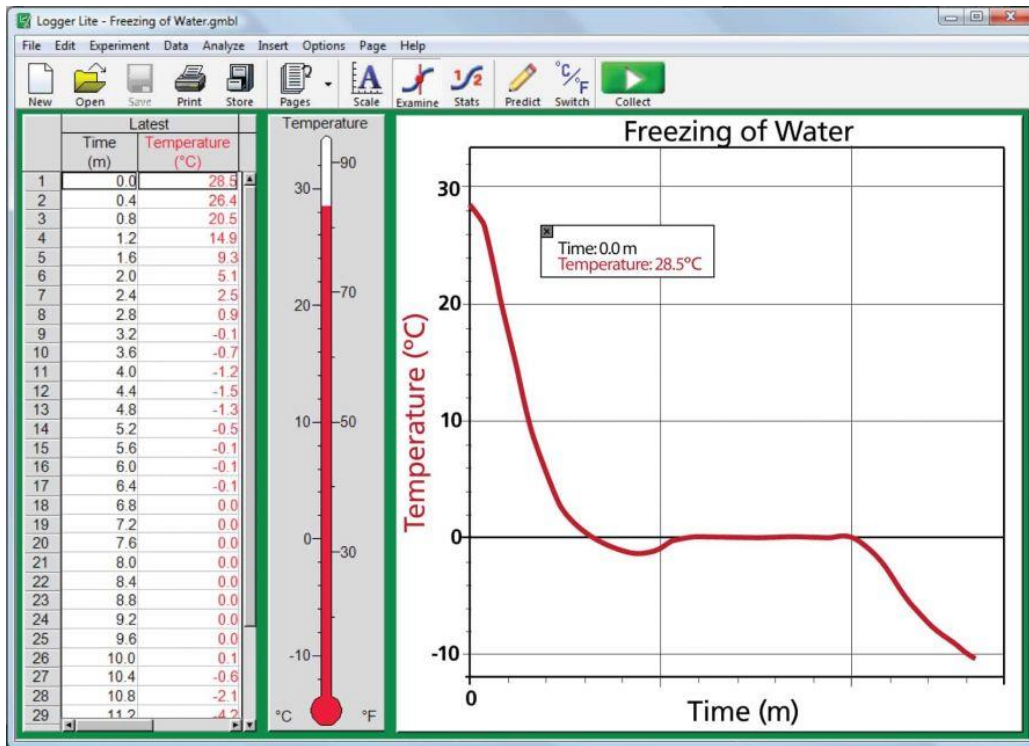


Fig. 2.13 Interfaz Logger Lite.

## 2.1.6 LabVIEW

LabVIEW es un entorno de desarrollo integrado y diseñado específicamente para ingenieros y científicos. Nativo de LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica (G) que utiliza un modelo de flujo de datos en lugar de líneas secuenciales de código de texto, lo que le permite escribir código funcional utilizando un diseño visual que se asemeja a su proceso de pensamiento.

Esto significa que usted emplea menos tiempo preocupándose por el por punto y coma y la sintaxis y más tiempo resolviendo los problemas que importan.

Gracias a sus librerías de funciones dedicadas a la adquisición de datos, la instrumentación, al análisis matemático de las mediciones y la visualización, LabVIEW se dedica especialmente a los bancos de pruebas y mediciones.

### **Adquisición de datos en LabVIEW**

LabVIEW es un programa adecuado para la adquisición de datos, debido a su total compatibilidad con las tarjetas de National Instruments®. Su interface gráfica ofrece una gran potencia de visualización de señales y dispone de librerías de procesado para el tratamiento de las señales adquiridas.

LabVIEW ofrece una librería de adquisición de datos que proporciona al usuario una herramienta de trabajo de fácil uso y permite disponer de una mayor flexibilidad en cuanto al manejo de tarjetas de adquisición de datos.

LabVIEW es el desarrollo gráfico de entornos para crear experimentos flexibles y escalables, medidas y control de aplicaciones rápidas con costos mínimos. Con LabVIEW, se pueden realizar interfaces con señales del mundo real, analizar datos y compartir resultados con aplicaciones.

Las ventajas principales que ofrece LabVIEW sobre otros lenguajes de programación visuales son:

- Utiliza el paradigma de programación gráfica, el cual es un concepto para elaborar programas cuyo uso en México está aumentando.
- Es ampliamente usado en la industria para crear instrumentos virtuales orientados a la instrumentación y al monitoreo, automatización y control de procesos industriales.
- Ofrece facilidad para construir interfaces gráficas de usuario (GUI, Graphical User Interfaces) dirigidas al entorno industrial y científico.
- Cada módulo que se implementa en LabVIEW se puede ejecutar y probar de manera independiente del programa principal.

Con LabVIEW se pueden generar y adquirir señales rápidamente de tarjetas plugin, dispositivos USB y sistemas basados en Ethernet. Esta capacidad de entrada-salida, combinada con tipos especiales de datos y funciones de análisis de medidas, es específicamente diseñada para obtener la medición de un sensor físico de una manera rápida y fácil. Reduce el tiempo de programación con dispositivos de adquisición de datos de National Instruments.

Se pueden realizar mediciones de una amplia variedad de parámetros como: Temperatura, voltaje, resistencia, presión, tensión, peso, vibración, frecuencia, período, sonido, luz, señales digitales, etc.

## **2.2 Diagnóstico de fallas.**

### **Falla (fault).**

Desviación no permitida de, al menos, una propiedad característica o parámetro de un sistema de su condición aceptable, usual o estándar. Una falla es la aparición de un modo de falla.

### **Falla abrupta (abrupt fault).**

Falla cuyo efecto aparece repentinamente (por ejemplo, modelado mediante un escalón).

### **Falla incipiente (incipient fault).**

Falla cuyo efecto aparece progresivamente (por ejemplo, modelado mediante una rampa).

### **Avería (failure).**

Interrupción permanente de la capacidad de un sistema para realizar una función requerida bajo las condiciones de operación especificadas.

### **Diagnóstico de fallas (fault diagnosis).**

Determinación del tipo, tamaño, localización e instante de aparición de una falla. Incluye la detección, el aislamiento y la estimación de la falla.

### **Detección de fallas (fault detection).**

Determinación de la presencia de fallas en el sistema, así como el instante de su aparición.

### **Aislamiento de fallas (fault isolation).**

Determinación del tipo, localización e instante de detección de una falla. Se realiza después de la etapa de detección.

### **Estimación de la falla (fault estimation).**

Determinación del tamaño y comportamiento de la falla durante el tiempo.

### **Modelado de la falla (fault modeling).**

Determinación de un modelo (matemático) que describe una determinada falla.

### **Modos de falla (fault modes).**

Descripción de los tipos de falla que puede presentar un componente (matemáticamente). Cada modo de falla suele tener asociados unos efectos que se dan en mayor o menor medida según la magnitud del mismo.

## **Supervisión**

### **Supervisión (supervision).**

Es una actividad de alto nivel que engloba las actividades de monitorización (o vigilancia), la detección y diagnóstico de fallos y el control supervisor o de planta.

**Control supervisor (supervisory control).**

Es la actividad que se lleva a cabo sobre un conjunto de controladores para asegurar que sus objetivos de control se cumplen. Esta definición también se utiliza para el termino supervisión local.

**Supervisión de planta (plant-wide supervision).**

Es la actividad cuyo objetivo es asegurar que las trayectorias de ciertas variables clave de un proceso siguen de forma adecuada unas trayectorias de referencia dadas. Esta definición también se utiliza para el término supervisión global.

**Supervisor (supervisor).**

Entidad (humana o artificial) que realiza la supervisión de un proceso mediante el diagnóstico de fallas, determinación y ejecución de las acciones correctoras en presencia de fallas.

**Monitorización (monitoring).**

Determinación continua en tiempo real del estado de operación de un sistema mediante el registro y análisis de información significativa e indicación de sus anomalías de comportamiento. Otros términos que se utilizan para este concepto son el de vigilancia (surveillance) y observación del estado.

**Sistema tolerante a fallos (fault-tolerant system).**

Sistema que permite acomodar un fallo con o sin degradación de prestaciones, pero sin desembocar en una avería a nivel de subsistema o sistema.

### **2.2.1 Detección basada en métodos analíticos.**

En este caso se trata de extraer de las señales procedentes del proceso la máxima información posible sobre los fallos que deben detectarse. Para llevar a cabo la detección se necesita conocer la relación entre las señales (síntomas) y los posibles fallos que pueden afectar al proceso. Esta metodología puede considerarse como la más primitiva de las utilizadas. El tipo de procesado utilizado dependerá del tipo de señales y del conocimiento sobre el proceso. Entre las herramientas utilizadas podemos destacar:

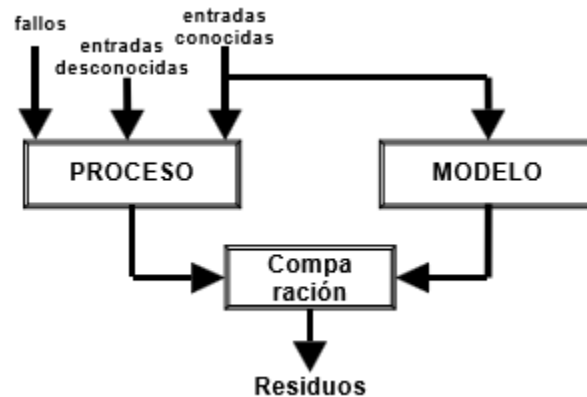
- Técnicas estadísticas.
- Probabilidades.
- Análisis temporal y frecuencial.
- Técnicas de reconocimiento de formas.

La elección de la herramienta a utilizar dependerá lógicamente de las características 'interesantes' de cada señal para indicar la presencia de determinados fallos, estas características interesantes pueden ir desde el propio valor de la señal o su derivada hasta su espectro frecuencial o la similitud con un patrón previamente definido.

La utilización de relaciones directas entre las señales medidas (o funciones de éstas) y los fallos presentes en el proceso requieren un conocimiento del mismo que solo puede adquirirse a través de la experiencia. En este aspecto, la adquisición del conocimiento, es donde reside la mayor dificultad de estos métodos. Por el hecho de utilizar conocimiento experto sobre el proceso, también pueden ser considerados métodos basados en conocimiento; sin embargo, si no se utilizan herramientas de Inteligencia Artificial en el tratamiento de las señales, deben ser considerados métodos de detección analíticos.

### 2.2.2 Detección basada en modelos analíticos.

La detección basada en modelos analíticos ha recibido una considerable atención durante los últimos años. Existe una gran cantidad de métodos basados en la utilización de modelos analíticos para detectar fallos.



**Fig. 2.14** Detección basada en modelos analíticos.

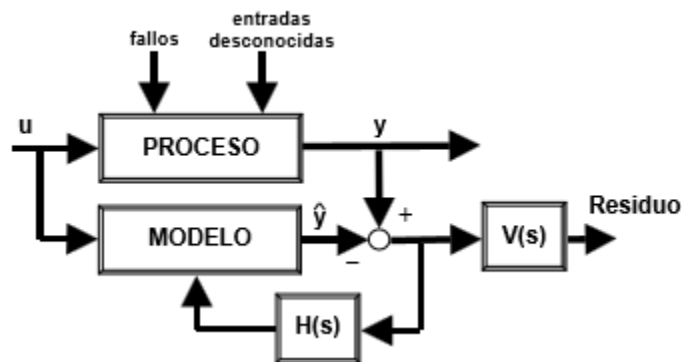
Estos métodos se basan en la utilización de modelos matemáticos (lineales o no lineales) para generar señales adicionales que se comparan con las señales medidas. Este procedimiento se conoce con el nombre de redundancia analítica.

La tarea principal de los métodos de detección de fallos basados en modelos es la generación de residuos. Los residuos representan cambios o discrepancias en el proceso i se obtienen a partir de variables o de parámetros. Per obtener los residuos, los datos medidos del proceso se comparan con los obtenidos del modelo. Los datos procedentes del modelo representan las condiciones normales de funcionamiento considerando que las entradas conocidas son las mismas que en el proceso real.



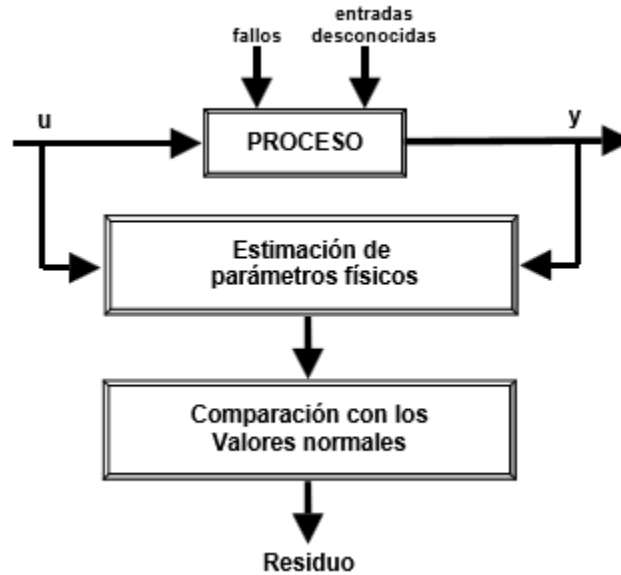
Los residuos pueden obtenerse de diversas maneras en función del modelo i método utilizados:

- La generación de residuos basada en observadores utiliza observadores o filtros de Kalman para reconstruir, a partir de las entradas, las salidas de interés del sistema. Los observadores pueden ser de diversos tipos, tanto del dominio temporal como frecuencial. Los errores entre los datos reales y las estimaciones (o alguna función de los mismos) se utilizan como residuos. El resultado final es un vector de residuos en el que se intentan desacoplar los diversos fallos. También pueden diseñarse observadores específicos para cada fallo.



**Fig. 2.15** Utilización de observadores para la generación de residuos.

- La estimación de parámetros se basa en la suposición que los fallos se producen en los parámetros físicos del sistema (masa, rozamiento, resistencia...). Los parámetros matemáticos del sistema se estiman en línea utilizando un modelo del sistema. La correspondencia entre los parámetros matemáticos del modelo i los parámetros físicos del sistema permite estimar los segundos i compararlos con los de referencia, obtenidos a partir del modelo en ausencia de fallos.



**Fig. 2.16** Estimación de parámetros.

La mayor dificultad de los métodos basados en modelos analíticos reside en el hecho que son necesarios modelos matemáticos completos y precisos del proceso supervisado. Para procesos complejos, la tarea de encontrar estos modelos puede llegar a ser muy difícil o imposible.

### 2.2.3 Detección basada en conocimientos.

A diferencia de los métodos analíticos, los métodos basados en conocimiento utilizan herramientas de la Inteligencia Artificial ya sea en los modelos utilizados o en el procesado de las señales. Estos métodos son los más indicados cuando no es posible disponer de un modelo analítico completo y preciso del proceso supervisado. Entonces debe recurrirse a la representación del conocimiento mediante otras técnicas. Al igual que en los métodos analíticos podemos distinguir entre aquellos que utilizan un modelo del sistema y los que se sirven directamente de las señales medidas del proceso.

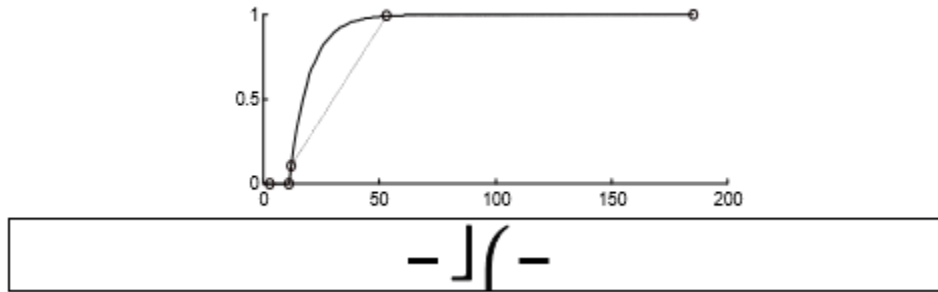
En este caso, sin embargo, la distinción puede no ser del todo clara puesto que el concepto de 'modelo cualitativo' puede ser interpretado de una forma muy amplia. Aun así, en esta sección se intentarán describir brevemente estas dos aproximaciones.

#### **2.2.4 Detección basada en síntomas.**

Esta aproximación puede considerarse como una evolución de la detección basada en señales. En este caso se utilizan técnicas de cualificación, abstracción o representación simbólica de forma que el resultado final es una representación de las señales próxima a la percepción humana sobre las mismas. De este modo la posterior identificación de los síntomas observados con los posibles fallos resulta una tarea más sencilla.

Para conseguir este objetivo, normalmente se combinan herramientas analíticas de procesado de señal con herramientas propias de la IA. Entre las técnicas más utilizadas podemos destacar:

- Obtención de tendencias que expresen el comportamiento de la señal. Obtenidas combinando herramientas analíticas (derivadas o filtrado) y una posterior cualificación. El resultado final podría ser, por ejemplo, (subir, mantenerse, bajar) o (oscila, no oscila).
- Utilización de ventanas temporales de observación, que permitan la cualificación o la obtención de tendencias no a partir de un solo valor de la señal sino a partir de su evolución en un periodo de tiempo. El resultado es más robusto que en los casos anteriores. Un ejemplo típico es la utilización de histogramas.
- Representación mediante episodios de la evolución de la señal. En este caso también se cualifica el tiempo, dividiéndolo en intervalos donde no hay variaciones interesantes e instantes de cambio. Como ejemplo, la representación de una respuesta de primer orden podría ser la de la Fig.



**Fig. 2.17** Representación simbólica mediante episodios.

En cualquier caso, el objetivo final siempre es el mismo: separar (abstraer) de las señales medidas sólo aquellas características útiles para la detección de los fallos. Las herramientas a utilizar y los resultados (representación) obtenidos siempre deben estar en función del conocimiento disponible sobre las propias señales y sobre el comportamiento del proceso (relaciones entre los síntomas y los fallos).

### **2.2.5 Detección basada en modelos cualitativos.**

- Modelado de dispositivos mediante formalismos que permiten describir su comportamiento manipulando conocimientos imprecisos o incompletos: álgebras cualitativas, ordenes de magnitud, relaciones causales...
- Simulación del comportamiento de un sistema para obtener su funcionamiento a partir de su descripción. Mientras que las simulaciones numéricas generan una única trayectoria del sistema, una simulación cualitativa genera conjuntos de todas las trayectorias posibles.
- Interpretación y/o explicación del funcionamiento de un sistema para obtener conclusiones a partir de las cuales poder razonar.

Existen numerosas aproximaciones, desde puntos de vista muy distintos, al modelado y simulación cualitativos. Aquí no se pretende hacer una descripción exhaustiva de los mismos, simplemente se comentará su utilidad para la detección de fallos.

Los modelos cualitativos pueden utilizarse en el mismo sentido que los modelos analíticos, para comparar las salidas del proceso real con las de la simulación (comportamiento normal) y de esta forma detectar las posibles discrepancias y, en consecuencia, los fallos. En este caso debe tenerse en cuenta que las salidas de la simulación no son señales numéricas. Aquí podemos distinguir, como mínimo, dos enfoques distintos:

- El resultado de la simulación puede consistir en envolventes (conjuntos de trayectorias) que delimiten 'el comportamiento correcto' de la señal; entonces, cualquier desviación respecto a éstas indica una anomalía (fallo) en el proceso. Este sería el caso de la simulación intervalar.
- El resultado de la simulación puede consistir en descripciones simbólicas de señales como las comentadas en la sección anterior. En este caso es necesario obtener la misma descripción simbólica de las señales medidas para poder establecer comparaciones y detectar diferencias.

## Capítulo 3

### Desarrollo.

La principal falla que se tiene en la elaboración de biodiesel es la medición de pH ya que por lo general antes de introducir los sensores al aceite estos son sometidos a calibración con líquidos estandarizados de pH específicos. Estos sensores no tienen problema alguno ya que su medición es correcta, pero al introducirlo en el aceite para producir biodiesel este arroja datos muy inestables.

Nos basaremos a una detección de fallas con monitorización la cual como se describió anteriormente determina en tiempo real del estado de operación de un sistema mediante el registro y análisis de información significativa e indicación de sus anomalías de comportamiento. Así también en supervisor la cual describe entidad (humana o artificial) que realiza la supervisión de un proceso mediante el diagnóstico de fallas, determinación y ejecución de las acciones correctoras en presencia de fallas.

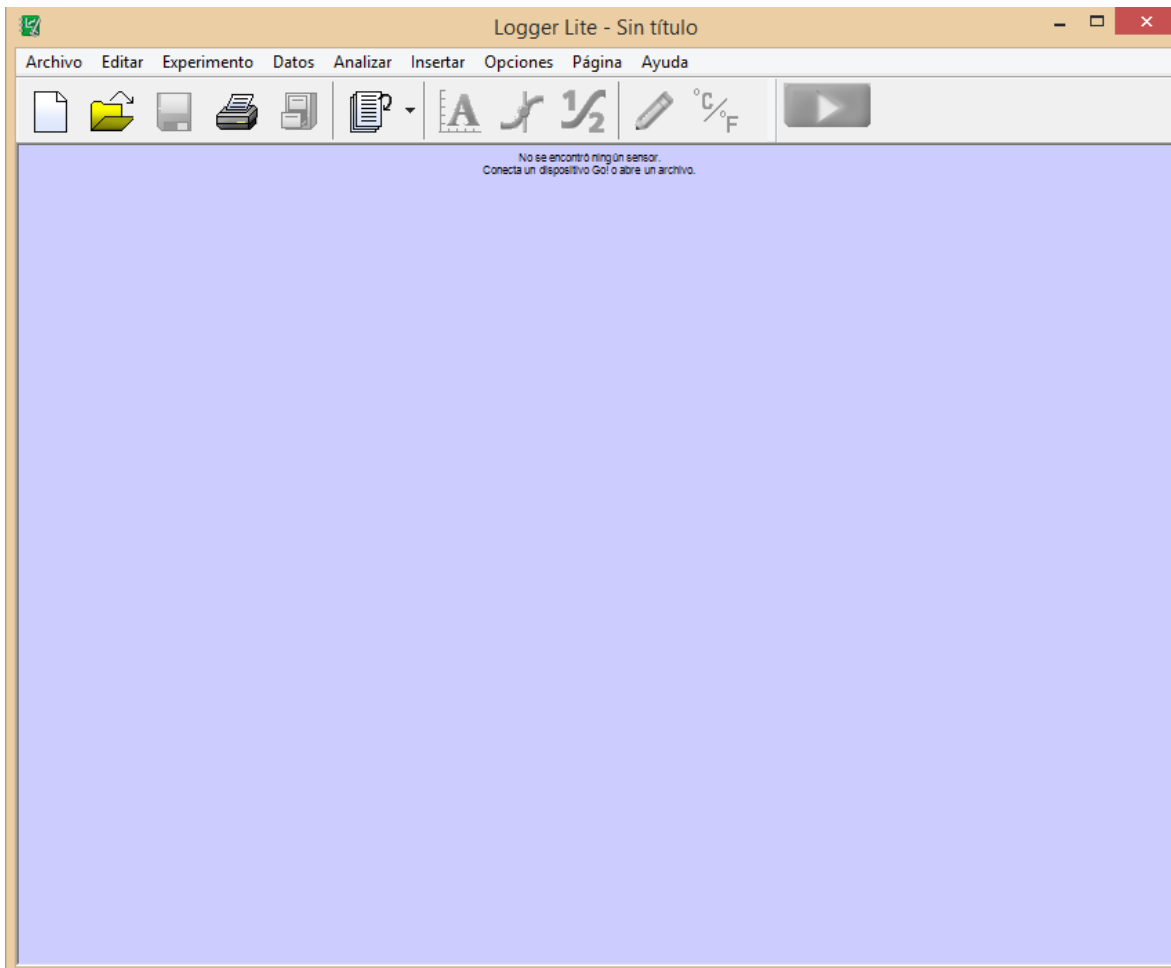
Esto mediante dos sistemas de adquisición de datos para su comparación, el software Logger Lite de Vernier y el software LabVIEW.

### 3.1 Estructura de sistema de adquisición y visualización de datos en Logger Lite.

#### Logger Lite.

En la pantalla principal del software encontramos una descripción la cual nos indica que no se ha detectado ningún sensor conectado, para poder trabajar y visualizar los datos obtenidos por un sensor es necesario conectarlo.

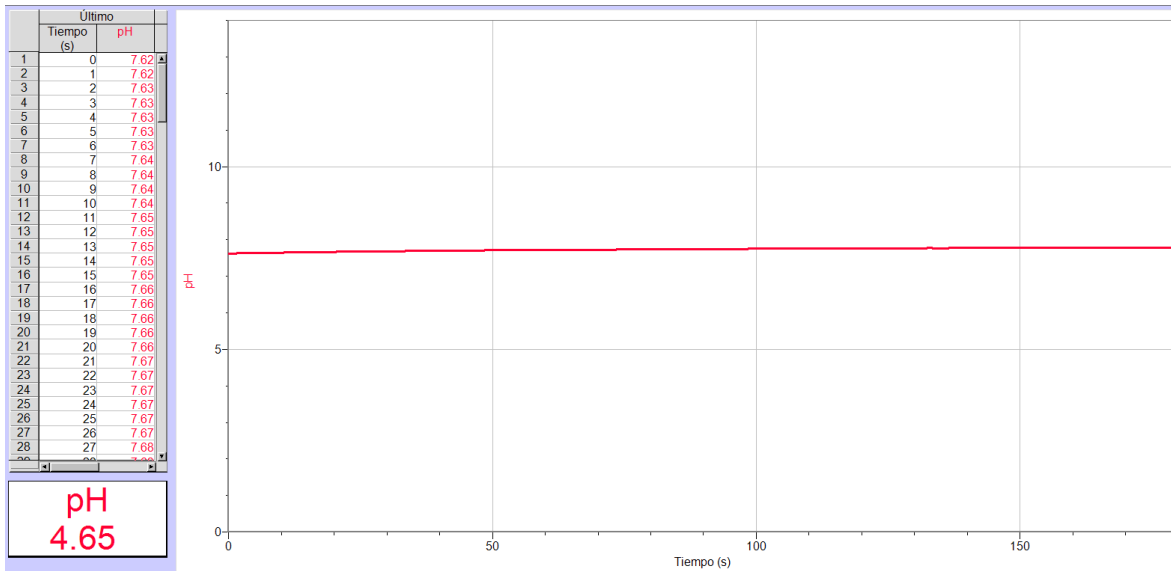
Dentro de la interfaz principal encontramos un botón de collec donde inicia la obtención de datos del sensor, así también otras funciones como cambiar variables, calibración de sensor, etc.



**Fig. 3.1** Logger lite pantalla principal (sin sensor).

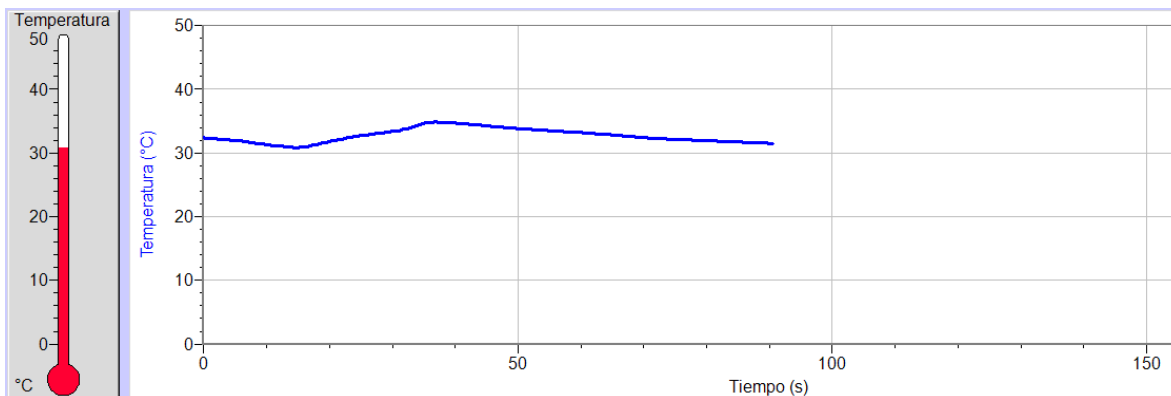
### Adquiriendo datos de los sensores Logger lite en agua.

Agua. Como se puede observar en la figura la medición del pH es bastante estable dentro del rango de 7.6 y 7.8 de pH sumergido en un recipiente con agua para comparar resultados.



**Fig. 3.2** Sensor vernier pH en agua

Adquiriendo datos del sensor de temperatura a temperatura ambiente con unas pequeñas variaciones como agitación o producción de calor.



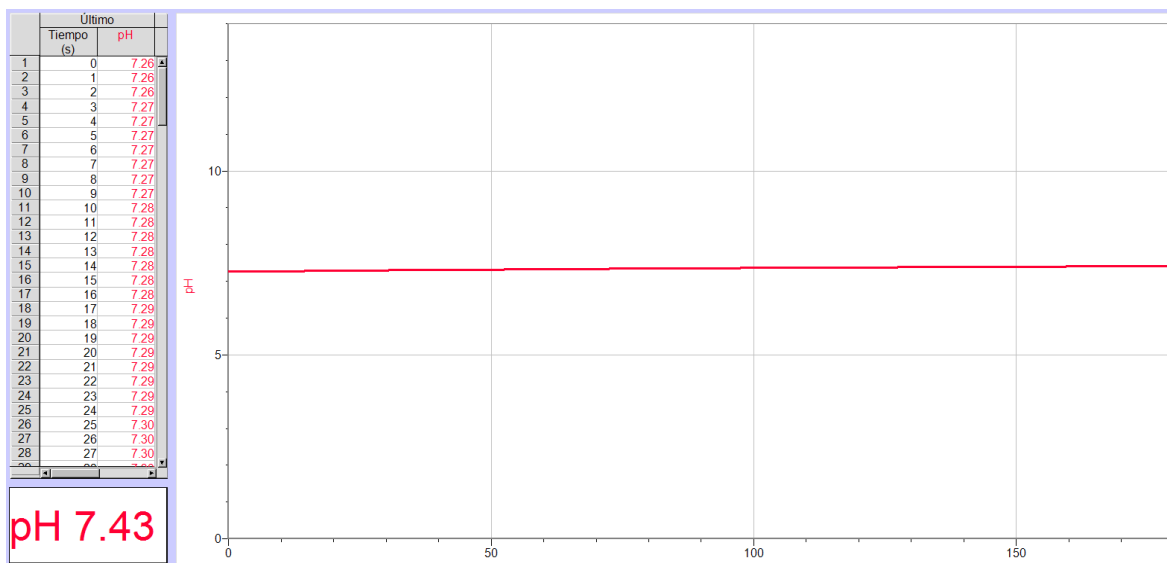
**Fig. 3.3** Sensor de temperatura.



	Último		
	Tiempo (s)	pH	T (°C)
1	0.0		32.4
2	0.5		32.3
3	1.0		32.3
4	1.5		32.3
5	2.0		32.2
6	2.5		32.2
7	3.0		32.1
8	3.5		32.1
9	4.0		32.1
10	4.5		32.0
11	5.0		32.0
12	5.5		31.9
13	6.0		31.9
14	6.5		31.8
15	7.0		31.8
16	7.5		31.7
17	8.0		31.6
18	8.5		31.5
19	9.0		31.5
20	9.5		31.4
21	10.0		31.3
22	10.5		31.2

**Tabla. 3.1** Lecturas sensor de temperatura.

Como se puede observar el sensor omega es bastante más estable que el sensor vernier colocado en agua respectivamente.



**Fig. 3.4** Sensor de pH Omega en Logger Lite.

### Adquiriendo datos de los sensores Logger lite en aceite.

En este caso se utilizó el sensor Vernier para medir el material de aceite utilizado para la producción de biodiesel, se puede observar como el sensor es muy inestable en esta sustancia lanzando lecturas de hasta 14 de pH cuando esa lectura es totalmente errónea.

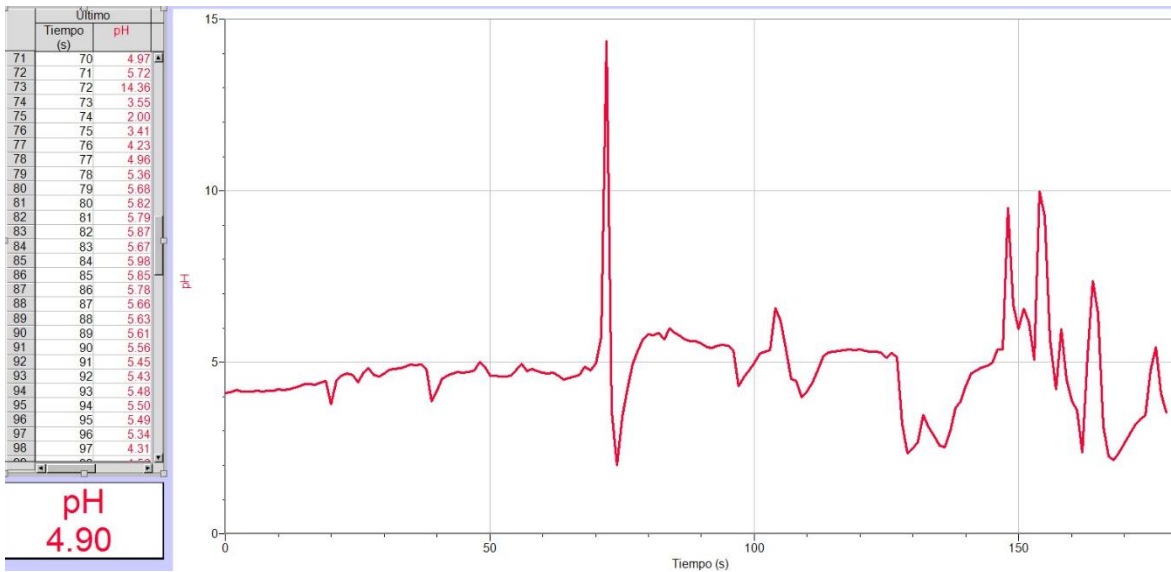
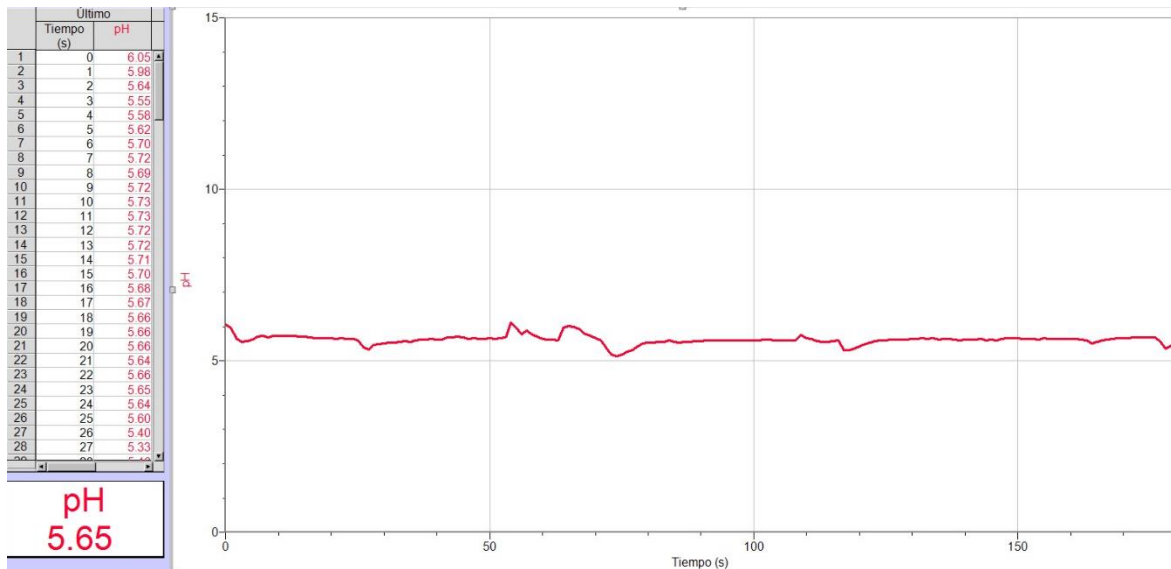


Fig. 3.5 Sensor vernier pH en aceite.

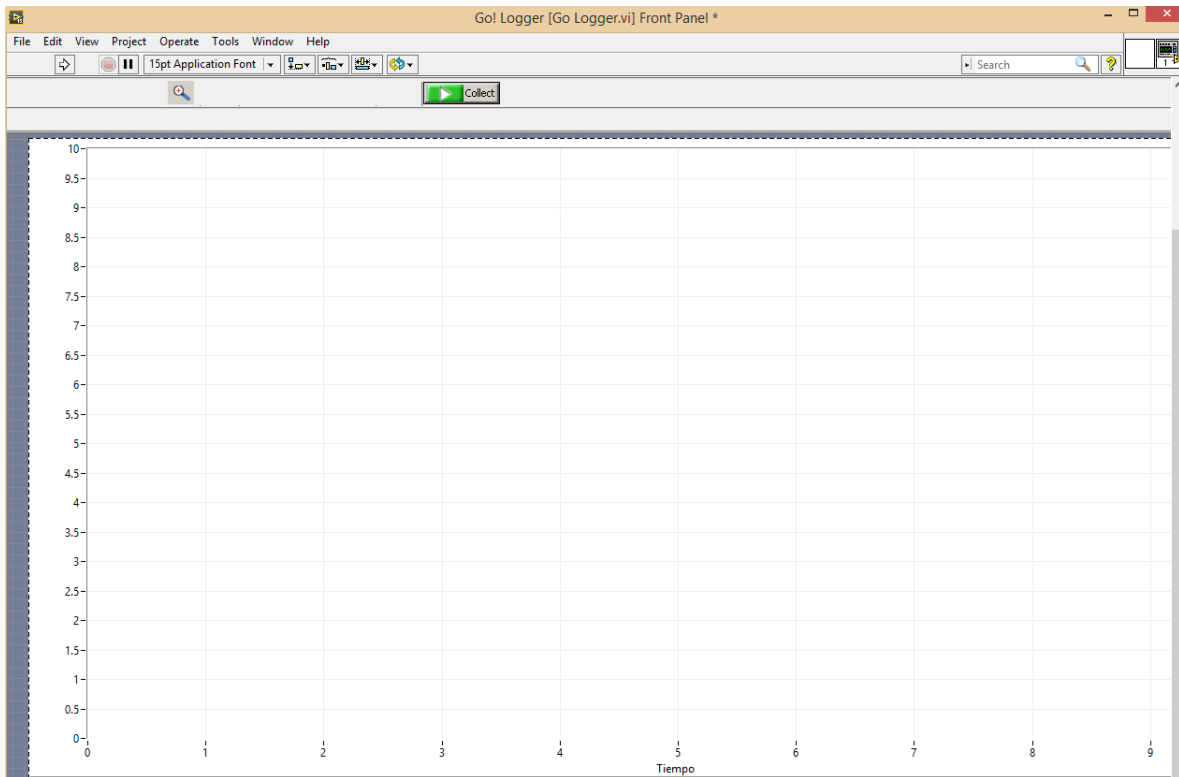
Posteriormente se muestra la lectura del sensor del fabricante Omega y se puede observar claramente que sus lecturas son mucho más estables en comparación al sensor vernier que se encuentra dentro del rango de 5.3 y 6 pH.



**Fig. 3.6** Sensor Omega pH en aceite.

### 3.2 Estructura de sistema de adquisición y visualización de datos en LabVIEW.

Similar al software Logger lite pero realizado a través de LabVIEW es la pantalla principal del sistema de monitorización y supervisor de datos el cual nos ayudara a comparar el funcionamiento exacto de ambos sensores y por qué o donde se produce una falla comparando el resultado de ambos.

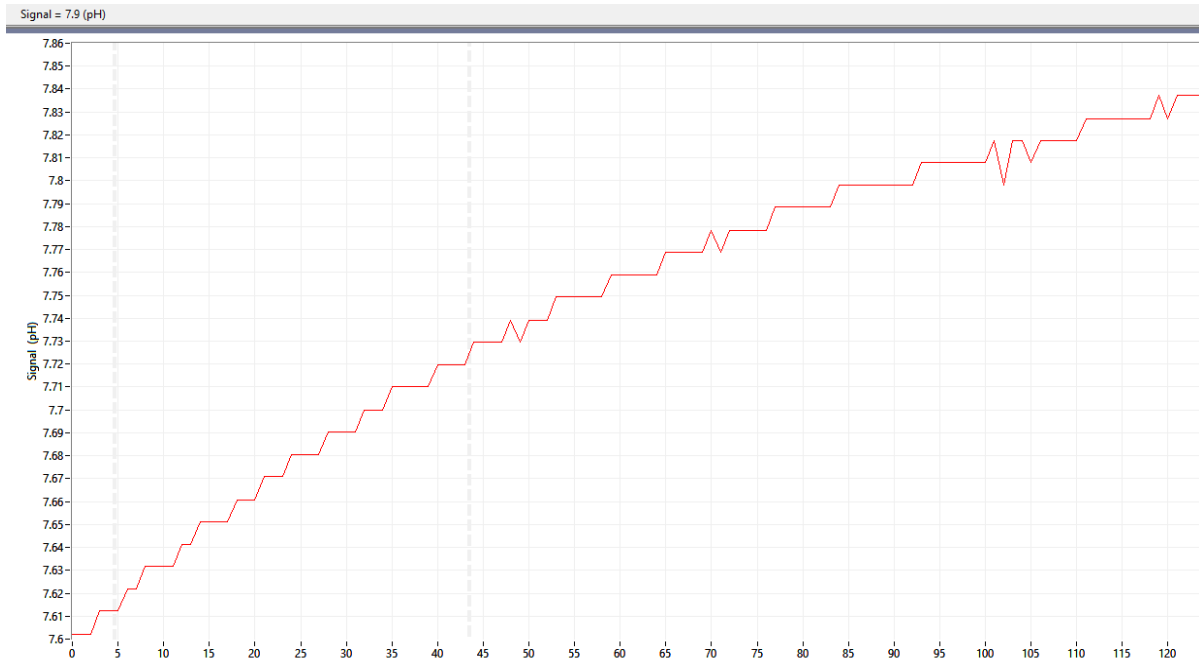


**Fig. 3.7** LabVIEW pantalla principal (sin sensor).

#### **Adquiriendo datos de los sensores LabVIEW en agua.**

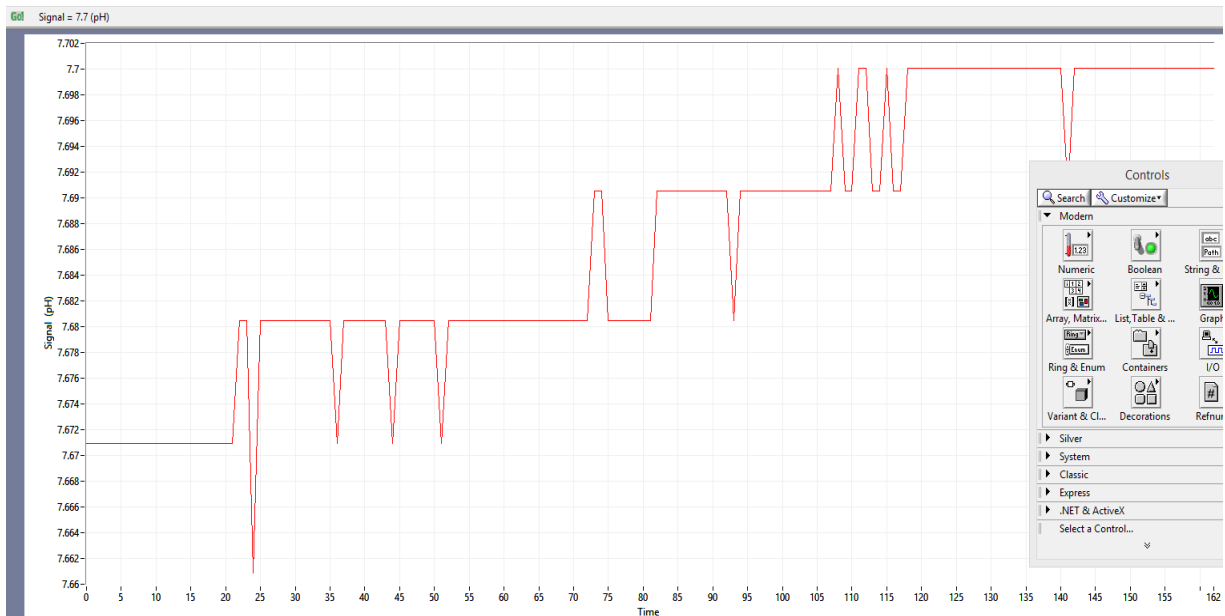
Ahora se tomarán muestras de ambos sensores mediante el software LabVIEW para concluir la causa del problema entre sensores.

A continuación, se muestra la adquisición de datos del sensor de Vernier en agua, pero con LabVIEW para su lectura, con un pH que va de 7.6 a 7.9.



**Fig. 3.8** Sensor Vernier en LabVIEW agua.

Ahora se adquieren las lecturas en agua del sensor de pH Omega con los siguientes resultados.



**Fig. 3.9** Sensor omega en LabVIEW agua.

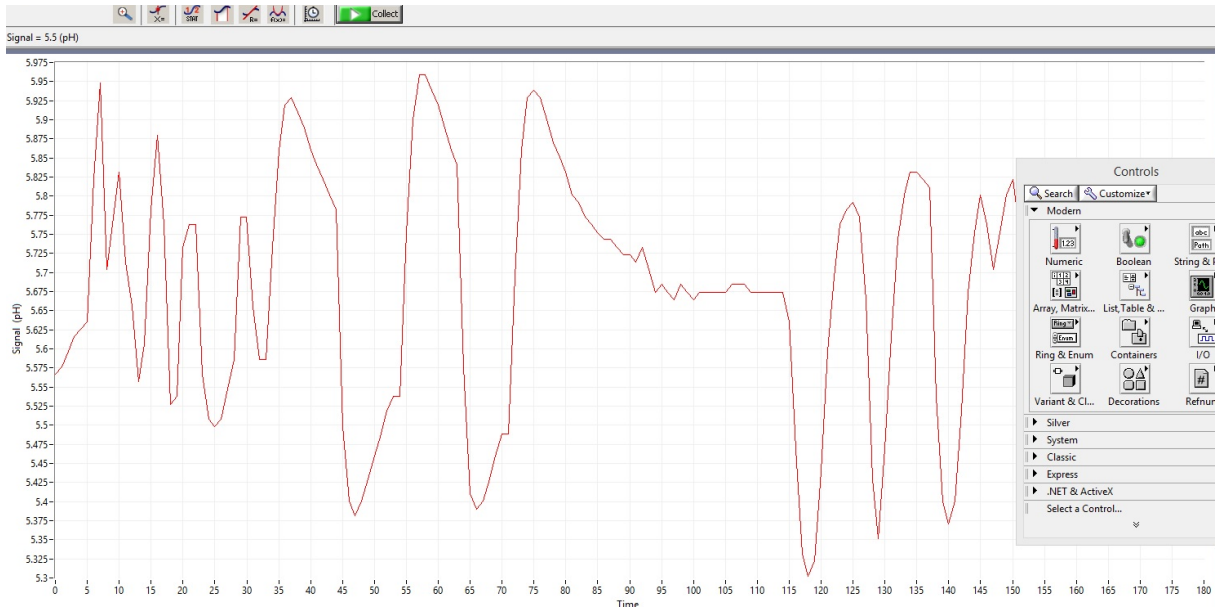
### Adquiriendo datos de los sensores LabVIEW en aceite.

Tomando mediciones con el sensor Vernier, pero ahora en LabVIEW, inclusive en otro software de trabajo este sensor sigue comportándose un tanto inestable. De lecturas que van de 4.7, 3.8 hasta 5.9 pH en la lectura.



**Fig. 3.10** Sensor Vernier en LabVIEW aceite.

Por el contrario, el sensor Omega es más exacto, tomando lecturas más estables que van desde 5.5, 5.3 hasta 5.9 pH su variación no es tanta como el sensor de Vernier.



**Fig. 3.11** Sensor omega en LabVIEW aceite.



### **Recomendaciones y sugerencias.**

Es muy importante tomar en cuenta que el manejo de los sensores debe ser de gran cautela debido a que es un poco difícil poder adquirirlos.

Así también las sustancias como el aceite que se utiliza, o el biodiesel en sí, es importante limpiar muy bien el área en la que se trabajó para evitar posibles daños.

Manejar todo con personal previamente capacitado para el funcionamiento de la planta productora.

## **Conclusiones.**

Al inicio de este trabajo no imaginamos que fuera un impulso para utilizar energías alternativas. Se tiene la idea de que hablar de energías renovables, era ya una necesidad, pero entran los aportes que la Ingeniería.

Aplicando las herramientas que actualmente nos facilitan la simulación o el uso de componentes pudimos establecer parámetros en los cuales nos podemos permitir el margen de error, que todo sistema tiene siempre. Este error puede ser tolerable dentro de un margen.

En el desarrollo de este proyecto se pudo apreciar y comparar el principal problema que se le presenta al reactor químico en su producción de biodiesel, el censado de pH en el aceite. Por eso se desarrolló un sistema de monitoreo para comprar en si cual era el causante de la falla.

Se observó la producción de biodiesel a menor escala en la cual el principal fallo era el sensado de pH en aceite. Deduciendo que el fallo causado por el mal censado es el propio sensor debido a que no está diseñado para trabajar en ese tipo de líquidos.

## Referencias.

- Vernier.com pH sensor. <http://www.vernier.com/products/sensors/ph-sensors/ph-bta/>
- Análisis del ciclo de vida de la producción de biodiésel a partir del descarte procedente de la industria de la curtiduría. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41624511001>
- Tesis: Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. [http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/326/TDUEX\\_2012\\_Pardal.pdf?sequence=1](http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/326/TDUEX_2012_Pardal.pdf?sequence=1)
- Omega.com Su fuente para la Medición y Control de procesos. [http://mx.omega.com/pptst/PHE915015\\_915315.html](http://mx.omega.com/pptst/PHE915015_915315.html)
- biodieselspain.com Centro de debate y Marketplace de biocombustibles. <http://www.biodieselspain.com/que-es-el-biodiesel/>
- Sistemas de supervisión. <http://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/10/files/sistemas%20de%20supervision.pdf>
- Fault-Diagnosis Systems. An introduction from fault detection to fault tolerance. Rolf Isermann. Edit. Springer Verlag, 1st Edition, Germany 2006