



**Casa abierta al tiempo**

**ESTANCIA INDUSTRIAL**

**Presenta:**

**Francisco Javier  
Elizardi Ortega**

**Matricula:**

**204201430**

**Asesor: Ing. Nicolás Reyes Ayala**

**Responsable en la Empresa:  
Ing. Carlos Arturo Arrellín Pineda**



Trimestre 12-P.



# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL BIODIGESTOR. CLASIFICACIÓN Y PRINCIPIOS DE DISEÑO.</b>	<b>6</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)</b>	<b>7</b>
<b>3. SUBROUTINAS AL PROGRAMA IMPLEMENTADO EN EL PLC SIEMENS (CPU-224XP), CON EL PAQUETE DE PROGRAMACIÓN STEP7</b>	<b>8</b>
<b>3.1 ESQUEMA DEL PROGRAMA:</b>	<b>8</b>
<b>3.2 SUBROUTINA "SOPLADORES"</b>	<b>8</b>
<b>3.3 SUBROUTINA " PARO"</b>	<b>9</b>
<b>3.4 SUBROUTINA "DEFAULT"</b>	<b>9</b>
<b>3.5 SUBROUTINA "INICIO"</b>	<b>10</b>
<b>3.6 SUBROUTINA "VÁLVULAS"</b>	<b>10</b>
<b>3.7 SUBROUTINA "BOMBA_SEEPEX"</b>	<b>10</b>
<b>3.8 SUBROUTINA "BOMBA LIMPIA"</b>	<b>10</b>
<b>3.9 SUBROUTINA "DATOS"</b>	<b>11</b>
<b>3.10 SUBROUTINA "RECARGA_RELOJ"</b>	<b>11</b>
<b>3.11 SUBROUTINA "RECARGA_BOTON"</b>	<b>11</b>
<b>3.12 SUBROUTINA "AUTORELOJ"</b>	<b>11</b>

<b>3.13 CONFIGURACIÓN DE LA BOMBA SEEPEX</b>	<b>12</b>
<b>4.1. RECIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL ROTOPLAS DE AGUA CRUDA</b>	<b>13</b>
<b>5. CONTROL DE LOS PROCESOS DE LOS SISTEMAS (BIODIGESTOR Y PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES)</b>	<b>14</b>
<b>5.1. CONTROL MANUAL</b>	<b>14</b>
<b>5.2. CONTROL AUTOMÁTICO</b>	<b>15</b>
<b>6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ETAPAS DE CONTROL Y POTENCIA DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO</b>	<b>24</b>
<b>6.1. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE CADA MÓDULO</b>	<b>25</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>27</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>31</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>32</b>

## RESUMEN

El presente reporte contempla las actividades realizadas durante la *Estancia Industrial* desarrollada en la empresa denominada Proyectos y Servicios Ambientales y Seguridad Industrial, (PYSA); ubicada en Calle Macuspana No. 36, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, delegación Azcapotzalco. PYSA se ha enfocado en desarrollar alternativas tecnológicas, para resolver los problemas suscitados con los residuos orgánicos y las aguas residuales, generados por las actividades diarias de la población. Por ello, en PYSA, se ha trabajado en dos vertientes por un lado, una *Planta de Tratamiento Biológica de Aguas Residuales, (PTAR)* y por otro, un *Biodigestor*, para la obtención de productos reutilizables por el mismo ser humano, como lo son: el agua tratada para riego y el gas metano, respectivamente.

El objetivo de las actividades desarrolladas en la *Estancia Industrial* fue la automatización de los dos sistemas mencionados, los cuales fueron diseñados por ingenieros ambientales, satisfaciendo las necesidades de los clientes de PYSA. La decisión de automatizar dichos procesos físicos y biológicos radica en la necesidad de que se lleven a cabo todos los días del año, que inicien a una hora específica, que el proceso haga distintas actividades, una a la vez o simultaneas, que cada actividad se realice en un lapso de tiempo exacto, que se monitoree y controle el proceso a distancia.

El grupo de trabajo de PYSA en conjunto con el responsable de la *Estancia Industrial*, fueron quienes determinaron la metodología y las decisiones para alcanzar los objetivos establecidos para satisfacer las necesidades de los clientes.

## INTRODUCCIÓN

La sociedad ha crecido en un ritmo tan acelerado que los residuos que se generan de ninguna manera pueden tomarse como simple basura, es por ello, que los profesionistas que se dedican al desarrollo de nuevas tecnologías que procesen los residuos orgánicos en productos reutilizables tienden a hacerlo con una transformación química, física y biológica de dichos residuos. Los métodos de transformación de residuos orgánicos (en productos de mayor valor agregado) que han sido satisfactorios han requerido de elementos eléctricos-electrónicos para procesar cantidades cada vez más grandes y así maximizar su aprovechamiento, por lo cual se desarrollo el *Biodigestor* en PYSA.

La *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)*, ubicada en la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco; se programó con un Controlador Lógico Programable (de ahora en adelante *PLC*), por la gran cantidad de elementos que se desean controlar; además de no menospreciar el hecho de que las variables a controlar aumentaron para tener más y mejor información del proceso, en cambio, en el *Biodigestor*, localizado en el Instituto Politécnico Nacional se optó por un cerebro menos robusto, más práctico, más económico y fácil de programar como lo es un *Microcontrolador están definidas (1)*.

# 1. DESCRIPCIÓN DEL BIODIGESTOR. CLASIFICACIÓN Y PRINCIPIOS DE DISEÑO.

Desde una perspectiva industrial se ha evidenciado el crecimiento e innovación de los procesos biotecnológicos para el tratamiento de residuos orgánicos dedicados a la generación de fuentes de energías alternativas. El fenómeno de digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual la materia orgánica en ausencia de oxígeno es degradada por un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos que producen un gas llamado biogás (60% CH<sub>4</sub> y 39% CO<sub>2</sub>)(2).

Un bioreactor es un contenedor (fermentador) diseñado para proveer un medio controlado en el que se emplean sistemas microbianos para la manufactura económica de productos de interés comercial. El tipo de bioreactores mayormente empleado consiste en uno o más tanques cilíndricos, sin embargo las aplicaciones de este tipo de biotecnología son tan variadas que las configuraciones en los fermentadores, debido a condiciones internas de proceso y/o requerimientos de agitación, permiten una amplia gama de modificaciones. Los biodigestores pueden ser fácilmente clasificados por los arreglos usados para recolectar el biogás; ver figura 1 (3).

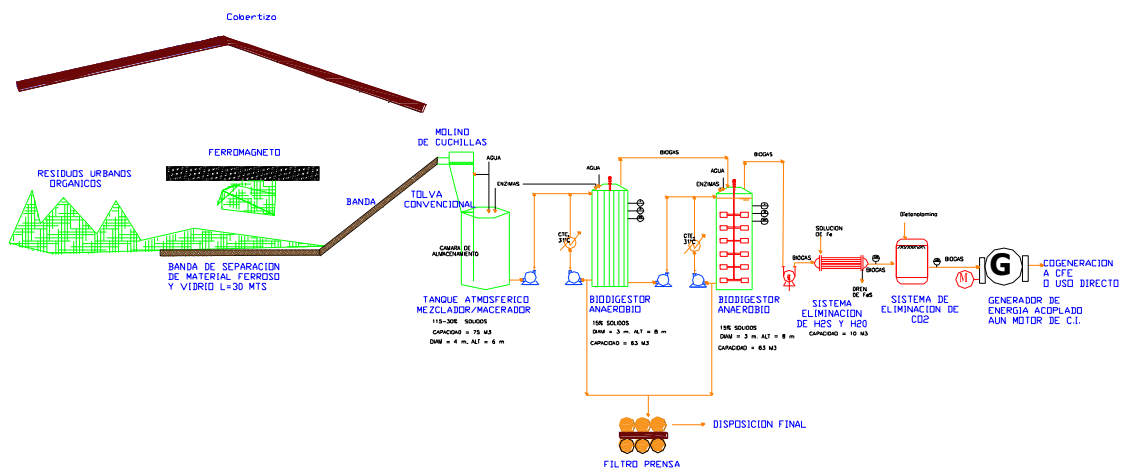


Figura 1. Diagrama del Flujo de Proceso del Biodigestor.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

La mayoría de las aguas residuales que se vierten a los ríos y mares del mundo no son tratadas. Simplemente se descargan en los cuerpos de agua (ríos, mares o lagos más cercanos) y se deja que los sistemas naturales, con mayor o menor eficacia y riesgo, degraden los desechos de forma natural. En los países desarrollados una proporción, cada vez mayor, de los vertidos es tratada antes de que se viertan a los ríos o mares en PTAR's.

En la figura 2, se muestra un diagrama de flujo típico de una PTAR indicando sus tipos de tratamientos (primario, secundario y terciario); señalando los puntos de muestreo más recomendables:

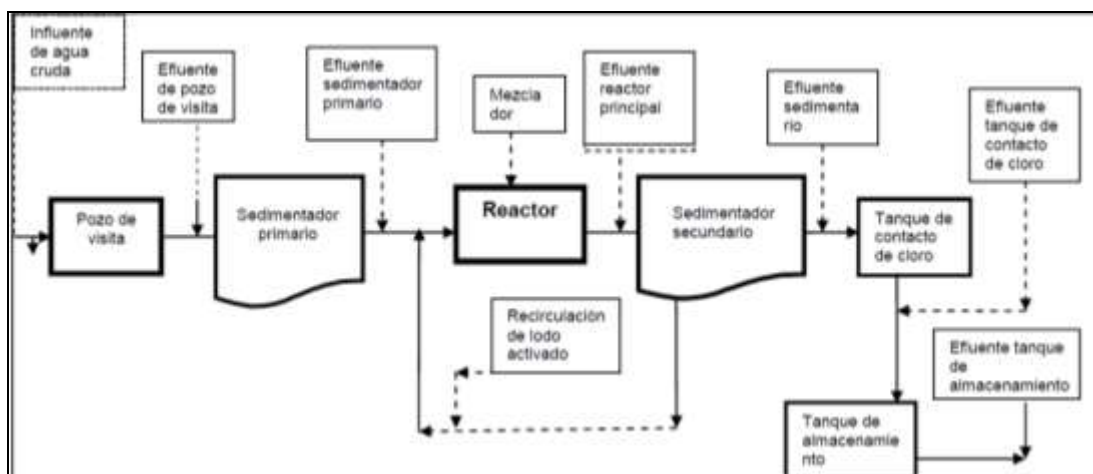


Figura 1. Diagrama de flujo general de una PTAR

El objetivo de los tratamientos es, en general, reducir la carga de contaminantes del efluente, cumplir con la normatividad ambiental correspondiente. Por lo cual, se componen de diferentes operaciones unitarias que conforman los diferentes tipos de tratamiento (4).

### **3. SUBROUTINAS AL PROGRAMA IMPLEMENTADO EN EL PLC SIEMENS (CPU-224XP), CON EL PAQUETE DE PROGRAMACIÓN STEP7**

#### **3.1 ESQUEMA DEL PROGRAMA:**

El programa principal fue realizado por el Departamento de Electrónica de PYSA y el responsable de esta *Estancia Industrial*, fue quien realizó las siguientes *subrutinas* que se describen a continuación:

El programa está dividido en los siguientes bloques:

En el *Programa Principal* se tienen todas las condiciones necesarias para llamar a cada una de las *Subrutinas*.

Como es información confidencial de la empresa no se puede mostrar el contenido del programa como tal solo se comenta que es lo que realiza cada subrutina a continuación se da una explicación de ellas.

#### **3.2 SUBROUTINA "SOPLADORES"**

NOTAS:

- Los sopladores deben estar encendidos siempre (las 24 horas del día= 1440 minutos), excepto durante el tiempo en que se requiera sedimentar, actualmente el tiempo de sedimentación en la recarga automática es de 2:30 horas.
- Solo debe estar operando un soplador a la vez, por lo que en 12 horas está activado un soplador y en las 12 horas restantes se activa el otro.
- Entre apagado de un soplador y encendido del otro se deja un minuto de espera para evitar conflictos.
- Por lo que el tiempo total de este procedimiento es de 1442 minutos.

PROCEDIMIENTO:

- Cuando se presiona el botón **Inicio\_Sopladores** se pone en 1 la marca de memoria **M\_Inicio\_Sopladores**.



- Si la marca de memoria **M\_Inicio\_Sopladores** está activada y no se ha activado la marca **M\_Reset\_T37** entonces se activa el temporizador **T37**.
- Cuando el temporizador **T37** ha llegado a su cuenta (60 segundos) se activa la marca **M\_Reset\_T37** para resetearse.
- El contador **CO** cuenta hasta 1442, incrementa su cuenta cada que **T37** se activa (o sea cada que transcurre un minuto) y se resetea cuando **CO=1442** o cuando se presione e botón de arranque general **Boton\_Arranque**.

### **3.3 SUBROUTINA " PARO"**

La subrutina de paro está diseñada para que una vez que se active la marca de memoria "Marca\_Paro" se encienda el led de Paro y se apague el led de arranque con el fin de indicar visualmente al operador de la planta el hecho de que el proceso se detendrá no importando la acción que se esté desarrollando en ese momento, por lo cual se ejecutan las siguientes acciones: se deshabilita el bit que controla el uso de la bomba Seepex, se apagan ambos sopladores y se deshabilita la secuencia automática que enciende a ambos, se apaga la bomba de agua limpia, se cierran las válvulas 3,4 y 5, se cierra la válvula 1 (válvula que da paso a los lodos) y 30 segundos después se cierra la válvula 2 (válvula que da paso al agua tratada).

### **3.4 SUBROUTINA "DEFAULT"**

La secuencia automática mencionada con anterioridad, tiene como objetivo arrancar automáticamente los sopladores, eso significa que una vez que el sistema esté energizado pero no se ha presionado ni el botón de inicio ni el botón de paro de emergencia los sopladores arrancan, esta subrutina fue concebida para los casos en que la energía del sistema fuera cortada y no hubiera personal que pudiese atender a la tarea de inicializar el sistema cuando la energía regresara. Con el fin de que los microorganismos encargados de hacer el proceso de purificación del agua no mueran, el proceso debe estar siempre oxigenado exceptuando el

momento en que se sedimenta la materia dentro del reactor (generalmente una hora y media antes de que sea drenado el mismo).

### **3.5 SUBROUTINA "INICIO"**

En esta subrutina se pone en cero todas las marcas de memoria utilizadas y se desactivan todas las salidas que controlan a cada uno de los elementos del sistema, además se cargan los parámetros de hora y fecha para el inicio y el correspondiente paro para la subrutina RELOJ.

### **3.6 SUBROUTINA "VÁLVULAS"**

Con un solo botón llamado "Válvula\_1\_2" se controla la apertura y cierre de las válvulas 1 y 2, inmediatamente después de que el botón es presionado la válvula 2 se abre y 3 segundos después se abre la válvula 2 y al volverse a presionar dicho botón se cierra la válvula 1 y 30 segundos después la válvula 2, esto responde a la posición en la que fueron colocadas las válvulas dentro de tubería del sistema y el sentido del recorrido que tiene el agua tratada evitando así que se incremente la presión en un tubo y su posible ruptura por esta causa. También controla la apertura y cierre de la válvula 5 mediante el botón "Válvula\_5", apertura y cierre de la válvula 4 mediante el botón "Válvula\_4" y por último apertura y cierre de la válvula 3 mediante el botón "Válvula\_3".

### **3.7 SUBROUTINA "BOMBA\_SEEPEX"**

Esta subrutina se encarga de habilitar/deshabilitar el bit que a su vez permite la energización de la bomba Seepex (bomba de lodos) manipulado por un botón.

### **3.8 SUBROUTINA "BOMBA LIMPIA"**

Se encarga del apagado/encendido de la bomba de agua limpia controlada por un botón.

### **3.9 SUBROUTINA "DATOS"**

Esta es la subrutina de adquisición de Datos del CPU para su procesamiento en una hoja de cálculo de Excel por medio del software PCAccess.

### **3.10 SUBROUTINA "RECARGA\_RELOJ"**

En esta subrutina se programó toda la secuencia de recarga del reactor, cuyos pasos son: si se ha activado la marca de memoria que indica que se ha cumplido la fecha y hora programadas para el inicio de recarga entonces se apagan los sopladores, se espera el tiempo de sedimentación, se enciende la bomba para drenar el tanque, se encienden los sopladores y por último se enciende la bomba de agua cruda que manda agua al tanque para llenarlo. Y por supuesto se tiene un indicador luminoso que cambia de estado durante el tiempo en que la recarga está en proceso. Ver el anexo 1 para la información detallada.

### **3.11 SUBROUTINA "RECARGA\_BOTON"**

Esta subrutina realiza las mismas acciones que la subrutina "RECARGA\_RELOJ" la diferencia significativa radica en la forma en que se activa ésta, ya que no es resultado de una señal de reloj del sistema sino que es un botón el que le indica el inicio del procedimiento de recarga del reactor. Ver el anexo 1 para la información detallada.

### **3.12 SUBROUTINA "AUTORELOJ"**

En todo momento se está leyendo la información del reloj el sistema, obedeciendo a este reloj se programan los días y a las horas en los que se quiere que inicie el proceso de recarga del reactor, por lo que cuando se

cumple una fecha se manda a llamar a la subrutina "RECARGA\_RELOJ" para que se ejecute.

### 3.13 CONFIGURACIÓN DE LA BOMBA SEEPEX

Otra guía de usuario desarrollada es la que describe la configuración de la bomba Seepex, este manual se apoya a su vez del diagrama que representa al gabinete de potencia. La bomba Seepex es la encargada de que re circule el agua tratada a través de las tuberías para obtener muestras o simplemente desecharla del sistema. Entre los puntos importantes de esta guía destacan: la posición de sus cables de alimentación (rojo, negro y blanco vistos de izquierda a derecha) conectados en el interruptor del inversor, los pasos a seguir para modificar la velocidad de la bomba Seepex, que para seguridad fue desde un principio configurada para variar su frecuencia solo de 20 a 60Hz, evitando así que por accidente el operador de la planta la configurara a su máxima velocidad y el sistema no resistiera la presión del agua reventándose así las tuberías o las conexiones entre ellas. Ver el anexo 2 para la información detallada.

En el diagrama de flujo (figura 3), se muestra la secuencia del proceso en la PTAR, así como una fotografía en la figura 4, se observan los gabinetes de control.

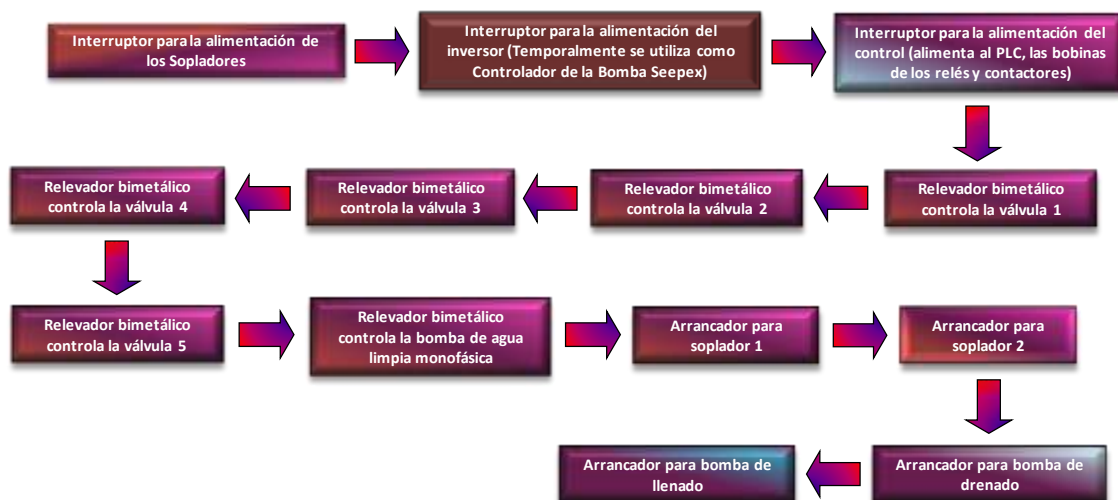


Figura 3. Diagrama de Flujo del proceso en la PTAR



Figura 4. Foto de los gabinetes de control.

#### **4.1. RECIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL ROTOPLAS DE AGUA CRUDA**

Un problema detectado en el momento en que se lleva a cabo el llenado del reactor cuando se está ejecutando la subrutina de Recarga Automática, es el hecho de que a pesar de que sea programado el mismo tiempo de llenado (este tiempo es indicado en la salida del programa del PLC llamada Bomba\_BP\_201) el volumen del reactor no siempre es el mismo. La causa más probable de esto es que la materia prima de este proceso (denominada agua cruda) está compuesta de sólidos y líquidos, por lo cual después de haberse

llenado el tinaco de agua cruda esta materia tiende a sedimentarse y como la bomba de llenado en primera instancia expulsa la parte superior del tinaco y al último se queda la materia más sólida, lo que provoca que al final, la fuerza de la bomba no sea suficiente para expulsarla. La solución más adecuada fue hacer un proceso para re circular el agua cruda en el tinaco tiempo antes de que ésta sea enviada al reactor. Por ello, en el anexo 3 son explicados los pasos a seguir para hacer la recirculación en el tinaco de agua cruda de forma manual y de forma automática mediante la subrutina implementada en el programa del PLC.

## **5. CONTROL DE LOS PROCESOS DE LOS SISTEMAS (BIODIGESTOR Y PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES)**

### **5.1. CONTROL MANUAL**

El control manual del *Biodigestor* está diseñado para que un operador manipule el encendido y apagado de cada elemento de manera individual dependiendo de las necesidades del proceso, ya que para realizar pruebas en la eficiencia de este sistema se requiere cambiar constantemente el tiempo en que todos y cada uno de los elementos se encuentra activado, el control manual consta de 5 botones montados en un gabinete industrial para alargar la vida útil de los elementos y garantizar su buen desempeño aún en ambientes extremos. Las funciones de los 5 botones se expresan a continuación, así como el elemento electrónico y/o mecánico que es controlado por cada uno:

- El apagado/encendido del sistema de mezclado, recordando que el agitador es el dispositivo que se encarga de mezclar la molienda.
- El apagado/encendido del sistema de calentamiento, en donde la resistencia que se encarga del calentamiento de la molienda.
- El apagado/encendido del sistema de molienda, mecanismo por donde se alimenta al bioreactor y que debe controlar la cantidad de materia prima requerida en cada proceso.
- El apagado/encendido del controlador de temperatura, el cual es el dispositivo encargado del monitoreo constante de temperatura, y por último.

- El botón de paro de emergencia que detiene inmediatamente después de ser presionado todas las acciones que se estuvieran desarrollando en ese momento. Y una vez que se desenchave dicho botón el proceso iniciará desde cero, o sea que no se almacenará el estado del sistema al momento de presionar el botón.

Para que el sistema responda a cada pulso de botón y tomando en cuenta que los botones utilizados no cuentan con un enclavamiento al momento de ser presionados (no retienen la señal alta) sino que la señal alta es enviada cada que se presionan los botones.

Debido a la importancia de atender a la señal que indica paro de emergencia, se utilizó la interrupción "INT0" que tiene máxima prioridad, y para cada uno de los 4 botones restantes para el encendido/apagado de cada elemento se estableció colocarlos en las entradas del microcontrador que nos permiten detectar un cambio en sus estados mediante la interrupción de "cambios en el puerto B" definidos en los pines 25, 26, 27 y 28 (RB4-RB7) del *Microcontrolador (6)*.

## 5.2. CONTROL AUTOMÁTICO

La idea del control automático se concibió debido a la importancia de estar monitoreando y controlando el proceso sin la necesidad de estar de forma presencial al lado del biodigestor en todo momento. Este tipo de control consiste en encender/apagar cada elemento físico desde una PC sin manipular los botones que se encuentran en el gabinete industrial. Se implementó el siguiente código en Microbasic (7):

```

program Interrupciones
include "usbgenhid"
include "USBdsc"
'*****
'*****
' Declaración de variables
'*****
'*****
dim

```

```

k, i, ch, aa, bb, cc, dd, REG1, REG1A, REG1B, REGISTRO, entrada, enable as byte
userWR_buffer as byte[2]
userRD_buffer as byte[2]
df          as word absolute 15
wr_adr     as word
*****
****
' Rutina principal de interrupción
*****
****
sub procedure interrupt
  HID_InterruptProc
  'se verifica si se presionó el push button 5 (BOTÓN DE PARO GENERAL)
  if TestBit(INTCON, INTOIF) = 1 then
    ' Se apagan todas las salidas
    ClearBit(PORTC, 6)
    ClearBit(PORTB, 1)
    ClearBit(PORTB, 2)
    ClearBit(PORTB, 3)
    'se inicializan los contadores que llevan el REGISTRO de las veces
    'que se ha presionado cada botón
    aa=0
    bb=0
    cc=0
    dd=0
    'el REGISTRO REG1A almacena el estado de las salidas del microcontrolador
    'cuando se ha modificado el estado de los botones físicos
    REG1A=0
    'el REGISTRO REG1B almacena el estado de las salidas del microcontrolador
    'cuando se ha modificado el estado de los botones virtuales de Visual Basic
    REG1B=0
    'se limpia la bandera de interrupción
    ClearBit(INTCON, INTOIF)
  else
    'se verifica si ocurrió un cambio en el puerto B
    if TestBit(INTCON, RBIF) = 1 then
      REGISTRO= PORTB
      delay_us (500)
      'el procedimiento siguiente se realiza solo si el botón de paro NO está presionado
      'ya que el botón de paro se encuentra en el bit 0 del puerto B y
      'por lo tanto en el bit 0 del REGISTRO llamado "REGISTRO"
      if TestBit (REGISTRO, 0)=0 then
        'se verifica si se presionó el push button 1
        if TestBit(REGISTRO, 7) = 1 then
          'de deja un tiempo de espera para cerciorarse que realmente se presionó el botón

```



```

Delay_us(250)
'si después del retardo sigue activado el bit significa que sí se presionó el botón
if TestBit(REGISTRO, 7) = 1 then
    aa=aa+1
    'cuando el contador tiene el valor de "1" la salida del microcontrolador debe
encenderse
    if aa=1 then
        'se hace un filtro para saber si el sistema se ha conectado a la interfaz
        'de Visual Basic o está funcionando solo manualmente en base al estado de la
variable enable
        if enable=0 then
            PORTC.6=1
            REG1A.0=1
        else
            if TestBit(ch, 4) = 0 then
                PORTC.6=1
                REG1A.0=1
            end if
        end if
    else
        'si el valor del contador es 0 o 2 el estado de la salida del
        'microcontrolador debe estar apagado
        if ((aa=0) or (aa=2)) then
            PORTC.6=0
            REG1A.0=0
            aa=0
        end if
    end if
end if
end if
end if
'se verifica si se presionó el push button 2 con el mismo procedimiento que se hizo con
el push button 1
if TestBit(REGISTRO, 6) = 1 then
    Delay_us(250)
    if TestBit(REGISTRO, 6) = 1 then
        bb=bb+1
        if bb=1 then
            if enable=0 then
                PORTB.1=1
                REG1A.1=1
            else
                if TestBit(ch, 4) = 0 then
                    PORTB.1=1
                    REG1A.1=1
                end if
            end if
        end if
    end if
end if

```

```

    end if
  else
    if ((bb=0) or (bb=2)) then
      PORTB.1=0
      REG1A.1=0
      bb=0
    end if
  end if
end if
end if
end if

```

'se verifica si se presionó el push button 3 de la misma forma que en los botones anteriores

```

if TestBit(REGISTRO, 5) = 1 then
  Delay_us(250)
  if TestBit(REGISTRO, 5) = 1 then
    cc=cc+1
    if cc=1 then
      if enable=0 then
        PORTB.2=1
        REG1A.2=1
      else
        if TestBit(ch, 4) = 0 then
          PORTB.2=1
          REG1A.2=1
        end if
      end if
    else
      if ((cc=0) or (cc=2)) then
        PORTB.2=0
        REG1A.2=0
        cc=0
      end if
    end if
  end if
end if
end if
end if

```

'se verifica si se presionó el push button 4 igual a los procedimientos anteriores

```

if TestBit(REGISTRO, 4) = 1 then
  Delay_us(250)
  if TestBit(REGISTRO, 4) = 1 then
    dd=dd+1
    if dd=1 then
      if (enable=0) then
        PORTB.3=1
        REG1A.3=1
      else

```

```

        if TestBit(ch, 4) = 0 then
            PORTB.3=1
            REG1A.3=1
        end if
    end if
else
    if ((dd=0) or (dd=2)) then
        PORTB.3=0
        REG1A.3=0
        dd=0
    end if
end if
end if
end if
end if
ClearBit(INTCON, RBIF)
end if
end if
end if
end sub
'*****
*****

'*****
*****

' Rutina para la inicialización de los registros
'*****
*****
sub procedure Init_Main
    '-----
    ' habilitación de interrupciones
    '-----
    'INTCON=1101 1000 mediante esta configuración se habilitan todas
    'las interrupciones de alta y baja prioridad, se habilita la INTO y la
    'interrupción por cambios en el puerto B
    INTCON = 0xD8
    'INTCON2 =1111 0000 con esta configuración se logra que las interrupciones
    'se activen en el flanco de subida y que la interrupción por cambios en el
    'puerto B sea de baja prioridad
    INTCON2 = 0xF0
    'INTCON3=0000 0000 se deshabilitan las interrupciones INT1 e INT2
    INTCON3 = 0x00
    'configurando este bit se habilita el nivel de prioridad de las interrupciones
    RCON.IPEN = 1
    PIE1 = 0
    PIE2 = 0

```

```

    PIR1 = 0
    PIR2 = 0
    '-----
    'Configuración de los puertos
    '-----
    TRISA = 0xFF 'todo el puerto A como entrada
    TRISB = 0xF1 'puertoB 11110001
    TRISC = 0xBF 'puerto C 10111111

    LATA = 0
    LATB = 0
    LATC = 0
end sub
'*****
****
' Main Program Routine
'*****
****

main:
'se inicializan las variables
df=0
aa=0
bb=0
cc=0
dd=0
PORTB=0
PORTC=0
REG1=0
REG1A=0
REG1B=0
REGISTRO=0
entrada=0
enable=0
Init_Main
'se habilita la comunicación USB
HID_Enable(@userRD_buffer, @userWR_buffer)
enable=1
while true
    k = HID_Read
    i = 0
    while i < k
        if k=0 then
            userWR_buffer[0] = 0 'valor que se está mandando x el buffer
            HID_Write(@userWR_buffer, 1)

```

```

end if
' en ch se encuentra el dato que llegó de Visual Basic
ch = userRD_buffer[0]
'si el bit 4 de ch está en 1 implica que se presionó el botón
'de paro de emergencia virtual y realiza todas las acciones que si
'se hubiera presionado el botón de paro físico
if TestBit(ch, 4) = 1 then
    ClearBit(PORTC, 6)
    ClearBit(PORTB, 1)
    ClearBit(PORTB, 2)
    ClearBit(PORTB, 3)
    aa=0
    bb=0
    cc=0
    dd=0
    REG1B=0
    REG1A=0
else
'se checa si el botón 1 de VB fue presionado
'se carga el valor del contador de botonazos correspondiente
'al estado del bit que se manda de Visual Basic
if TestBit(ch, 0) = 1 then
    aa=1
    PORTC.6=1
    REG1B.0=1
else
    aa=0
    PORTC.6=0
    REG1B.0=0
end if
'se checa si el botón 2 de VB fue presionado
if TestBit(ch, 1) = 1 then
    bb=1
    PORTB.1=1
    REG1B.1=1
else
    bb=0
    PORTB.1=0
    REG1B.1=0
end if
'se checa si el botón 3 de VB fue presionado
if TestBit(ch, 2) = 1 then
    cc=1
    PORTB.2=1
    REG1B.2=1

```

```

else
    cc=0
    PORTB.2=0
    REG1B.2=0
end if
'se checa si el botón 4 de VB fue presionado
if TestBit(ch, 3) = 1 then
    dd=1
    PORTB.3=1
    REG1B.3=1
else
    dd=0
    PORTB.3=0
    REG1B.3=0
end if
end if
'una vez que se tiene el valor de los registros de entrada se procede
'a enviar la información mediante el REGISTRO de salida que es enviado
'por el buffer llamado REG1
'es necesario identificar de dónde proviene la señal de paro para tomar acciones
if ((TestBit (PORTB, 0)=1)or (TestBit(ch, 4) = 1)) then
    'este paro se originó en el sistema físico
    if TestBit (PORTB, 0)=1 then      'el paro por botón manda un 32
        REG1= 0x20
    else
        'este paro se originó en Visual Basic
        if TestBit(ch, 4) = 1 then      'el paro por VB manda un 16
            REG1= 0x10
        end if
    end if
end if
else
'en caso que no se haya presionado algún paro lo que se envían son los
'estados en los que deben estar las salidas del microcontrolador
    REG1= REG1A xor REG1B
end if
'se actualizan los estados de las salidas del microcontrolador
IF TestBit(REG1,0)=1 THEN
    PORTC.6=1
ELSE
    PORTC.6=0
END IF
PORTB= REG1 AND 0x0E
'instrucciones que envían los datos a Visual Basic
userWR_buffer[0]= REG1
HID_Write(@userWR_buffer, 1)

```

```

    delay_ms (1000)
    inc(i)
wend

wend
HID_Disable
enable=0
'este código es necesario a fin de ligar las variables cargadas y la rutina HID_InterruptProc
'en tiempo real esto nunca se ejecutará
if false then
    HID_InterruptProc
    wr_adr = @DeviceDescr
    wr_adr = @ConfigDescr
    wr_adr = @InterfaceDescr
    wr_adr = @HID_Descriptor
    wr_adr = @EP1_RXDescr
    wr_adr = @EP1_TXDescr
    wr_adr = @HID_ReportDesc
    wr_adr = @LangIDDescr
    wr_adr = @ManufacturerDescr
    wr_adr = @ProductDescr
    wr_adr = @StrUnknownDescr
end if

end

```

## 6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS ETAPAS DE POTENCIA DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO

El diseño y construcción de la etapa de control y potencia fueron realizadas de tal forma que en vez de tener una sola tablilla de control, ésta fuera dividida en módulos, de esta manera, es posible cambiar un módulo en caso de posible daño sin la necesidad de rehacer la tablilla completamente, ver figura 5.

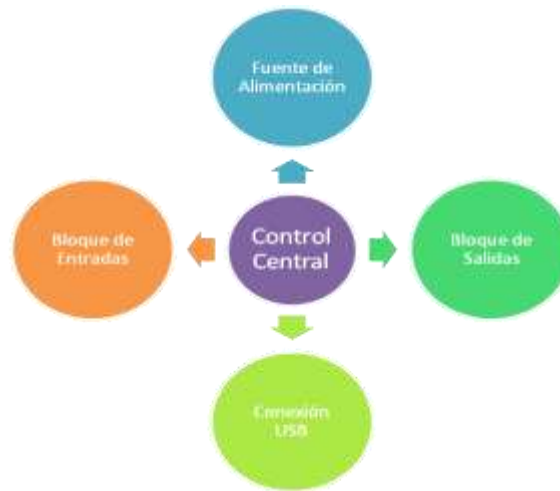


Figura 5. Diagrama de los módulos en que se dividió el sistema que controla al biodigestor

Para la elaboración de los circuitos impresos se requirió aprender a utilizar un paquete especializado en estas actividades, en este caso se trabajó con Eagle.

Para la realización de los PCB (Printed Circuit Board) se eligió el programa EAGLE Layout Editor. Eagle es el acrónimo de Easily Applicable Graphical Layout Editor y se compone de 2 pantallas: Schematic Capture (esquemático) y la PCB Layout (Board).

Dicho programa se utilizó por una razón simple: existen componentes cuyas características no son encontradas en ninguna librería existente, por lo cual hay que modificar una de las ya existentes (creando nuestro componente dentro de alguna de ellas) o realizar una desde el principio, cosa que Eagle permite hacer sin ninguna complicación, ya que las Librerías de Eagle permiten



albergar múltiples componentes, cada uno de ellos con distintos encapsulados, dentro de una librería cualquiera(8).

## 6.1. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DE CADA MÓDULO

### CONTROL CENTRAL

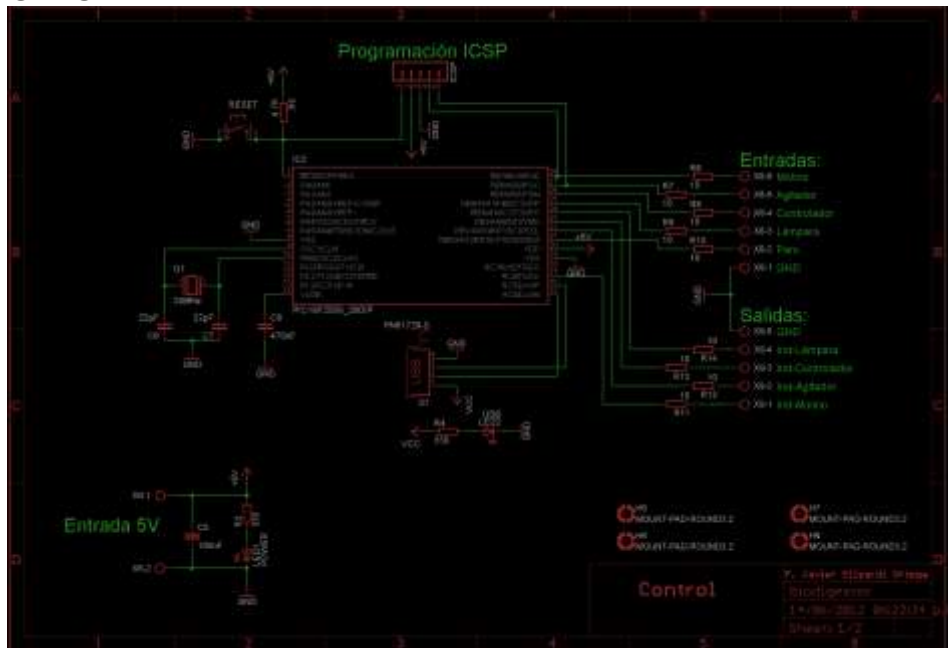


Figura 62. Diagrama esquemático del control central

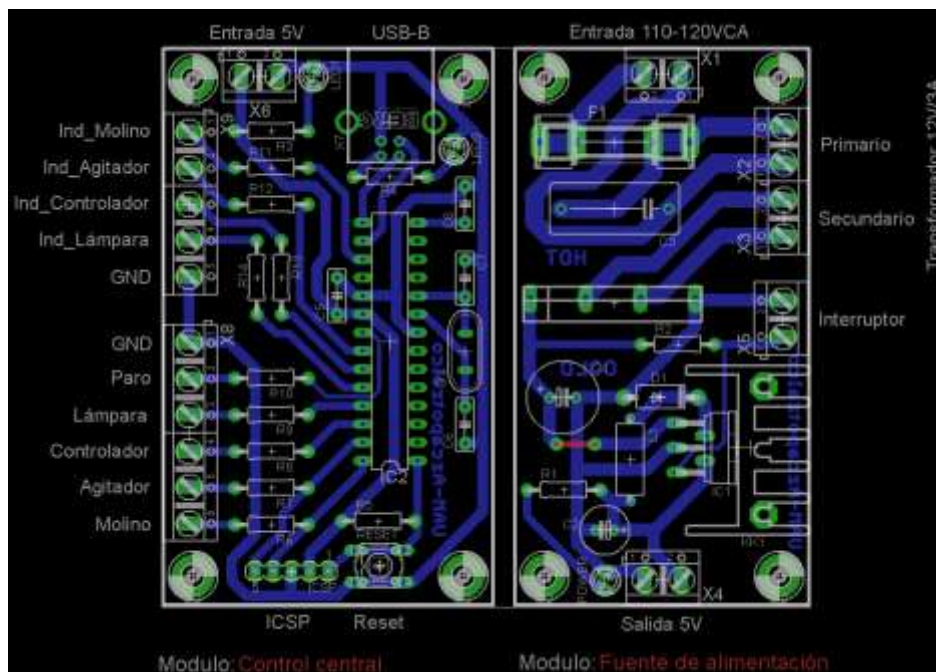


Figura 7. Diagrama de la placa PCB, capas TOP y BOTTOM del control central

## FUENTE DE ALIMENTACIÓN CON SALIDA DE 5[V]

### Los cálculos para justificar la salida del Regulador:

Se realizaron de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{out} = V_{Ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

De la cual, los datos siguientes se recopilaron de la Hoja Técnica:

$$V_{out} = 5v$$

$$V_{Ref} = 1.23v$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

Por lo cual, se realizó el despeje correspondiente:

$$R_2 = \frac{(R_1 * V_{out})}{V_{Ref}}$$

$$R_2 = \frac{(1k\Omega)(5v)}{1.23v}$$

$$R_2 = 4.06 k\Omega$$

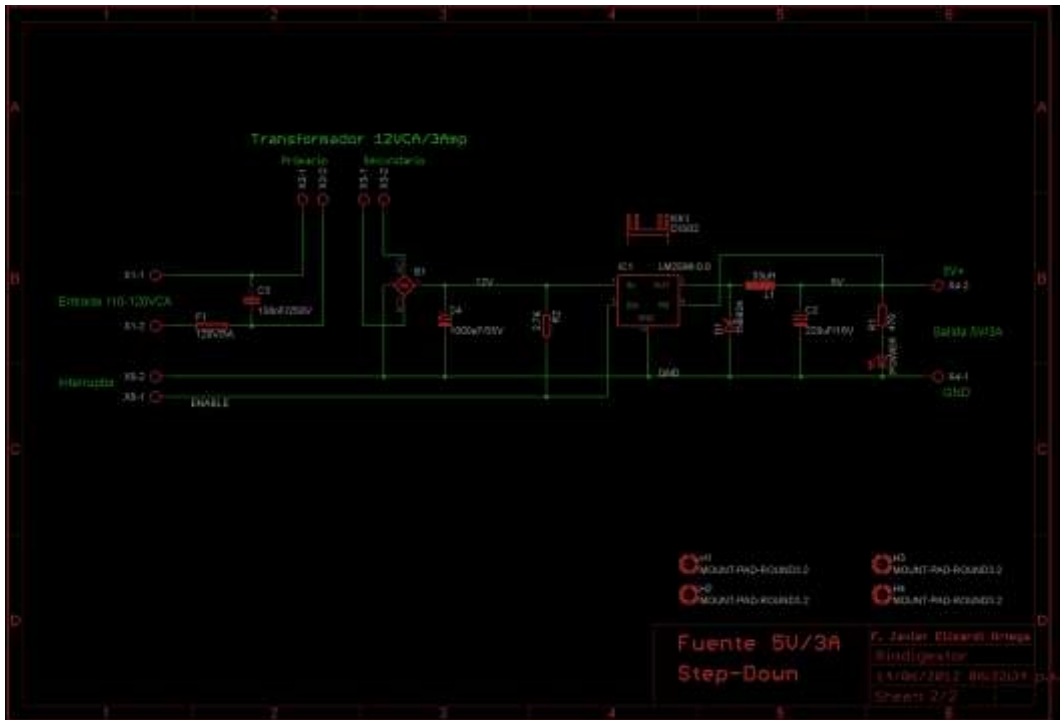


Figura 8. Diagrama esquemático de la fuente de alimentación

## 7. CONCLUSIONES

En la *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)*, se desarrollaron las subrutinas, por lo cual su operación a partir de esto es automática, se pueden monitorear las diversas variables y tener un control del proceso de tratamiento de las aguas residuales y con ello cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Así como, en el *Biodigestor* se desarrollo su automatización mediante un Microcontrolador, con el cual el monitoreo se efectúa desde una PC, con el fin de no requerir de un operador, el proceso se controla a una distancia de 2 metros por medio de un cable de tipo USB.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Manual de usuario Simatic S7-200 CPU224. Programación PLC´s. Año académico 05-06.
- [2]. Eduardo Mael Sánchez Coronado. Sistema de ayuda al operador humano para el manejo de un digestor anaerobio. Congreso Nacional de Ingeniería Electrónica del Golfo. CAR-MIE-004.
- [3]. Agüero, J; Nandwani, S; Delgado, C; Alfaro, C; Chaves, G; Laboratorio de Energía Solar, Departamento de Física, Escuela de Química Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional, Costa Rica. Diseño, construcción y estudio de un biodigestor anaerobio para generar biogás y abono orgánico en la Universidad Nacional.
- [4]. Revista "El Heraldo Ciudadano", categoría: Desarrollo Sustentable, 24 de julio de 2009. <http://www.elheraldociudadano.com.mx/2009/07/24/plantas-tratadoras-de-aguas-residuales-ptar/> Sitio desarrollado por Geomática Ambiental Aplicada, S. A. de C. V.
- [5]. Curso básico de microcontroladores PIC. CEKIT. Compañía editorial tecnológica.
- [6]. Moyano Jonathan. PIC18F2550 y USB Desarrollo de aplicaciones.
- [7]. Giovanni Lafebre. Cuenca – Ecuador. Manual "Conectando un PIC al PC utilizando USB (con PBP y VB)" Micros y más Micros.
- [8]. Mikkel Holm Olsen. Tutorial "PCB design tutorial with Eagle" Automation Technical University of Denmark. Marzo 19, 2004.

### ANEXO 1

#### RECARGA AUTOMÁTICA

##### NOTAS:

- ✓ Los cables de la bomba de llenado deben estar colocados en el **arrancador (contactor y relevador se sobrecarga) de bomba de llenado** (la distribución, de izquierda a derecha viendo de frente el PLC , es: **AZUL, NEGRO Y CAFE**).

- ✓ Si la bomba Seepex se va a utilizar para hacer recirculación se deben conectar sus cables en su **CONTROLADOR DE BOMBA SEEPEX (INVERSOR)** con la siguiente distribución: (de izquierda a derecha viendo de frente el PLC ) **ROJO, NEGRO Y BLANCO**.
- ✓ Checar que el tinaco de **agua cruda** esté siempre lleno y hacer una verificación de las válvulas.
- ✓ El llenado del tinaco de agua cruda se tiene que realizar antes de que la bomba de llenado se active.

#### PROCEDIMIENTO PRINCIPAL:

- ♣ Este procedimiento se lleva a cabo mediante la subrutina: **Recarga\_Auto**.
- ♣ A su vez la subrutina **Recarga\_Auto** no se ejecuta sino hasta que la subrutina **Reloj\_Auto** se cumple (esto ocurre cuando se activa la marca **InicioXReloj**)

#### RECARGA MANUAL

#### NOTAS:

- ✓ Los cables de la bomba de llenado deben estar colocados en el **CONTROLADOR DE LA BOMBA SEEPEX (INVERSOR)** (la distribución, de izquierda a derecha viendo de frente el PLC , es: **AZUL, NEGRO Y CAFE**).
- ✓ De esta forma el switch del interruptor que controla al inversor se sube cuando se quiere que se encienda la bomba de llenado y se baja cuando se quiera apagar la bomba.
- ✓ Se alimenta al reactor con agua cruda de dos maneras:
  - Desde el tinaco de la bomba de agua cruda, para lo cual se tiene que:
    - ◆ Verificar que los cables de la bomba de llenado se encuentren en el interruptor que controla la bomba Seepex.
  - Desde la planta de tratamiento, para lo cual hay que:
    - ◆ Verificar las válvulas: si se quiere que el agua que proviene de la planta de tratamiento se vaya al reactor o al tinaco de agua cruda.
    - ◆ Avisar a los encargados de la planta de tratamiento que se requiere de agua.

- ◆ Abrir válvula que conecta la planta de tratamiento con el reactor.

#### PROCEDIMIENTO PRINCIPAL

- ♣ Este procedimiento se lleva a cabo mediante la subrutina:  
**Recarga\_Manual**
- ♣ La diferencia con la recarga automática es que no hay tiempos de sedimentación
- ♣ Se necesita apretar **paro de emergencia** (SIN QUE SE DESACTIVE, DURANTE TODO EL TIEMPO QUE SE QUIERA LA SEDIMENTACIÓN)
- ♣ Una vez que pasó el tiempo de sedimentación: desenclavar el **paro de emergencia**, presionar el botón de **inicio** y el botón de **recarga**.





## ANEXO 2

### CONFIGURACIÓN DE LA BOMBA SEEPEx

#### NOTAS

- ✓ Cuando la palanca del interruptor que alimenta la bomba Seepex se encuentra abajo, significa que el interruptor está abierto (deshabilitado, o sea que no hay corriente).
- ✓ Cuando la palanca del interruptor que alimenta la bomba Seepex se encuentra arriba, el interruptor está cerrado (habilitado).
- ✓ Los rangos de frecuencia a la que deberá trabajar la bomba Seepex son de 20 a 60 Hz.
- ✓ El INVERSOR no puede arrancar si no se activa un bit de habilitación.
- ✓ El bit de habilitación se activa con el botón Bomba\_Seepex (Q0.7).
- ✓ Cuando el botón Bomba\_Seepex se presiona: el bit se activa y para desactivarlo se tiene que presionar dicho botón una vez más.

#### CAMBIAR LA VELOCIDAD

- Presionar ENTER
- Presionar las flechas:   hasta que el cursor se posicione en el valor que se quiera cambiar (unidades o decenas) de la velocidad actual.
- Presionar las flechas:   hasta que aparezca el valor requerido de la velocidad (mínimo de 20Hz y máximo de 60 Hz).
- Una vez que la velocidad a la que trabajará la bomba Seepex esté configurada, presionar FWD para encender la bomba.
- Para detener la bomba se presiona STOP.

## ANEXO 3

### RECIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL TINACO DE AGUA CRUDA

#### RECIRCULACIÓN AUTOMÁTICA

La recirculación automática es realizada por la subrutina de **Recarga\_Auto**. Los puntos a considerar son:

- El tinaco de agua cruda debe estar lleno antes que comience la recirculación, esto es antes de iniciar la sedimentación.
- Los cables de la bomba de llenado deben estar colocados en el **arrancador de la bomba de llenado** con la distribución, (viendo de frente el gabinete de potencia) **azul, negro y café**.
- La recirculación está considerada para realizarse durante el tiempo en que se realiza la sedimentación (2:30 horas).
- Se debe tener especial cuidado con la posición de las válvulas ya que se pretende que la bomba de llenado esté encendida sin que le pase agua al reactor.

#### RECIRCULACIÓN MANUAL

La recirculación manual se hace cuando la recarga del reactor también es manual y por lo tanto se utiliza la subrutina **Recarga\_Manual**. Los puntos a considerar para realizar una recirculación manual son:

- El tinaco de agua cruda debe estar lleno antes que comience la recirculación.
- Colocar los cables de la bomba de llenado en el interruptor **que controla al INVERSOR** con la distribución, (viendo de frente el gabinete de potencia) **azul, negro y café**.
- Se debe tener especial cuidado con la posición de las válvulas ya que se pretende que la bomba de llenado esté encendida sin que le pase agua al reactor.
- Debido a que en la recarga manual no existen tiempos de sedimentación programados, el tiempo de recirculación es decidido por el operador (este procedimiento se hará el tiempo que se considere necesario), además, la recirculación se tiene que hacer antes de presionar el botón de **inicio** y el botón de **recarga**.