



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE  
MUESTREO DE AGUA”**

**Tesis que para obtener el título de  
Ingeniero en Electrónica**

Presenta

**Javier Salas García**

Directores de tesis

**Dr. Cheikh Fall**

**M. en Ing. Ma. Guadalupe Morán Solano**

Toluca, México

Noviembre 2004

## Resumen

Para el estudio de algunos fenómenos en el campo de la Ingeniería sanitaria es necesario el empleo de técnicas experimentales. Una de estas técnicas es el muestreo, cuyo objetivo es coleccionar una parte de materia representativa de las características de la fuente para ser transportada y manipulada con facilidad a fin de estudiar determinados parámetros indicativos de la calidad del agua muestreada.

En el CIRA (Centro Interamericano de Recursos del Agua), dependencia académica de la Facultad de Ingeniería, con frecuencia se requieren coleccionar muestras de agua en el campo de manera automática y programable. Este trabajo de tesis obedece a esta necesidad mediante el diseño y construcción de un sistema automático de muestreo de agua, capaz de coleccionar muestras simples y compuestas con base en tres parámetros: volumen, número de muestras e intervalos de muestreo.

Se empleó un método de generación de ideas para concebir un diseño que satisface los requerimientos de muestreo del CIRA y que puede ser empleado para una gran variedad de programas de muestreo, incluso para otras instituciones.

Este diseño tiene como unidad central de procesamiento un PIC16F877 que determina el accionamiento de un brazo mecánico que llena un total de 24 frascos de 1 litro al coordinar el accionamiento de electroválvulas y una bomba peristáltica con velocidad ajustable.

El equipo diseñado es competitivo con los muestreadores comerciales en su relación prestaciones – costo y emplea materiales que se pueden obtener en el mercado nacional.

# ÍNDICE

---

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. INGENIERÍA SANITARIA: UNA PANORÁMICA.....	5
1.1 Tratamiento de aguas residuales.....	5
1.1.1 Antecedentes .....	5
1.1.2 Situación actual .....	6
1.2 Importancia de proyectos del CIRA en el tratamiento de aguas residuales.....	7
1.3 Muestreo .....	9
1.3.1 Generalidades .....	9
1.3.2 Tipos de muestras .....	12
1.3.3 Conservación de la muestra .....	15
1.3.4 Muestreadores comerciales: tipos y características .....	16
CAPÍTULO 2. PROPUESTA DEL PROTOTIPO .....	20
2.1 Análisis de propuestas .....	20
2.2 Metodología del proyecto .....	20
2.3 Descripción general .....	22
2.3.1 Interfaz con el usuario .....	23
2.3.2 Sistema de toma de muestras (llenado de botellas) .....	27
2.3.2.1 Elección de la bomba .....	32
2.3.3 Sistema de monitoreo y detección de errores .....	35
2.3.4 Algoritmo de procesamiento .....	36
2.3.5 Elección de la unidad central de procesamiento .....	39
CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE CONTROL DE TIEMPO DISCRETO .....	42
3.1 Introducción .....	42
3.2 Tipos de control de tiempo discreto .....	45
3.3 Acción de control Encendido – Apagado .....	48
3.4 Control del muestreador de aguas residuales .....	50

CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS .....	55
4.1 Interfaz con el usuario .....	55
4.1.1 Teclado .....	56
4.1.2 LCD .....	56
4.2 Sistema de posicionamiento .....	58
4.2.1 Elementos mecánicos .....	58
4.2.2 Elementos electrónicos .....	59
4.3 Sistema de toma de muestras .....	61
4.3.1 Control de velocidad del motor de la bomba .....	61
4.3.2 Selector de origen y destino de agua .....	65
4.4 Sistema de monitoreo y detección de errores .....	66
4.4.1 Sensores de presencia de agua .....	66
4.4.2 Monitoreo de tensión de alimentación .....	68
4.5 Unidad central de procesamiento .....	68
4.6 Programación del sistema .....	70
4.7 Fuente de alimentación .....	73
4.8 Soporte mecánico y panel frontal .....	75
4.9 Pruebas .....	81
Resultados y conclusiones .....	86
Bibliografía y referencias .....	88
APÉNDICES	
<i>Apéndice A. Bombas – Información general</i> .....	91
<i>Apéndice B. Características de PIC's</i> .....	94
<i>Apéndice C. Diagramas eléctricos</i> .....	96
<i>Apéndice D. Hoja de especificaciones de válvulas empleadas</i> .....	103
<i>Apéndice E. Programa del muestreador de aguas residuales</i> . .....	105
<i>Apéndice F. Códigos para manejo de LCD</i> .....	136
<i>Apéndice G. Fotografías del muestrador</i> .....	138
<i>Apéndice H. Manual de usuario</i> .....	141
<i>Apéndice I. Glosario</i> .....	150

## Introducción

*"Todo debe ser lo más simple posible,  
pero no más simple".  
Albert Einstein*

Para el estudio de algunos fenómenos en el campo de la Ingeniería sanitaria es necesario el empleo de técnicas experimentales. Una de estas técnicas es el muestreo, cuyo objetivo es coleccionar una parte de materia representativa de las características de la fuente para ser transportada y manipulada con facilidad a fin de estudiar determinados parámetros indicativos de la calidad del agua muestreada.

En el CIRA (Centro Interamericano de Recursos del Agua), dependencia académica de la Facultad de Ingeniería, con frecuencia se requieren coleccionar muestras de agua en el campo de manera automática y programable. Este trabajo de tesis obedece a esta necesidad mediante el diseño y construcción de un sistema automático de muestreo de agua, capaz de coleccionar muestras simples y compuestas con base en tres parámetros: volumen, número de muestras e intervalos de muestreo. En el diseño se considera el caudal de la bomba usada en particular para determinar el tiempo de activación.

**Objetivo.** Por ello, el objetivo general de este trabajo de tesis es diseñar y construir un prototipo de un sistema de control automático programable capaz de coleccionar muestras de agua simples y compuestas para proyectos de investigaciones o de monitoreos ambientales.

**Carácter.** Este proyecto de tesis se basa en las necesidades específicas del CIRA respecto a la colecta de muestras de agua, por lo que al satisfacer los objetivos se cubrirán los requerimientos en este campo. Sin embargo, el equipo por diseñar será de utilidad no solo para el CIRA, sino también de cualquier proyecto de investigación o de monitoreo donde se necesite muestrear aguas.

Una limitación está relacionada con el financiamiento. La bomba, el sistema de posicionamiento para los recipientes que contendrán las muestras y el soporte mecánico de todo el sistema se implementarán sólo si el proyecto es financiado. Independientemente de ello, se diseñará y construirá la etapa de control que incluye el hardware y software necesarios para programar la toma de muestras y la señalización para activar una bomba con una tensión de alimentación máxima de 12V y un sistema de posicionamiento con señales de 0 y 5V.

**Justificación.** En el mercado hay una gran variedad de muestreadores de agua con diferentes características. Es posible encontrar desde aquellos que usan control manual hasta los que son programables con accionamiento y monitoreo remoto. Sin embargo, para reunir los requisitos específicos que plantean las investigaciones del CIRA, se requiere de la adquisición de muestreadores con un elevado costo y que a menudo incluyen funciones adicionales a las que son requeridas. Otro factor a considerar es que la mayoría de los muestreadores que satisfacen razonablemente estas necesidades han de ser importados, lo que incrementa su costo independientemente de sus características.

El muestreador automático programable de este trabajo de tesis está planteado para satisfacer los requerimientos del CIRA con las funciones necesarias y suficientes con la posibilidad de resultar en un producto de uso general dentro y fuera del CIRA. Por lo anterior, es posible disminuir el costo total del muestreador de este proyecto al compararlo con el precio de uno comercial, aun considerando los costos adicionales inherentes a todo prototipo con respecto a su fabricación en serie.

**Hipótesis:** Es posible diseñar y construir localmente un muestreador automático competitivo con los equipos disponibles en el mercado nacional, que son generalmente de importación.

La realización de este proyecto obedece a la necesidad de diseñar y construir un equipo capaz de coleccionar muestras de agua. Esto plantea cuatro preguntas: ¿por qué es necesario dicho equipo?, ¿cuáles son los requerimientos a satisfacer?, ¿qué principios teóricos se precisan para ello? y ¿cómo los satisface? Básicamente, cada uno de los capítulos responde a una de estas preguntas.

Para resolver la primer cuestión, el capítulo uno justifica la necesidad de diseñar y construir un equipo para coleccionar muestras de agua. Para ello, define el muestreo y su importancia en las investigaciones del CIRA en materia de Ingeniería sanitaria. También menciona características de algunos muestreadores comerciales para que, junto con los antecedentes teóricos, se tenga un punto de partida para entender la trascendencia del proyecto.

El capítulo dos contesta a la cuestión de los requerimientos a satisfacer. Por lo que describe en bloques las partes del prototipo en función de sus requerimientos y propone diferentes opciones de solución para satisfacerlos. Se explica la metodología usada para seleccionar objetivamente la mejor propuesta con base en criterios definidos con claridad.

Desde un punto de vista conceptual, se requiere de cierta teoría que deba ser aplicada en la resolución de todo problema de ingeniería. Dicho marco teórico se define en el capítulo tres. Aborda algunos conceptos y tipos de control de tiempo discreto para comprender el tipo de control del muestreador de aguas residuales.

La pregunta acerca de cómo el proyecto satisface los requerimientos se contesta en el capítulo cuatro. Las primeras secciones describen en forma independiente la estructura de los bloques que constituyen el muestreador. En su penúltima sección se visualiza todo el muestreador como una unidad al describir el soporte mecánico. Al final del capítulo se describen las pruebas hechas al muestreador. Esto sirve como base para los resultados y conclusiones.

Como prestaciones adicionales, los códigos de programa y grabaciones que se incluyen en el CD que acompaña a esta tesis sin duda son útiles para entender aún con mayor facilidad la estructura, programación y funcionamiento de las partes del muestreador de aguas residuales.



## **Capítulo 1. Ingeniería Sanitaria: una panorámica**

Toda comunidad produce residuos tanto líquidos como sólidos. La parte líquida –aguas residuales- procede esencialmente del agua suministrada a la comunidad después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida. Bajo la terminología de “aguas residuales” se agrupan aguas de orígenes muy diversos. Se encuentran en esta categoría las aguas portadoras de residuos de origen urbano, industrial y agrícola <sup>(1,6)</sup>.

Metcalf define la Ingeniería Sanitaria como “la rama de la ingeniería ambiental que aplica los principios básicos de la ciencia y de la ingeniería a los problemas de control de las aguas contaminadas”. El objetivo final es la protección del medio ambiente mediante el empleo de medidas adecuadas a las posibilidades e inquietudes económicas, sociales y políticas <sup>(6)</sup>.

### **1.1. Tratamiento de aguas residuales**

Las aguas residuales recogidas en pueblos y ciudades deben ser conducidas a cuerpos de agua receptores o a la misma tierra. La compleja pregunta acerca de qué contaminantes de las aguas residuales deben ser eliminadas para proteger el entorno –y en qué cantidad-, precisa de una contestación específica en cada caso concreto. Para esto se requiere un análisis de las condiciones y necesidades locales, junto con la aplicación de conocimientos científicos, de la experiencia previa de ingeniería y de las normas reguladoras de la calidad del agua existentes <sup>(6)</sup>.

#### **1.1.1. Antecedentes**

Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos, la recogida de aguas residuales tiene su primer precedente en el siglo XIX. El tratamiento sistemático de las aguas residuales surgió a finales del siglo

antepasado y principios del pasado. El desarrollo de la teoría del germen en la segunda mitad del siglo XIX por Koch y Pasteur marcó el inicio de una nueva era en el saneamiento <sup>(1,6)</sup>. Antes de esta época, la relación entre contaminación y enfermedades había sido estudiada tan solo ligeramente, y la bacteriología, en aquel entonces en sus inicios, no había sido aplicada al tratamiento de las aguas residuales.

A principios del siglo pasado, los daños y las condiciones sanitarias trajeron consigo una creciente demanda de que el tratamiento de las aguas residuales tuviera más eficacia. La imposibilidad de disponer de zonas suficientes para la evacuación en la tierra de agua residual no tratada, especialmente en grandes ciudades, ha conducido a la adopción de métodos de tratamiento más intensos <sup>(6)</sup>.

### **1.1.2. Situación actual**

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas son conocidos como operaciones unitarias. Aquellos en que la eliminación de los contaminantes se consigue mediante reacciones químicas o biológicas se conocen como procesos unitarios. En la actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan para constituir lo que se conoce como tratamiento primario, secundario y terciario (o avanzado).

En el tratamiento primario se utilizan operaciones físicas tales como desbaste y sedimentaciones para eliminar los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual. En el tratamiento secundario los procesos biológicos y químicos son los que se encargan de eliminar la mayoría de materia orgánica, sobre todo en forma disuelta y coloidal. En el tratamiento terciario se utilizan combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias para eliminar otros componentes tales como el nitrógeno y el fósforo, que no son eliminados por el tratamiento secundario.

Existe un conjunto de nuevas tendencias en diversas áreas específicas del tratamiento de las aguas residuales entre las cuales se incluyen: 1) nuevas operaciones, procesos y conceptos de tratamiento; 2) la naturaleza cambiante del agua residual a tratar; 3) el problema de los residuos industriales; 4) estudios de viabilidad de las aguas residuales; 5) la problemática ambiental y energética; 6) tratamiento por evacuación al terreno, y 7) sistemas de tratamiento de tratamiento de pequeño tamaño e individuales<sup>(6)</sup>.

La creación de organizaciones locales para investigación, operación y mantenimiento de sistemas para el tratamiento de aguas residuales es otro desarrollo reciente.

## **1.2. Importancia de proyectos del CIRA en el tratamiento de aguas residuales**

El Centro interamericano de Recursos del Agua (CIRA) es una dependencia académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Entre los servicios que proporciona al estado de México están la formación de profesionistas de alto nivel en ciencias del agua, investigación en la cuenca alta del río Lerma, peritaje y monitoreo para la aplicación de la ley en protección al ambiente, cursos de capacitación para técnicos en sistemas de tratamiento de aguas residuales, análisis de contaminación de aguas residuales, asesoría para la resolución de problemas relacionados con los recursos hídricos en la entidad, etcétera.

Por la naturaleza de los estudios que realiza esta institución, a menudo se requieren tomar muestras de agua para su análisis posterior. Algunos proyectos en particular que lo requieren son:

1) “Fuentes de aportaciones y distribución de los contaminantes orgánicos tóxicos en las aguas y sedimentos del curso alto del río Lerma”. Su objetivo es

establecer un balance de los compuestos orgánicos tóxicos en el curso alto del río Lerma evaluando la presencia y distribución de pesticidas organoclorados, clorobencenos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y clorofenoles en las aguas y sedimentos, así como identificar las principales fuentes de aportaciones de componentes tóxicos.

Para este proyecto se requieren coleccionar muestras del agua del río Lerma, tributarios así como descargas industriales y municipales hacia el río.

2) “Optimización y evaluación de un separador de aceite piloto diseñado para el tratamiento de las aguas residuales de talleres y servicios para autos”. El objetivo es optimizar en el laboratorio y evaluar en el campo un separador convencional de aceite a escala piloto diseñado para los efluentes de talleres y servicios para autos.

En este proyecto se requiere el muestreo de efluente de talleres de lavado y engrasado.

3) “Evaluación Optimización del sedimentador primario de la planta tratadora de aguas residuales de la Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Toluca”. En este proyecto se requiere muestrear el agua de dicho sedimentador.

Los proyectos supracitados son sólo algunos ejemplos de una lista muy larga. Hay otros proyectos y aplicaciones posibles en el CIRA tales como el muestreo de una planta de tratamiento que tienen y también el muestreo de agua en la industria.

Este trabajo de tesis obedece a la necesidad de contar con un equipo para coleccionar muestras mediante el diseño y construcción de un sistema automático de muestreo de agua, capaz de coleccionar muestras simples y compuestas. Aunque está diseñado en principio para ser utilizado por el CIRA, el equipo podrá ser

utilizado en alguna industria para fines de investigación, así como monitoreo de aguas residuales y agua potable.

### **1.3. Muestreo**

Para evitar ambigüedades y entender las funciones de operación básicas del muestreador automático programable de esta tesis, se requiere el conocimiento de algunos términos asociados al muestreo <sup>(12)</sup>.

#### **1.3.1. Generalidades**

Un programa de muestreo puede ser establecido para:

- El seguimiento de un proceso de tratamiento y la evaluación de su eficiencia.
- El seguimiento de descargas respecto a las normas.
- Colectar datos de base para el diseño o la operación de una planta de tratamiento.

El objetivo de cada muestreo es coleccionar una parte de materia pequeña para ser transportada y manipulada con facilidad, siendo representativa del lote muestreado. El transporte y las manipulaciones no deben alterar la constitución de la muestra hasta su análisis final. El muestreo puede ser definido como un proceso de reducción de volumen en el cual se busca seleccionar una pequeña cantidad de materia que tiene las mismas características que la fuente.

El asunto de la representatividad en el muestreo no es trivial. De hecho, el error total que se hace durante la medición de un parámetro es la suma de diferentes errores que se acumulan entre la toma de la muestra y su análisis. Además, con frecuencia los datos que se deriven de los análisis de las muestras son la base para otros proyectos, tales como instalaciones de tratamiento, por lo que deben ser fiables.

Si bien es cierto que no hay procedimientos universales de muestreo, las campañas de muestreo deben diseñarse específicamente para cada situación. Toda campaña de caracterización debe ser realizada según un plan de muestreo bien especificado, describiendo en detalle, dónde, cuándo y cómo se toman, manipulan, conservan, transportan y analizan las muestras. Este plan tiene que especificar:

- Tipo de toma-muestra
- Tipo de muestreo y los métodos de combinación
- Número de muestras
- Volúmenes
- Frecuencia
- Localización del punto de muestreo
- Precauciones a tomar en cuenta
- Preparación de los recipientes
- Identificación de las muestras
- Conservación de las muestras
- Parámetros a analizar y métodos

Estas especificaciones se determinan en función de los objetivos buscados, tomando en cuenta los límites de tiempo y recursos económicos, así como las limitaciones prácticas. Los detalles del plan pueden ser explicados en el mismo documento o referir a diferentes protocolos específicos.

Un buen plan de muestreo se acompaña de un plan de aseguramiento de calidad cuyo objetivo es reducir los errores en límites aceptables y ofrecer ciertas herramientas para asegurar y demostrar que los datos que se generan son de calidad y fiabilidad aceptables.

A continuación se mencionan algunas reglas de práctica en el muestreo:

- Para ciertos compuestos, no se debe muestrear en zonas de alta turbulencia para evitar las pérdidas por volatilización y la respiración de vapores tóxicos. En general, tomar la muestra en profundidad y evitar las zonas muertas.
- Evitar tomar las muestras en zonas donde la velocidad del agua es tan baja, que los sólidos se sedimentan, o en zonas donde hay una estratificación (efecto de temperatura o flotación de líquidos ligeros).
- Excepto en casos particulares, generalmente evitar tomar los sólidos gruesos y la espuma superficial en las muestras.
- Antes de tomar la muestra, limpiar el recipiente y el toma-muestra tres veces con el agua para analizar, excepto cuando las botellas son nuevas y certificadas como listas para uso directo, o si las botellas contienen preservativos.
- Según los análisis a hacer, dejar un espacio vacío en el recipiente (para fin de mezcla o aireación), o llenar hasta el borde (evitar pérdidas por volatilización).
- Para muestras conteniendo compuestos metálicos u orgánicos en pequeñas cantidades, se requiere una atención particular en las manipulaciones (mezcla, filtración) que pueden causar unas pérdidas de materia o contaminación.
- La presencia de turbiedad, de materia en suspensión, así como los métodos utilizados para remover los mismos, son factores importantes que pueden influir sobre los resultados. En general, a menos que se requieran el análisis de los compuestos totales, separar toda cantidad importante de sólidos en suspensión por decantación, centrifugación o filtración.
- Utilizar un cuaderno de campo para registrar todos los datos sobre las condiciones de toma (condiciones atmosféricas, dificultades y desviaciones de las especificaciones del plan de muestreo, turbulencia, velocidad del flujo, presencia de depósitos, condiciones particulares, alteraciones en el volumen).

- Utilizar un formulario de transmisión para seguir el movimiento de las muestras entre la toma y la salida de los resultados de análisis. Etiquetar correctamente las muestras desde su toma, llenar el formulario de pedido de los análisis al laboratorio.
- Importante: siempre informar a los laboratorios de análisis con anticipación (coordinación) para que tomen las medidas que se requieren al fin de cumplir los análisis a tiempo y según los métodos adaptados<sup>(12)</sup>.

### 1.3.2. Tipos de muestras

Existen esencialmente dos tipos de muestras: muestra simple y muestra compuesta. Según el método de formación de la muestra se distinguen además las muestras compuestas de tipo integrado y las muestras compuestas de tipo continuo. Cuando se colecta una muestra simple debe ser de un volumen primario mínimo de 120 mL (mililitros) -1 a 2 L (Litros) si es posible- mientras que la muestra compuesta puede ser entre 2 y 4 L comúnmente, o más, según las necesidades y representatividad.

**Muestra simple** (puntual o instantánea): Representa la composición de la fuente al momento y lugar de la toma. Preferible para:

- Procesos en *batch*.
- Flujo intermitente.
- Efluentes de calidad relativamente consistente (fuente de agua potable, efluente tratada posiblemente, aguas subterráneas).
- Medición de compuestos o parámetros muy inestables (gases disueltos, compuestos volátiles, cloro residual, sulfuros solubles, pH, Temperatura).
- Medición de aceites y grasas.



- Toda campaña de caracterización donde se requiere conocer las variaciones de composición en el tiempo o con la distancia, así como en los extremos.

En este tipo de muestras, la frecuencia de muestreo es entre 5 minutos y una hora o más, de acuerdo con el ritmo de variación de la calidad. La toma de muestras simples constituye igualmente la base para la formación de muestras compuestas, salvo que los análisis no se hagan sobre las muestras individuales, porque la composición promedio buscada se obtiene con el análisis de la muestra compuesta. En el caso particular de ciertos análisis (aceites y grasas), puede ser que el conocimiento de la composición promedio sea de interés sin que se admita la formación de muestras compuestas. Para una situación como esa, la composición promedio se obtiene por cálculo, haciendo la media de los resultados individuales del análisis de muestras simples.

Según la disponibilidad de los datos de caudales y según el objetivo del muestreo, la composición promedio se obtiene de los resultados de análisis de muestras simples por el cálculo de la media aritmética, la media ponderada con los caudales (normas, balance de masas) o de los gráficos de probabilidades.

**Muestra compuesta:** Representa la composición promedio de la fuente para el intervalo de tiempo cubierto por la muestra -2 h (horas), 8 h de cuarto de trabajo o un día entero-. Se forma a partir de la colecta y mezcla de muchas muestras simples. Tiene la ventaja de reducir mucho el número de análisis, ya que sólo la muestra compuesta se analiza en lugar de las muestras simples. Preferible para:

- Evaluar los procesos operando en forma continua y en régimen casi-estacionario.
- Efluentes de calidad o de caudal variable.
- Reducir el número de análisis y cubrir tiempos prolongados de descargas o de tratamiento con un proceso, cuando el interés del muestreo es solamente para conocer la concentración promedio.

Una limitación de este tipo de muestra es que el tiempo que puede cubrir una muestra compuesta es limitado por el tiempo de conservación de la primera fracción colectada. La muestra compuesta no es aplicable cuando se requieren conocer las variaciones y extremos de concentración dentro del intervalo de tiempo cubierto.

La toma de las fracciones de muestra simples y la formación (mezcla) de la muestra compuesta pueden hacerse de diferentes maneras (proporcional al caudal, proporcional al tiempo, etc.).

**Muestra integrada.** En cierto modo, la muestra integrada es una muestra compuesta por la cual la variación de calidad que se tiene en cuenta no es de orden temporal, pero sí de orden geométrico (superficie, longitud, profundidad).

Representa la composición promedio de la fuente para un mismo tiempo sobre una gran superficie o distancia. Requiere la toma dentro de un intervalo de tiempo lo más corto posible y la mezcla de diferentes muestras simples provenientes de diferentes lugares (profundidad, longitud, anchura) para formar una muestra compuesta que se designa por muestra integrada.

Preferible para el muestreo de ríos, aguas superficiales estancadas, balsas profundas con una mezcla pobre.

**Muestra continua y análisis en línea.** El intervalo de tiempo entre la toma de las diferentes muestras simples para formar una muestra compuesta es típicamente inferior a 5 min. (minutos). El intervalo de tiempo entre las repeticiones de medición en línea es tan corto que las operaciones se consideran casi continuas.

Dentro de este tipo de muestreo exclusivamente automático, se distingue:

- La toma continua por un muestreador automático de un volumen fijo por intervalo de tiempo pequeño (inferior a 5 min.), y fija.
- La toma por desviación continua de una parte mínima del flujo del efluente durante todo el tiempo de descarga.
- La medición en línea por técnicas de fotometría o conductivimetría de parámetros físicos o químicos, con o sin toma de muestras. La utilización de estas técnicas es frecuente para la medición de la temperatura, del pH, de sólidos en suspensión (licor mixto de procesos biológicos), de la conductividad y del oxígeno disuelto. Se emplean también pero más raramente para la medición continua de los fenoles, de la DQO y de la DBO (respirometría)<sup>(12)</sup>.

### 1.3.3. Conservación de la muestra

Una campaña de muestreo llevada a cabo cuidadosamente carecerá de valor si no se mantiene la integridad física, química y biológica de las muestras durante el período transcurrido entre la toma de las muestras y los análisis de las mismas. La realización lo más rápidamente posible de los análisis constituye, indudablemente, la mejor garantía contra el error provocado por el deterioro de la muestra. Cuando las condiciones analíticas y de muestreo obligan a que pase un intervalo de tiempo entre ambos –como ocurre en el caso en que se toma una muestra compuesta de 24 horas- deben tomarse precauciones para la preservación de las muestras<sup>⊗</sup>.

Sólo para propósitos de comparación, a continuación se muestran algunos ejemplos, todos con una temperatura de conservación de 4 ° C (grados Celsius): si se requiere medir acidez-alcalinidad, olor, color, sabor, turbidez, –entre otros- se ha de efectuar la medición antes de 24 horas sin adicionar ningún compuesto químico en particular. Para otros parámetros como concentración de nitrógeno o

---

<sup>⊗</sup> En la bibliografía (1 y 12) se pueden encontrar métodos de preservación de muestras para su análisis posterior.

de carbono orgánico se deben agregar 14 mg/L (miligramos por litro) de ácido sulfúrico y efectuar la medida antes de 24 y 48 h respectivamente. Otras variables como concentración de metales tales como hierro, cobre, cromo, zinc, aluminio, plomo y plata pueden ser analizadas hasta dos meses después de la colecta del agua si se adicionan 2 mL/L (mililitros por litro) de ácido nítrico.

Como se puede observar, el método de conservación de las muestras está en función de la variable en particular que se requiera analizar<sup>(12)</sup>.

#### **1.3.4. Muestreadores comerciales: tipos y características**

La complejidad de los equipos de muestreo que se requieren varía según el tipo de muestreo (manual, automático), la localización del punto de muestreo, la fuente a muestrear y las características del agua en cuestión.

Con mayor frecuencia, el muestreo manual no requiere ningún equipo especializado, nada más que los recipientes contenedores de las muestras mismas (bocas estrechas o anchas).

En casos específicos, como para el muestreo de fuentes de profundidad o para aguas que contienen sustancias muy peligrosas, se dispone de muestreadores más adaptados. Dentro de esta clase se colocan:

- Muestreadores de tubos con válvulas (Bailers® para muestreo de pozos)
- Bombas manuales
- Botellas muestreadoras

Para el muestreo automático, existen diferentes equipos, desde los toma-muestras de funcionamiento puramente mecánico (bombeo en continua) hasta los programables con refrigeración, funciones de monitoreo y accionamiento remoto.

En la Figura 1.1 se muestran siete modelos de muestreadores de agua de diferentes tipos. <sup>⊗</sup>

En el mercado, son comunes los muestreadores que colectan muestras compuestas, pues la mayoría sólo contiene un recipiente para acumular el agua



Figura 1.1. Algunos muestreadores comerciales

colectada. De todos los muestreadores investigados, sólo se encontró una empresa que fabrica muestreadores que contienen varios recipientes para colectar muestras simples <sup>(15)</sup>. En la Figura 1.1 se muestran tres de estos muestreadores de la familia *sigma 900* de Sigma-Hach (desde (b) hasta (d)). Todos los demás mostrados sólo pueden colectar muestras compuestas.

En la Figura 1.2 se puede ver un muestreador automático del distribuidor Cole-Parmer<sup>®</sup> que funciona con una bomba de tipo Masterflex<sup>®</sup>. En la tabla 1.1 se comparan las características de dos de los muestreadores comerciales mostrados en la Figura 1.1. y el de la Figura 1.2. Un muestreador con prestaciones aún inferiores a las que requiere el

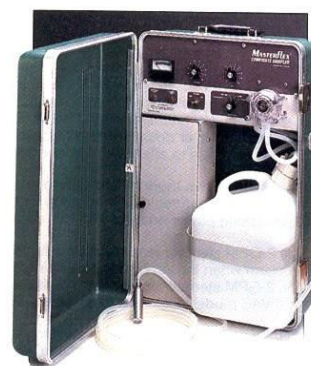


Figura 1.2. Muestreador P-07578-10 de Cole-Parmer<sup>®</sup>

<sup>⊗</sup> Para ver sus características y las de muestreadores similares, véase las referencias (15, 16, 17 y 19).

CIRA cuesta casi 1900 dólares. Estos tres ejemplos son para tener una idea aproximada de la relación prestaciones-costos. Los costos de la tabla 1.1 son sólo del equipo y aún hay que sumar los gastos de envío (y, en algunos casos, también de importación).

Por todo lo anterior, se puede ver que la creciente necesidad de estudios planificados en materia de Ingeniería Sanitaria demanda el uso de métodos y técnicas más efectivos para el análisis y tratamiento de aguas residuales. Como parte de ello, el muestreo eficaz es una técnica fundamental para el análisis

Tabla 1.1. Tabla comparativa de tres modelos de muestreadores comerciales

Modelo	Figura	Características	Costo
900SP24 de Sigma- Hach	1.1 (d)	Sus dimensiones son 50.1cm de diámetro de la base por 69.4 cm de altura, capacidad de 1 a 24 botellas de diferentes tamaños, intervalos de tiempo y flujo entre muestras programables, reloj interno, bomba peristáltica, altura de succión máxima de 8.2 m, refrigeración, purga con aire, pantalla de cristal líquido, memorias para cinco distintos programas de muestreo, entre otras. También se le pueden conectar algunos accesorios para accionamiento y monitoreo remoto.	2,869 dólares (E.U.A.)
P-07578-10 de Cole- Parmer®	1.2	Se pueden programar intervalos de muestreo fijos entre 15 y 30 minutos y un máximo de 11.25 litros; pero sólo puede coleccionar muestras compuestas.	1,860 dólares (E.U.A.)
Muestreador de Global Water Instruments Inc.	1.1 (g)	Comienza a bombear cuando se acciona el interruptor de la parte inferior izquierda. Puede coleccionar hasta un máximo de 4.5 litros de muestra compuesta en intervalos programables..	1,200 dólares (E.U.A.)

acertado de las mismas.

Si bien es cierto que tanto el plan de muestreo como su correcta ejecución es responsabilidad del investigador, el uso de muestreadores automáticos se está

popularizando. La elección de un muestreador apropiado a las necesidades del plan de muestreo en particular está directamente relacionado con la variedad de funciones del muestreador. Dado que existen esencialmente dos tipos de muestras –simples y compuestas-, un instrumento que tenga la capacidad de coleccionar ambos tipos puede ser empleado en una variedad mayor de programas de monitoreo de calidad de agua.

Considerando estas premisas, se plantea en este trabajo de tesis el diseño y construcción de un sistema automático programable capaz de coleccionar muestras de agua simples y compuestas para su uso en programas de monitoreo de aguas.

En el siguiente capítulo se analizan los requerimientos específicos de dicho sistema y se hace la propuesta de diseño para satisfacerlos.

## Capítulo 2: Propuesta del prototipo

### 2.1. Análisis de propuestas

La primer parte de este capítulo explica la metodología usada en el proyecto y define cada bloque del muestreador así como los objetivos que deben satisfacerse. Posteriormente se enuncian y evalúan diversas opciones para escoger la que mejor satisface los criterios en función de los objetivos de cada bloque.

En la segunda parte se describe con cierto detalle –pero aún en bloques- la propuesta definitiva del prototipo.

### 2.2. Metodología del proyecto

La mayoría de los ingenieros que trabajan en proyectos de ingeniería emplean un mismo método, que rige todas las partes del proyecto desde el

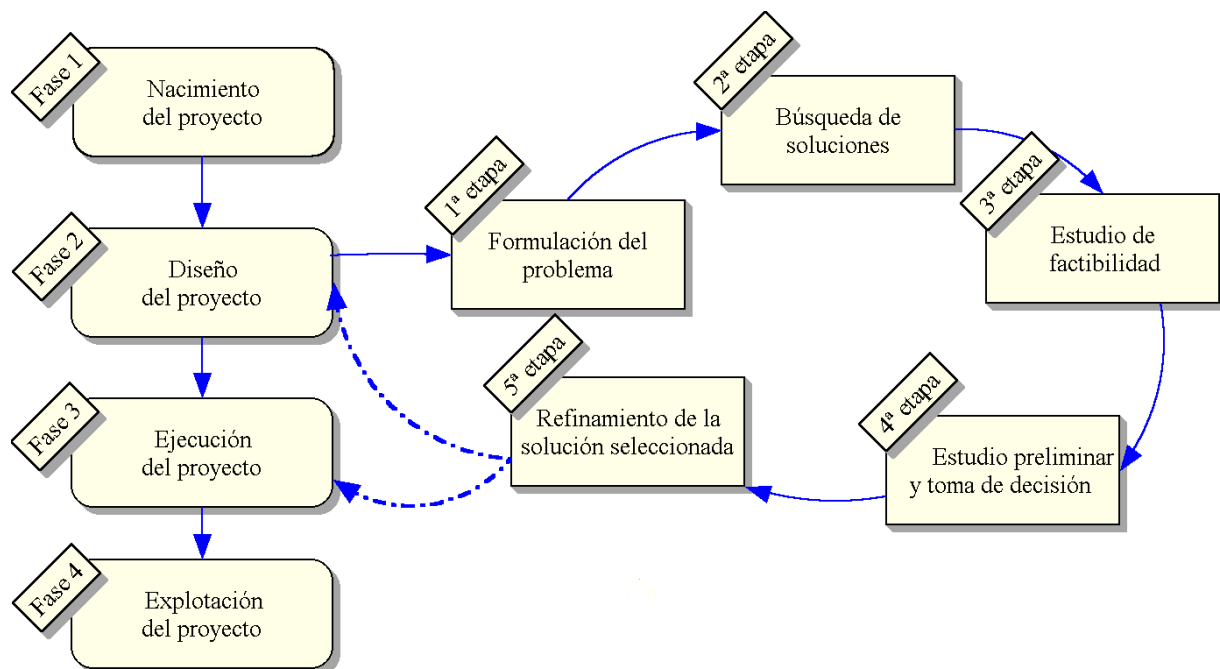


Figura 2.1. Método para la concepción y realización de proyectos de ingeniería



nacimiento hasta el último toque. Este método impone una ruta sistemática a través de cierto número de fases y etapas. Su carácter secuencial es fundamental. Como se muestra en la Figura 2.1 se consideran cuatro fases, de las cuales una se compone de cinco etapas <sup>(13)</sup>. En este capítulo se aplicarán las dos primeras fases –solo hasta la cuarta etapa- descritas al sistema automático de muestreo de agua, por lo que a continuación se explican brevemente.

En la **fase uno**, nacimiento del proyecto, se debe conocer la necesidad (o necesidades) a satisfacer. En la fase inicial del proyecto la necesidad es vagamente conocida. Por lo que se ha de identificar y expresar de manera clara, simple y precisa la forma en la que esta necesidad es un problema desde un punto de vista de ingeniería.

La **segunda fase** de la concepción y realización de los proyectos de ingeniería tiene que ver con el diseño del proyecto. Esta se compone de cinco etapas. Cada una de estas se divide, a su vez, en varias operaciones.

- **Formulación del problema.** Se analizan en detalle cuáles son las necesidades específicas a satisfacer. En esta fase se formulan los objetivos, se recogen los datos de base y se establecen las restricciones susceptibles y las condicionantes de la concepción, fabricación, uso y el cuidado del producto o sistema a realizar. De ahí se genera la lista de los criterios de evaluación para confrontar las diversas soluciones entre las cuales hay que elegir una para resolver el problema. Se establece de igual manera un enfoque sistemático en combinación con una ponderación y una escala de los criterios precedentes. Se utiliza esta ponderación y la escala a fin de que la consecución de la decisión final aporte un juicio muy objetivo y claro de los objetivos finales del proyecto.
- **Búsqueda de soluciones.** Se realiza con la ayuda de diversas técnicas que deben hacer un llamado al razonamiento y a la imaginación. Dentro de un primer período de tiempo, se ha de hacer caso a todas las ideas susceptibles de ayudar a resolver el problema. Posteriormente se procede a

una clasificación de todas esas ideas y se apartan aquellas que son más viables.

- **Estudio de factibilidad.** Se hace un breve estudio de cada una de las soluciones consideradas en la etapa precedente a fin de evaluar si una o más de ellas son factibles. Dentro de este estudio se evalúa a qué grado las soluciones retenidas son físicamente realizables. Esto incluye considerar costo, tiempo y medio ambiente ligado a la realización eventual de las diferentes soluciones.
- **Estudio preliminar y toma de decisión.** Se escoge la solución que se propone al cliente. Para ello se requieren los criterios, ponderación y escala elaborada. La información y estudio preliminar de cada solución realizable es seguida de una matriz de decisiones.
- **Refinamiento de la solución.** Se analizan en detalle cada uno de los componentes de la solución aceptada por el cliente. Se efectúan todos los cálculos necesarios. Esta solución óptima arregla, por ejemplo, las dimensiones geométricas del trabajo y maximiza los efectos deseados o minimiza los efectos no deseados de la opción elegida. Frecuentemente es necesario reconsiderar las soluciones inicialmente formuladas y retomar etapas anteriores hasta lograr un diseño satisfactorio.

Cuando todas las etapas de la fase dos son cumplidas se pasa a la fase de ejecución del proyecto.

### **2.3. Descripción general**

El sistema automático de muestreo de agua, de aquí en adelante denominado solo **muestreador**, es un sistema de control automático programable capaz de coleccionar muestras de agua simples y compuestas para proyectos de investigaciones o de monitoreos ambientales.

Está integrado por los siguientes bloques: Interfaz con el usuario, sistema de toma de muestras, monitoreo y detección de errores; algoritmo y unidad central de procesamiento. En la Figura 2.2 se muestra su diagrama en bloques.

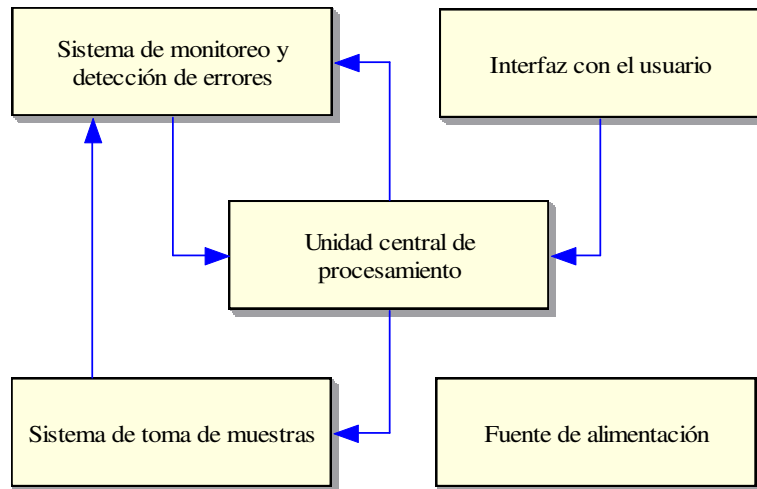


Figura 2.2 Diagrama en bloques del muestreador

### 2.3.1 Interfaz con el usuario

Es un conjunto de elementos necesarios para introducir datos al muestreador así como aquellos que indican su estado en cualquier tiempo. Su objetivo es

introducir a la unidad central de procesamiento los siguientes parámetros de operación:

- Número de muestras a coleccionar
- Tiempo entre una muestra y la siguiente
- Volumen de cada muestra
- Indicar el estado del muestreador en los siguientes casos:
  - Número de muestras coleccionadas
  - Error en el proceso, como alguna falla en válvulas, sensores, motores, etc.)
  - Función realizada en un tiempo dado, tal como llenado, purga, etc.

### Criterios de evaluación

En la tabla 2.1 se muestran los criterios de evaluación de la interfaz con el usuario y su ponderación.

Tabla 2.1 Criterios de evaluación de la interfaz con el usuario

Criterio	Ponderación	
	Particular	General
1. Facilidad de uso	-	70 %
1.1 Conocimientos previos	50 %	-
1.2 Número de botones	20 %	-
2. No. de Bits para su manejo	-	15 %
3. Costo	-	10 %
4. Estética	-	5 %
<b>TOTAL</b>		100%

En la tabla 2.2 se muestra la escala de cada valor ponderado.

Tabla 2.2 Escala de criterios de evaluación

CRITERIO	PONDE- RACIÓN	ESCALA		
		Indicador cualitativo	Grado de satisfacción	resultado
1. Facilidad de uso	50 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si su manejo es intuitivo y no requiere memorizar claves para introducir datos</li> </ul>	Excelente	100 %
1.1 Conocimientos previos		<ul style="list-style-type: none"> <li>Si sólo requiere una breve explicación de las funciones.</li> </ul>	Muy bueno	90 %
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Si siempre es necesario referirse a un manual o memorizar claves para introducir los datos</li> </ul>	Deficiente	40 %
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Si requiere conocimientos de electrónica e instrucciones para interpretar los mensajes o para introducir datos</li> </ul>	Malo	0 %
1.2 Número de botones		<ul style="list-style-type: none"> <li>Si el número de botones es menor que 13</li> </ul>	Excelente	100 %

	20 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el número de botones es entre 13 y 18</li> <li>• Si el número de botones es entre 19 y 24</li> <li>• Si el número de botones es mayor que 24</li> </ul>	Bueno Deficiente Malo	80 % 40 % 0 %
2. No. de Bits para su manejo	15 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el número de bits es menor que 15</li> <li>• Si el número de bits es entre 15 y 20</li> <li>• Si el número de bits es entre 20 y 25</li> </ul>	Excelente Regular Malo	100 % 60 % 0 %
3. Costo	10 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el costo es menor de \$ 200</li> <li>• Si el costo es entre \$200 y \$400</li> <li>• Si el costo es entre \$ 400 y \$600</li> <li>• Si el costo es entre \$ 600 y \$800</li> <li>• Si el costo es mayor de \$ 800</li> </ul>	Excelente Bueno Regular Deficiente Malo	100 % 80 % 60 % 40 % 0 %
4. Estética	5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si es excelente</li> <li>• Si es buena</li> <li>• Si es regular</li> <li>• Si es deficiente</li> <li>• Si es mala</li> <li>• Si es inaceptable</li> </ul>		100 % 80 % 70 % 50 % 20 % 0 %
<b>TOTAL</b>	100 %			

### Propuestas

A) La primera propuesta consiste en un teclado numérico y seis teclas de función. Para introducir la cantidad de muestras a coleccionar se accionará el interruptor de esta función y con el teclado se introducirá el número que indica cuántas muestras han de ser coleccionadas. Análogamente para las demás funciones de entrada se acciona el interruptor de la función y se introduce la magnitud de ésta mediante el teclado. Los dígitos introducidos se despliegan en tres *displays*

convencionales de siete segmentos, dado que para abarcar las magnitudes de los parámetros de operación (volumen, número de muestras e intervalo entre muestras) son suficientes tres cifras significativas si el volumen se expresa en decilitros y el tiempo en minutos. En caso de error, se despliega un número asociado al error detectado. Para ello se requiere que el sistema indique si está reportando un error o el número de muestra en curso. Esto puede ser a través del estado de dos *LEDs* (siglas en inglés de Diodo emisor de Luz [Light emitter Diode]). Así que –aparte del teclado numérico- en total, para seleccionar e identificar qué parámetro se desea ingresar, se requieren cinco teclas de función con *LEDs* indicadores (tres para ingreso de parámetros, uno para errores y el último para indicar número de muestras colectadas).

B) Otra opción es que la introducción de los datos sea secuencial, es decir, que el muestreador indique –por sí mismo- el parámetro que ha de ser introducido, sin la necesidad de usar teclas de función. Para ello emplea una pantalla de cristal líquido (*LCD* por sus siglas en inglés[Liquid Crystal Display]) como elemento de visualización. En el *LCD* se muestra el número tecleado al introducir los parámetros de operación. La misma pantalla indica en un breve mensaje de texto en qué función se está introduciendo la magnitud. En caso de error, se despliega un mensaje de texto con el error detectado. Dado que en la misma pantalla aparece a qué se refiere la magnitud leída, no se requiere algún elemento de señalización adicional.

En la tabla 2.3 se muestra la calificación de ambas propuestas con base en los criterios definidos anteriormente.

Tabla 2.3 Calificación de propuestas para interfaz con el usuario

CRITERIO	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN	
		Propuesta A	Propuesta B
1. Facilidad de uso		40 %	90 %

1.1 Conocimientos previos	50 %		
1.2 Número de botones	20 %	80 %	100 %
2. No. de Bits para su manejo	15 %	100 %	100 %
3. Costo	10 %	100 %	80 %
4. Estética	5 %	70 %	100 %
<b>TOTAL</b>	100 %	<b>64.5 %</b>	<b>93 %</b>

Con base en la matriz de decisión anterior, la mejor opción es la B con un 93% de satisfacción de los criterios de evaluación.

### 2.3.2. Sistema de toma de muestras (llenado de botellas)

Sistema que realiza las tareas necesarias para verter el agua en el frasco correcto al recibir una orden de la unidad central de procesamiento. Se requiere que realice las siguientes funciones:

- Dirigir físicamente el agua colectada hasta el frasco que debe contenerla (o al exterior del muestreador para purgar los ductos) en función de una ruta determinada por la unidad central de procesamiento
- Optimizar el uso de energía dado que es parte de un equipo portátil
- Minimizar los factores que pueden alterar la muestra durante el proceso de llenado tales como excesiva turbulencia<sup>⊗</sup> y adición de impurezas por residuos de colectas anteriores

#### **Criterios de evaluación**

En la tabla 2.4 se muestran los criterios de evaluación de la interfaz con el usuario y su ponderación.

<sup>⊗</sup> La excesiva turbulencia al coleccionar la muestra puede liberar al medio ambiente gases disueltos en el agua colectada, alterando así la concentración de dichos gases en los análisis posteriores

Tabla 2.4 Criterios de evaluación de sistema de llenado

Criterio	Ponderación	
	Particular	General
1. Simplicidad	-	45 %
1.1 Número de módulos que lo componen	25 %	
1.2 Piezas que han de mandarse a hacer	20 %	
2. Consumo de energía	-	20 %
3. Espacio. (Área de la plataforma que soporta los frascos)	-	20 %
3. Costo	-	15 %
<b>TOTAL</b>		100%

En la tabla 2.5 se muestra la escala de cada criterio ponderado para el sistema de llenado.

Tabla 2.5 Escala de criterios de evaluación para sistema de llenado

CRITERIO	PONDE- RACIÓN	ESCALA		
		Indicador cualitativo	Grado de satisfacción	resultado
1. Simplicidad	25 %	• Si el número de módulos es menor de 8	Excelente	100 %
1.1 Número de módulos que lo componen		• Si el número de módulos es entre 9 y 12	Bueno	80 %
		• Si el número de módulos es entre 13 y 16	Regular	60 %
		• Si el número de módulos es entre 16 y 19	Deficiente	40 %
		• Si el número de módulos es mayor de 20	Malo	0 %
1.2 Piezas que han de mandarse a hacer	20 %	• Si menos del 20% de los módulos se han de mandar a hacer	Excelente	100 %
			Bueno	80 %



a hacer		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si entre el 21% y el 40 % se han de mandar a hacer</li> <li>• Si entre el 41% y el 60 % se han de mandar a hacer</li> <li>• Si entre el 61% y el 80 % se han de mandar a hacer</li> <li>• Si entre el 81% y el 100 % se han de mandar a hacer</li> </ul>	Regular	60 %
			Deficiente	40 %
			Malo	0 %
2. Consumo de energía	20 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos de 1 Ampere/hora</li> <li>• Entre 1 y 2 Amperes/hora</li> <li>• Entre 3 y 4 Amperes/hora</li> <li>• Entre 4 y 5 Amperes/hora</li> <li>• Más de 5 Amperes/hora</li> </ul>	Excelente	100 %
			Muy bueno	90 %
			Bueno	80 %
			Regular	60 %
			Malo	0 %
3. Espacio. (Área de la plataforma que soporta los frascos)	20 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos de 30 veces el área de la base de uno de los frascos</li> <li>• Entre 30 y 35 veces el área de la base de uno de los frascos</li> <li>• Entre 35 y 40 veces el área de la base de uno de los frascos</li> <li>• Más de 40 veces el área de la base de uno de los frascos</li> </ul>	Excelente	100 %
			Bueno	80 %
			Regular	60 %
			Malo	0 %
4. Costo <sup>⊗</sup>	15 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos de \$1500</li> <li>• Entre \$1500 y \$3000</li> <li>• Entre \$3000 y \$4500</li> <li>• Entre \$4500 y \$6000</li> <li>• Más de \$6000</li> </ul>	Excelente	100 %
			Bueno	80 %
			Regular	60 %
			Deficiente	40 %
			Malo	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>			

### Propuestas

Para satisfacer los criterios anteriores se plantean las siguientes propuestas:

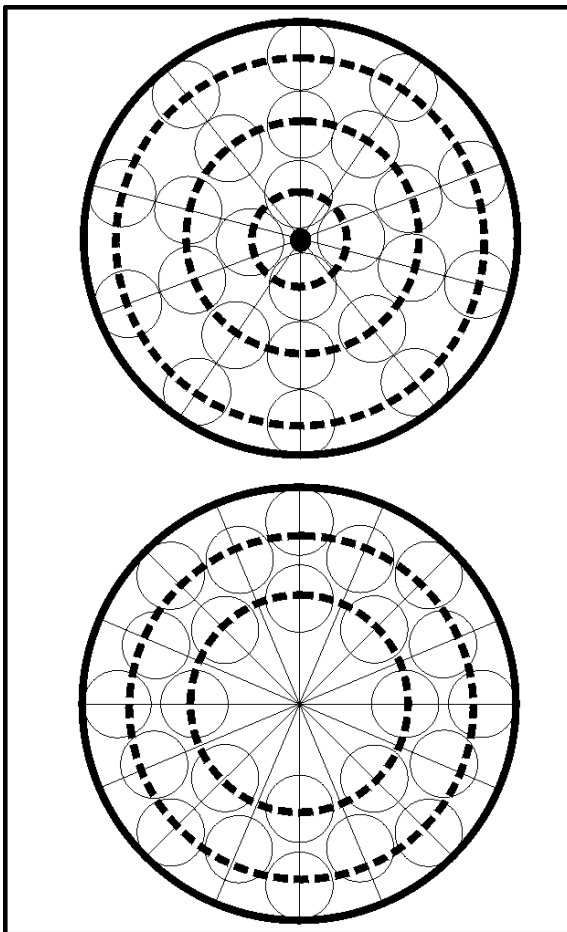
A) Mover los frascos hasta la parte inferior de la boquilla fija de una manguera procedente de la bomba. Esta opción requiere una plataforma circular

<sup>⊗</sup> Dado que todas las propuestas incluyen una bomba para succionar el agua, el costo de esta no se considera en el análisis de las propuestas. Se muestra un análisis de esta en la sección "2.4 Elección de la bomba".

giratoria que gire  $\frac{360}{n}$  grados entre un frasco y el siguiente, donde  $n$  es el número de frascos. Esta configuración sólo permite llenar frascos a una misma distancia del eje de rotación de la plataforma.

B) Usar electroválvulas para seleccionar la ruta que seguirá el agua bombeada hasta cada uno de los  $n$  frascos. Se requieren  $n + 1$  electroválvulas, si se cuenta también una electroválvula para la ruta en la que se debe verter el agua al exterior del muestreador para purgarlo entre una muestra y otra.

C) Una plataforma circular giratoria sobre la que se colocan los frascos a



diferentes distancias del eje de rotación de ésta. Cada una de esas distancias, o radios  $r$  (en la Figura 2.3 están marcados con líneas concéntricas punteadas en dos posibles configuraciones), tienen una salida del agua bombeada que se selecciona por medio de las electroválvulas.

Esta propuesta usa sólo  $r$  electroválvulas, siendo  $r \ll n$ , - disminuyendo considerablemente el costo- y es capaz de manejar  $r$  líneas de frascos, lo que permite optimizar el espacio de la plataforma.

D) Igual que la anterior en lo que respecta a las electroválvulas y los radios en los que se disponen los frascos. La diferencia radica en mantener fija la plataforma con los frascos y desplazar las

Figura 2.3. Configuraciones de plataforma del sistema de llenado

mangueras de alimentación<sup>⊗</sup> de un frasco al siguiente.

E) Disponer los frascos en una plataforma fija y cuadrada sobre la cual se traslada la manguera de alimentación. Para ello se requieren dos ejes de desplazamiento perpendiculares entre sí.

En la tabla 2.6 se evalúan las cinco propuestas anteriores con base en la escala de la tabla 2.5. Con base en la primera, la opción seleccionada es la D.

Tabla 2.6 Propuestas para sistema de llenado

CRITERIO	PONDE- RACIÓN	CALIFICACIÓN				
		Propuesta A	Propuesta B	Propuesta C	Propuesta D	Propuesta E
1. Simplicidad						
1.1 Número de módulos que lo componen	25 %	100 %	0 %	100 %	100 %	80 %
1.2 Piezas que han de mandarse a hacer	20 %	80 %	100 %	80 %	80 %	60 %
2. Consumo de energía	20 %	90 %	80 %	80 %	90 %	80 %
3. Espacio. (Área de la plataforma que soporta los frascos)	20 %	0 %	100 %	80 %	80 %	60 %
4. Costo	15 %	100 %	0 %	80 %	80 %	60 %
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>74 %</b>	<b>56 %</b>	<b>85 %</b>	<b>87 %</b>	<b>77 %</b>

En relación con el modelo geométrico óptimo, lo que se requiere es minimizar  $r$ , dado que para cada radio se requiere una salida diferente de agua, con el

<sup>⊗</sup> De aquí en adelante se denomina “dispensador” al soporte de las mangueras que conducen el agua de las válvulas a los frascos.

consecuente incremento en el costo de una o más electroválvulas. También se debe minimizar el área de la plataforma que soporta los frascos. El diseño está contemplado para manejar 24 frascos de 1 L. En la Figura 2.3 se muestran dos de las mejores configuraciones posibles. La ventaja de la primera es que sólo se deben hacer diez cambios de posición para todo un ciclo de 24 frascos. Sin embargo, el número de cambios de posición (indicados con líneas radiales continuas) no es un parámetro tan determinante como el número de radios  $r$ . Para la primera opción se tiene  $r = 3$ , mientras que para la segunda  $r = 2$ . Ambas configuraciones pueden contener 24 frascos y el diámetro total de la plataforma,  $T_P$ , es la misma en las dos ( $T_P = 6.32 \times$  diámetro de cada frasco). Por la optimización que se logra en la segunda configuración, es la opción que se construirá.

### 2.3.2.1 Elección de la bomba

Todos los tipos de bombas se utilizan en el muestreo automático: peristálticas, a pistón, a membrana y centrífugas. Los tipos de bombas y sus parámetros deben ser elegidos teniendo en cuenta la facilidad de limpieza, las características del agua así como las exigencias en términos de frecuencia y volúmenes de muestras. En el apéndice A se incluye una breve descripción de los tipos de bombas y terminología usada en bombas para líquidos e información de instalación.

La selección se hace con base en los criterios definidos en la tabla A.1 del apéndice. Para ello, a continuación se enlistan las características que debe tener la bomba en el muestreador:

- Un flujo de alrededor de 4 Litros / minuto. El ciclo de llenado de veinticuatro frascos puede durar un mínimo de veinticuatro minutos y un máximo de veinticuatro horas. Al considerar como parámetro crítico el de veinticuatro minutos, eso da un flujo de un litro por minuto. También

hay que considerar que el programar el muestreador a esos intervalos implica usar sólo el 1.66% del rango de tiempo ( $\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ min}} \times 100\% = 1.66\%$ )<sup>⊗</sup>.

Por lo que un flujo cercano a 4 Litros / minuto, o menor, es suficiente.

- Se requiere una bomba con alta succión, aunque baja presión de salida, dado que lo que se requiere es que la bomba succione el agua prácticamente toda la altura desde la fuente al muestreador. A la salida de la bomba, ya no será necesaria mucha presión porque los ductos de salida están casi al mismo nivel que la salida misma de la bomba.
- No importa si el flujo que se está bombeando es de baja pulsación<sup>⊘</sup> o no.
- La viscosidad del agua muestreada no es alta.
- El fluido contiene partículas de interés, para análisis de concentración de sólidos. No obstante, se ha de usar un filtro que impida el paso de partículas de un tamaño significativo para evitar obstrucciones de la manguera.
- No debe contaminar el agua que bombee.

Al comparar los criterios especificados con los de la tabla A.1 del apéndice, se puede ver que la bomba que satisface mejor estos requisitos es del tipo peristáltica. Aunque hay varios tipos que se pueden usar para satisfacer determinado requisito, es de interés notar que una característica singular de la bomba tipo peristáltico es que no es contaminante, debido a que el fluido solo toca el tubo y no entra en contacto directo con ninguna parte de la bomba. Esta característica la hace ideal para aplicaciones de análisis de agua.

---

<sup>⊗</sup> Como prestación adicional, el intervalo entre muestras es de 99 minutos entre una muestra y la siguiente, en lugar de los 60 minutos requeridos.

<sup>⊘</sup> “Baja pulsación” es una traducción un tanto literal del término en inglés pulseless, que transmite la idea de un flujo que es continuo, como el proporcionado al abrir un grifo en el hogar.

Las bombas peristálticas están compuestas de tres partes principales: el motor, cabezal y tubo. En la Figura 2.4 se muestra su localización de partes en una bomba en particular. Para cada una de estas partes hay una gran variedad de tipos y modelos disponibles<sup>⊗</sup>.

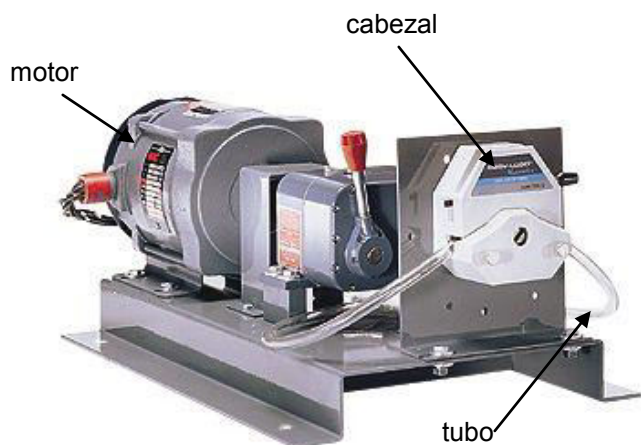


Figura 2.4. Partes principales de una bomba peristáltica <sup>(16)</sup>

A fin de que el muestreador propuesto sea compatible con la mayor parte posible de cabezales y tubos, la elección de éste se centra en aquellos que tengan entradas en común a otros cabezales con capacidad para diferentes diámetros de tubo. En la Figura 2.4 se muestra un tipo de cabezal estándar marca Masterflex<sup>®</sup>. Hay toda una familia de cabezales para diferentes diámetros de tubo que tienen exactamente la misma distancia entre las entradas de tornillos para sujetar el cabezal al motor. El diseño contempla este tipo de cabezales para su construcción.

Los motores que se venden con el acondicionamiento mecánico y electrónico para manejar los cabezales (*drivers* <sup>(16)</sup>) se alimentan con tensiones de 120 VAC y 240 VAC. Su costo es de varios cientos de dólares. Por lo anterior, se propone hacer una adaptación con un motor del alternador de automóvil. Su alimentación es de 12V DC. El número de revoluciones y torque



Figura 2.5. Cabezal estándar de bomba peristáltica <sup>(16)</sup>

<sup>⊗</sup> En las referencias 2 y 16 puede encontrar guías de selección, las características y precios agrupados de las tres partes.

es similar al de muchos de los modelos comerciales. Con esto se reduce considerablemente el costo con prácticamente los mismos resultados.

### **2.3.3. Sistema de monitoreo y detección de errores**

Para evitar muestras colectadas a diferentes tiempos respecto a los programados, consumo innecesario de energía debido al accionamiento de la bomba aun cuando no hay agua para succionar y evitar que el motor se fuerce por algún objeto incrustado en la transmisión, es necesario un sistema de monitoreo del funcionamiento y detección de errores de algunas etapas del proceso. Cada parte del proceso monitoreado genera un mensaje de error en el LCD cuando no funciona de acuerdo a los parámetros de operación. A continuación se describen sus nombres y objetivos.

- **Sensor a la entrada del muestreador.** Su objetivo es indicar la presencia o ausencia de agua en el extremo a partir del cual el muestreador succiona el agua. A fin de hacer tal detección, se puede emplear un par de electrodos a través de los cuales, en presencia de un líquido, se cierre un circuito. Este sistema es dependiente de la conductividad del agua muestreada en particular. Para minimizar este efecto, es necesario hacer mediciones para fijar un límite inferior y superior de conductividad y con base en ello hacer una etapa acondicionadora de señal para obtener solo dos niveles discretos de tensión que reflejen ausencia o presencia de agua. Para que el efecto de dicha corriente en el agua muestreada sea despreciable, el orden de la corriente debe ser de micro amperes.
- **Detectores de salida de agua.** Por las mismas razones que en el punto anterior, se proponen electrodos que cerrarán un circuito cuando el agua fluya a través de la parte que están monitoreando.
- **Monitoreo de la tensión de alimentación.** Útil para determinar si es necesario el reemplazo o recarga de las baterías.

### 2.3.4. Algoritmo de procesamiento

En esta sección se incluyen, además del algoritmo del programa principal, dos de las subrutinas más importantes que sirven para posicionar la plataforma y para llenar los frascos. Para una descripción más detallada del algoritmo que emplea el muestreador, en el apéndice E se encuentra una descripción de todas las funciones implementadas en el muestreador así como los flujos algorítmicos de la mayor parte de ellas.

En la Figura 2.6 se muestra el flujo algorítmico del programa principal. Para efectos de simplificación, no se incluyen todas las operaciones, condiciones ni mensajes. El objetivo es que se comprenda globalmente el funcionamiento del muestreador.

A continuación se explica la función de las variables contenidas en el flujo algorítmico de dicha Figura. La variable “Automático” determina si el muestreador opera en modo manual o automático. La designación “Parámetros de operación” se refiere al conjunto de 5 variables, a saber, “volumen” a coleccionar, intervalos de tiempo entre una muestra y la siguiente, total de frascos a llenar (“N\_frascos”), tipo de muestra (“simple” o compuesta) y si el muestreador debe o no bombear agua hacia el exterior para purgar los ductos entre una colecta y la siguiente. La variable “frasco” indica el número de frasco que contendrá la siguiente muestra. Si se requiere coleccionar muestras compuestas menores a 5 decilitros, se han de verter en el mismo frasco varias colectas. La variable “Lleno” contiene el valor en decilitros del volumen total que contendría el frasco actual si se añade un “volumen” adicional al volumen que contiene el frasco. En caso de sobrepasar la capacidad del frasco – 1 L- se procede a llenar el siguiente frasco. La variable “mover” determina si el dispensador se debe desplazar o no a la siguiente posición (las posiciones se indican con líneas radiales contínuas en la Figura 2.3) Las variables “valvula\_1” y “valvula\_2” están asociadas a los radios 1 y 2 (descritos en la sección 2.3.2, propuesta D).



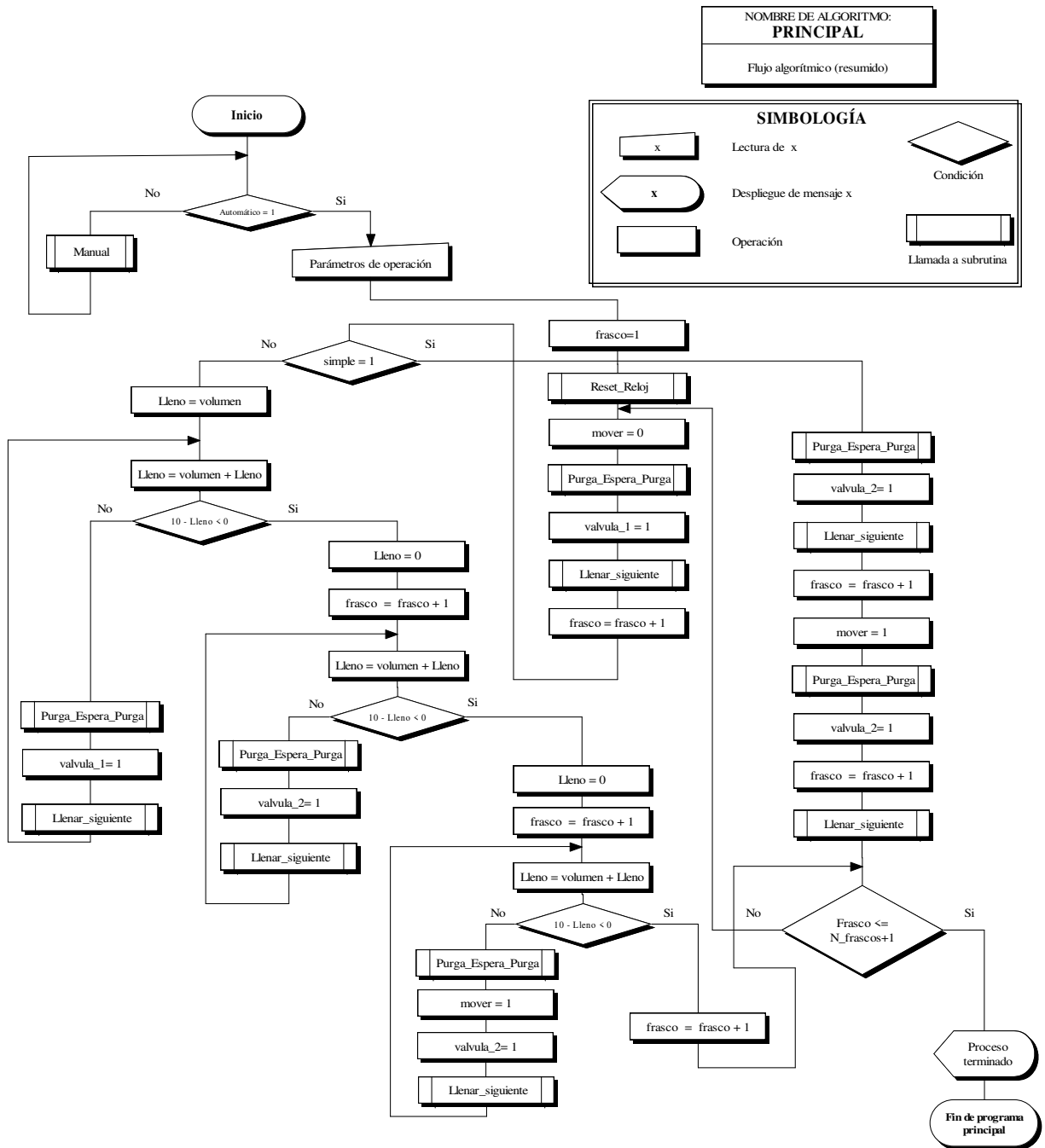


Figura 2.6. Flujo algorítmico de programa “Principal”

La Figura 2.6 hace referencia directa a cuatro subrutinas. Una de estas es la función “Purga\_Espera\_Purga”. La Figura 2.7 muestra su flujo algorítmico. Como

su nombre lo indica, esta subrutina se encarga de vaciar el agua contenida en los ductos del muestreador. Luego, el muestreador espera el intervalo de tiempo entre la colecta actual y la siguiente (denotado “*Espera(frasco)*” en la Figura 2.7). En dicho período de espera, despliega mensajes indicando su estado, es decir, cuántos minutos restan para la siguiente colecta, así como el número de frasco que va a llenar y los que aún faltan. Estos mensajes se alternan con una duración de cinco segundos cada uno. Si al principio del proceso el usuario activa la opción de purgar con agua de la fuente (Lav\_Ext = 1) entonces, un minuto antes de que se termine el tiempo de espera, el muestreador hará una purga. Ésta consiste en bombear a toda velocidad agua de la fuente al muestreador (en lugar de llenar algún frasco se vierte al exterior) y después se bombea en reversa a toda velocidad para vaciar nuevamente los ductos.

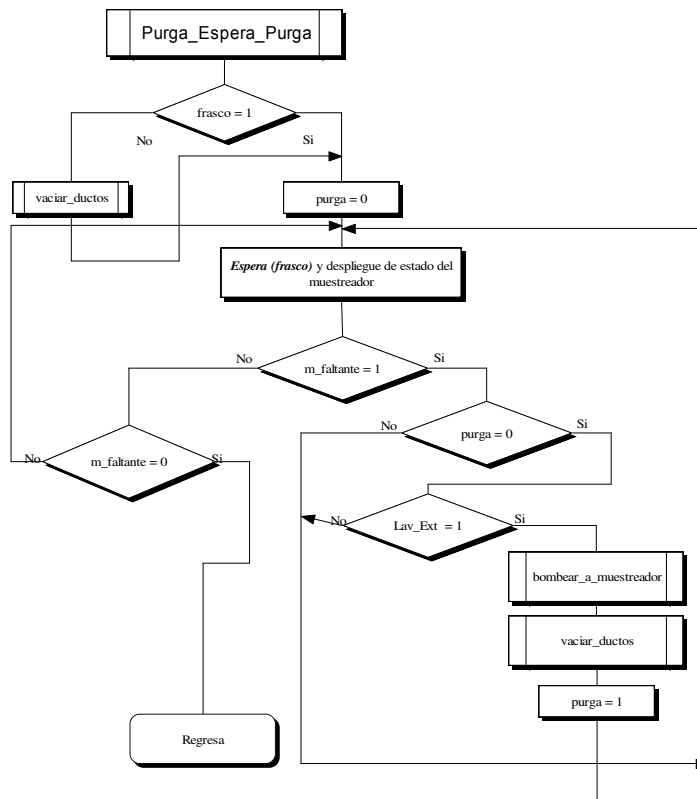


Figura 2.7. Flujo algorítmico de subrutina “Purga\_Espera\_Purga”

La subrutina “Llenar\_siguiete” activa la bomba y monitorea el paso del agua a la vez que calibra el sistema de bombeo al medir el flujo<sup>⊗</sup>. Con este dato se determina el tiempo de activación para bombear el volumen requerido.

### **2.3.5. Elección de la unidad central de procesamiento**

En la actualidad se disponen de diferentes tipos de microcontroladores. En los últimos años, los PIC (siglas en inglés de Controladores Industriales Programables) son circuitos integrados que, por su arquitectura y funcionamiento, son componentes ideales para la realización de dispositivos de control de procesos. Para determinar el tipo (no el modelo en particular), se tomaron en cuenta dos criterios: disponibilidad en el mercado y eficiencia de código.

Se considera la disponibilidad en el mercado para evitar que el equipo llegue a ser obsoleto cuando la unidad de procesamiento falle y se requiera su reemplazo. La disponibilidad también se relaciona con el precio, dado que los gastos de importación disminuyen por unidad cuando se importa mayor volumen. En la tabla B.1 del apéndice se muestran los lugares que ocupan en el mercado las principales marcas de microcontroladores de 8 bits desde 1990 hasta el año 2002. En esta tabla se muestra que, la tendencia de la empresa Microchip es la mejor opción en este aspecto, puesto que se ubica en el primer lugar en ventas para el año 2002.

La eficiencia de código se compara considerando las localidades de memoria que ocupan determinadas rutinas comunes. En la Tabla 2.7 se resumen diferentes tamaños de código para realizar las mismas tareas con microcontroladores de algunas de las marcas más comunes. En cada cuadro, el número de arriba indica la cantidad de localidades de memoria requeridas para realizar la tarea del encabezado de cada columna. El número de abajo es el tamaño relativo con un

---

<sup>⊗</sup> En la sección 3.3 se describe en detalle la calibración.

PIC16C5XX/XX. En la bibliografía (18) se muestran los listados de las rutinas mencionadas de donde se obtuvieron los resultados de la tabla 2.7

Tabla 2.7. Comparación de eficiencia de código entre algunos microcontroladores

Dispositivo	Conversión binario a BCD	Ciclo de control	Prueba de un bit y salto	Transmisión sincronizada de 8 bits	Programar temporización de 10ms	Global
<b>COP800</b>	4 2.00	2 1.00	2 1.00	16 1.46	8 1.00	1.29
<b>ST62</b>	10 5.00	2 1.00	3 1.50	19 1.73	10 1.25	2.10
<b>MC68HC05</b>	10 5.00	3 1.50	3 1.50	20 1.82	11 1.38	2.24
<b>Z86CXX</b>	4 2.00	2 1.00	3 1.50	21 1.91	9 1.125	1.51
<b>8051</b>	4 2.00	2 1.00	4 2.00	15 1.36	11 1.375	1.547
<b>PIC16C5X/XX</b>	2	2	2	11	8	1

La Figura 2.8 es una gráfica donde se muestra la eficiencia de código del microcontrolador de Microchip. Aunque solo se emplea un microcontrolador por cada empresa, el estudio es representativo por las características en común que guardan con otros modelos de su fabricante.

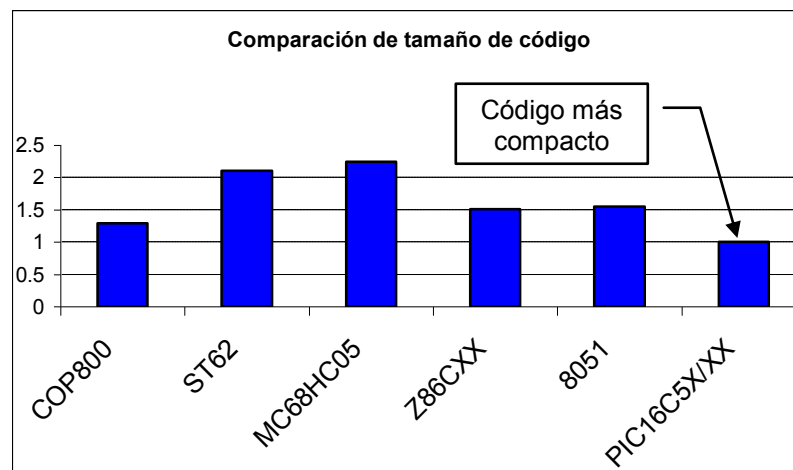


Figura 2.8. Gráfica de los resultados globales de la tabla 2.7

Con base en los resultados anteriores, el microcontrolador empleado es de Microchip. El modelo en particular del PIC está en función de sus prestaciones. En la tabla B.2 del apéndice se muestra una tabla comparativa de los PIC's más populares de Microchip.

Una de las características más importantes es el tipo de memoria que emplea el microprocesador. Por ser este un prototipo, la memoria de programa del PIC seguramente tiene que ser modificada varias veces hasta su depuración final. Esta característica hace que el PIC seleccionado tenga un tipo de memoria *EEPROM* o *FLASH*. Para el sistema de monitoreo, se requiere que tenga por lo menos un convertidor analógico/digital.

En cuanto al número de puertos necesarios para controlar el proceso de muestreo, se requieren en total 32 pines combinando entradas y salidas. Los PIC's de la tabla que reúnen estos requerimientos son el PIC16F874 y el PIC16F877. La diferencia entre ellos radica en el espacio de memoria FLASH de programa 4k y 8k respectivamente, la memoria de datos en RAM 192 bytes y 368 bytes así como la de datos en *EEPROM*. Dado que el PIC16F877 tiene casi el doble de los diferentes tipos de memoria que el PIC16F874 y el precio no difiere mucho entre un modelo y otro, el modelo de PIC a usar en el muestreador es el PIC16F877.

En el siguiente capítulo se explica el control usado en el muestreador para dos de los bloques propuestos: el sistema de llenado y sistema de posicionamiento.

Tabla B.1. Comparación en el mercado de microcontroladores de 8 bits a nivel mundial

No.	1990	1991	1992	1993	1994	1995/96	1997-01	2002
1	MOTOROLA	MOTOROLA	MOTOROLA	MOTOROLA	MOTOROLA	MOTOROLA	MOTOROLA	<b>MICROCHIP</b>
2	MITSUBISHI	MITSUBISHI	MITSUBISHI	MITSUBISHI	MITSUBISHI	MITSUBISHI	<b>MICROCHIP</b>	MOTOROLA
3	NEC	NEC	Intel	NEC	NEC	SGS-Thoms	ST-Micro	ST-Micro
4	Intel	Intel	NEC	Hitachi	Philips	NEC	NEC	NEC
5	Hitachi	Hitachi	Philips	Philips	Intel	<b>Microchip</b>	Philips	Atmel
6	Philips	Philips	Hitachi	Intel	<b>Microchip</b>	Philips	Atmel	Sunplus
7	Matsushita	Matsushita	Matsushita	SGS-Thoms	Zilog	Zilog	Hitachi	Hitachi
8	National	SGS-Thoms	SGS-Thoms	<b>Microchip</b>	SGS-Thoms	Hitachi	Toshiba	Fijitsu
9	Siemens	Siemens	National	Matsushita	Matsushita	Fujitsu	Samsung	Philips
10	TI	TI	TI	TOSHIBA	HITACHI	INTEL	ELAN	TOSHIBA
11	Sharp	National	Zilog	National	Toshiba	Siemens	Zilog	Mitsubishi
12	Oki	Toshiba	Toshiba	Zilog	National	Toshiba	Matsushita	Samsung
13	TOSHIBA	SONY	SIEMENS	TI	TI	MATSUSHITA	INFINEON	ELAN
14	SGS-Thoms	Sharp	<b>Microchip</b>	Siemens	Ricoh	TI	Fujitsu	Winbond
15	Zilog	Oki	Sharp	Sharp	Fujitsu	National	Mitsubishi	Zilog
16	Matra MHS	Zilog	Sanyo	Oki	Siemens	Temic	Sanyo	Sanyo
17	Sony	<b>Microchip</b>	Matra MHS	Sony	Sharp	Sanyo	Winbond	Matsushita
18	Fujitsu	Matra MHS	Sony	Sanyo	Oki	Ricoh	National	Infineon
19	AMD	Fujitsu	Oki	Fujitsu	Sony	Oki	Sony	Holtek
20	<b>Microchip</b>	Sanyo	Fujitsu	AMD	Temic	Sharp	Holtek	National



## Capítulo 3. Sistemas de control de tiempo discreto

La aplicación de las computadoras digitales al control de procesos y sistemas es ahora algo común. Estas computadoras son sistemas de tiempo discreto, y su presencia en un ciclo de control otorga una naturaleza de discreto al sistema total<sup>(3)</sup>.

Como se determinó en el capítulo anterior, el muestreador de aguas residuales tiene como unidad central de procesamiento un PIC16F877. Dado que este es un microcontrolador, se trata de un sistema discreto. En este capítulo se definen brevemente los conceptos necesarios para entender a cuál de los diferentes tipos de control discreto corresponde el que usa el muestreador. Así mismo, se explican algunos términos empleados en capítulos posteriores. Se debe tener presente que para el proceso de llenado de los frascos, las dos variables que se controlan son el volumen de agua bombeado y la posición del dispensador.

### 3.1. Introducción

Las definiciones básicas de los sistemas de control son el punto de partida para comprender su estudio. Las siguientes definiciones están basadas en las referencias 5, 10 y 11.

La **variable controlada** es la cantidad o condición que se mide y controla. La **variable manipulada** es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. El objetivo del control es medir el valor de la variable controlada del sistema para aplicar correcciones a través de la variable manipulada para obtener un valor deseado.

**Planta.** La planta normalmente es un conjunto de partes que trabajan juntas con el objetivo de realizar una operación en particular. Se le llama planta a cualquier sistema físico que se desea controlar.



**Proceso.** El proceso es cualquier operación que va a ser controlada.

**Sistema.** Un sistema es un conjunto de componentes que se interrelacionan y trabajan juntos para realizar un objetivo determinado.

**Perturbación.** Una perturbación es una señal que normalmente afecta a la variable controlada del sistema. Las perturbaciones pueden ser internas cuando surgen dentro del sistema, o externas porque se produce fuera del sistema y actúan como otra entrada.

**Control realimentado.** El control realimentado es un sistema que mantiene una comparación entre la entrada de referencia y la salida deseada, el resultado de la comparación es utilizado para controlar.

Desde un punto de vista topológico, los sistemas de control se clasifican en dos tipos: sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado. El criterio de clasificación es la ausencia o presencia de retroalimentación, respectivamente.

**Sistemas de control en lazo abierto.** En estos sistemas la salida no afecta la acción de control. Es decir que en este tipo de control no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; lo que obliga a que la precisión del sistema sea dependiente de la calibración del mismo.

Los elementos de un *sistema de control en lazo abierto* se pueden dividir en dos partes: el controlador y la planta, como se muestra en la Figura 3.1. Una señal de entrada o comando  $r$  se aplica al controlador, cuya salida actúa como señal actuante  $u$ . La señal actuante controla el proceso de tal forma que la variable controlada  $y$  se desempeñe de acuerdo con estándares preestablecidos. En los casos simples, el controlador puede ser un amplificador, unión mecánica,

filtro u otro elemento de control. En casos complejos el controlador puede ser una computadora o un microcontrolador.

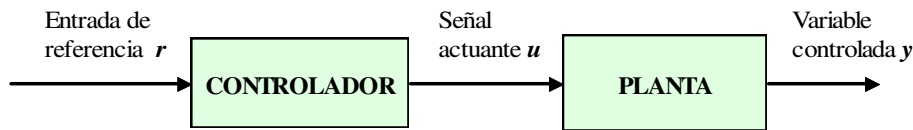


Figura 3.1. Elementos de un sistema de control en lazo abierto

**Sistema de control en lazo cerrado.** Los sistemas de control en lazo cerrado alimentan al controlador la señal de error de actuación que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control de lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. En la Figura 3.2 se muestra que la señal controlada se retroalimenta a partir de un punto de bifurcación (mismo que la variable controlada  $y$ ) y se compara con la entrada de referencia  $r$ , se envía una señal actuante  $u$  proporcional a la diferencia de la entrada y a la salida  $e^{\circ}$  a través del sistema para corregir el error <sup>(10)</sup>.

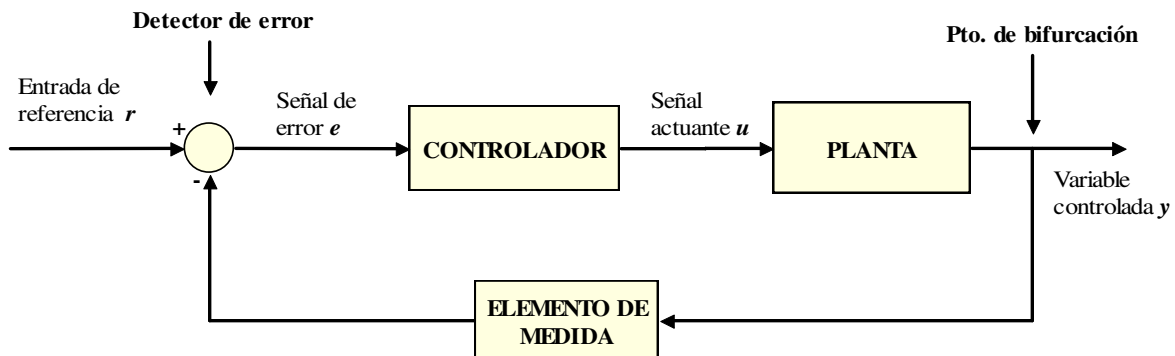


Figura 3.2. Elementos de un sistema de control en lazo cerrado

<sup>10</sup>  $r$ ,  $e$ ,  $u$  y  $y$  están todas en función del tiempo

### 3.2. Tipos de control de tiempo discreto

Una computadora digital puede aplicarse al control de procesos en varias formas. En el nivel más bajo de los lazos de proceso individual, la computadora puede emplearse en la determinación y aplicación directa de las entradas manipuladas necesarias para mantener las variables del proceso en sus valores deseados. Este es el modo de *control digital directo* (DDC, *direct digital control*). En su nivel más alto, la computadora puede emplearse en sentido de *supervisor* para coordinar los lazos del proceso individual utilizando el conocimiento de su interacción y los datos de respuesta medida. A niveles intermedios hay otros modos de uso, como el *secuencial* y el *numérico* <sup>(3)</sup>. A continuación se describen brevemente estos tipos de control.

El control supervisor tiene lugar en un proceso que puede comprender varios lazos de proceso interactuantes. La estrategia de operación óptima la determina el efecto combinado de los valores actuales de las variables de lazo individual, las restricciones operativas (por ejemplo, las limitaciones de equipo y seguridad), las especificaciones del producto, incluso las entradas externas, como la composición del costo de la materia prima. Un sistema de control supervisor en el que los puntos establecidos de lazo individual se calculan con un programa maestro almacenado en la memoria de una computadora puede ser muy eficaz para lograr los objetivos de rendimiento del proceso total. El programa de control supervisor representa un modelo del proceso que puede determinarse por conocimiento previo o mediante pruebas o experimentos efectuados en línea del proceso, o de ambas maneras. En cuanto al software de la computadora digital, debe ser adecuado para las tareas que se van ejecutar y congruente con la capacidad de la máquina. La capacidad de una computadora digital para reunir grandes cantidades de datos, analizarlos y tomar decisiones lógicas con base en los resultados es lo que la hace recomendable para la función de control supervisor.

Aun cuando la computadora supervisora determina la estrategia de operación óptima, interactúa con el proceso de manera indirecta simplemente al proveer los puntos establecidos para los lazos de procesos constituyentes. La puesta en práctica directa de las decisiones se deja principalmente los controladores del lazo, que puede hacer todos controladores analógicos, en cuyo caso la computadora supervisiva es la única computadora digital del sistema; o pueden ser todos controladores digitales, o una combinación de controladores analógicos y digitales. Sin embargo, han de tomarse medidas previsivas para que la computadora supervisora asuma control directo de un lazo crítico cuando ocurre una falla en el controlador de ese lazo. La Figura 3.3 ilustra una configuración de control supervisor que tiene sólo lazos de control digital directo (DDC)<sup>(3)</sup>.

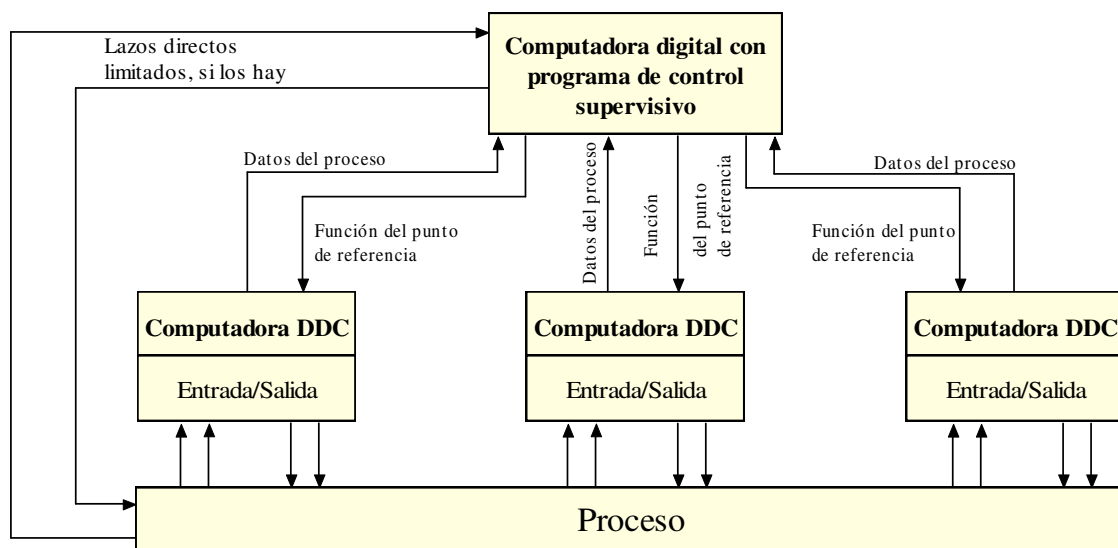


Figura 3.3. Sistema de control supervisor<sup>(3)</sup>

Los sistemas de control de secuencia y de control numérico se caracterizan en general por un orden fijo total en el que tienen lugar las acciones y por una dependencia funcional limitada entre las instrucciones de control del conjunto y los valores resultantes de las variables del proceso. Esas características limitan el campo de los procesos o sistemas a los cuales se aplican normalmente los controles de secuencia y numéricos.

Las acciones de control en un sistema de control de secuencia tienen lugar en una secuencia predeterminada y fija, en la que el fin de cada acción señala el principio de la siguiente. Aunque puede utilizarse la retroalimentación de la consumación de una acción, por lo común no hay comparación de valores deseados y reales de cantidades. Sin embargo, un controlador secuencial puede implicar también demoras para permitir el tiempo de operación de los actuadores del sistema y la verificación de errores, determinar las fallas de los componentes, así como otras características de seguridad y de interacción del operador. Dos ejemplos de procesos familiares que utilizan en control de secuencia son los sistemas de ciclos de las lavadoras automáticas y los del control del tráfico.

El control numérico se aplica típicamente a las máquinas herramientas, y consiste esencialmente en la operación de tales máquinas por instrucciones codificadas. Esta codificación se realiza en un programa simbólico u otro lenguaje de alto nivel, para controlar la secuencia de operaciones de manufactura ejecutadas por la máquina o herramienta.

En DDC, las leyes de control son implementadas en una computadora digital como programas de computadora que aceptan entradas que representan variables controladas y otras medidas en el proceso, puntos de referencia e incluso instrucciones del operador, y generan salidas que corresponden a variables manipuladas o señales que se envían directamente a los actuadores del proceso como desplazamientos de pistones o posiciones de válvulas. En la Figura 3.4 se muestra una configuración de sistema DDC <sup>(3)</sup>.

La velocidad de procesamiento puede ser un problema peculiar para los controladores de software. Para que el control en tiempo real sea posible, la computadora digital debe procesar la información con la rapidez suficiente para asegurar que el cálculo de las variables manipuladas concluya dentro del tiempo de muestreo, sin importar lo complejo que sea el algoritmo de control o lo corto del tiempo de muestreo. Por fortuna, la capacidad de procesamiento y la velocidad de

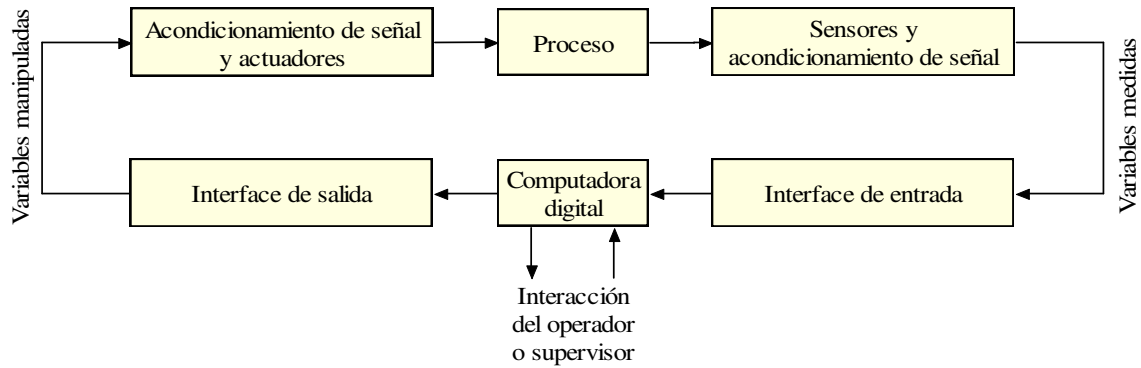


Figura 3.4. DDC (Sistema de control digital directo) <sup>(3)</sup>

las computadoras digitales siguen en aumento, por lo que puede colocarse un número grande y creciente de procesos bajo el DDC. Una ventaja más del DDC es que permite la realización rápida y a bajo costo aun de los sistemas de control más avanzados, puesto que la ley de control asociada con ellos puede reprogramarse a veces hasta sin necesidad de cambios en el *hardware*.

### 3.3. Acción de control Encendido-Apagado

La forma en la cual el controlador automático produce la señal de control se llama “acción de control”. Los controladores automáticos comparan el valor real de la salida de la planta con la entrada de referencia, lo cual determina la desviación con la que el controlador debe producir una señal de control que reduzca la desviación.

En la Figura 3.5 se muestra un sistema de control automático general formado por un controlador, un actuador, una planta y un sensor. El controlador detecta la señal de error, amplifica la señal y la envía al actuador que produce la entrada a la planta; la salida de la planta es medida por un sensor que transforma la señal y la envía al controlador para que pueda ser comparada con la señal de referencia.

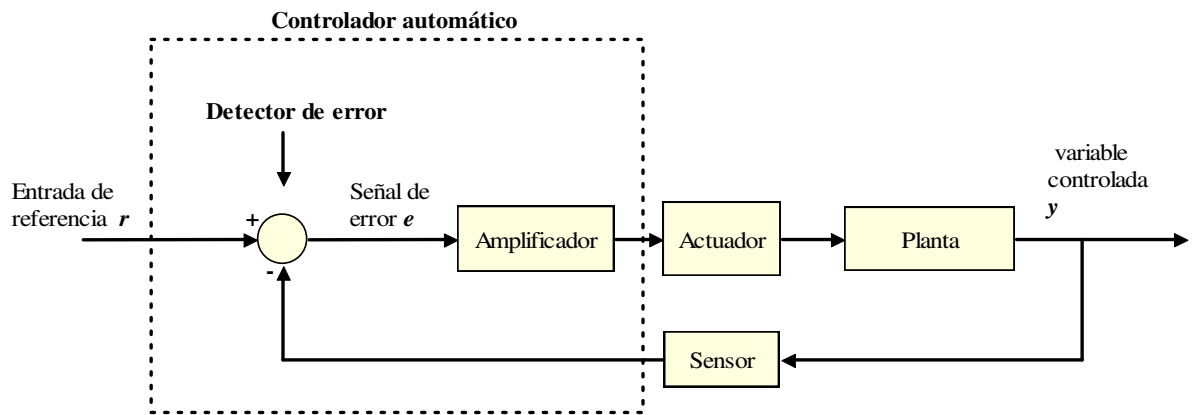


Figura 3.5. Diagrama en bloques general de un control automático

Para la acción de control encendido-apagado el elemento de actuación sólo tiene dos posiciones fijas que en la mayoría de los casos son apagado y encendido. La Figura 3.6 muestra el diagrama en bloques de este tipo de acción de control.

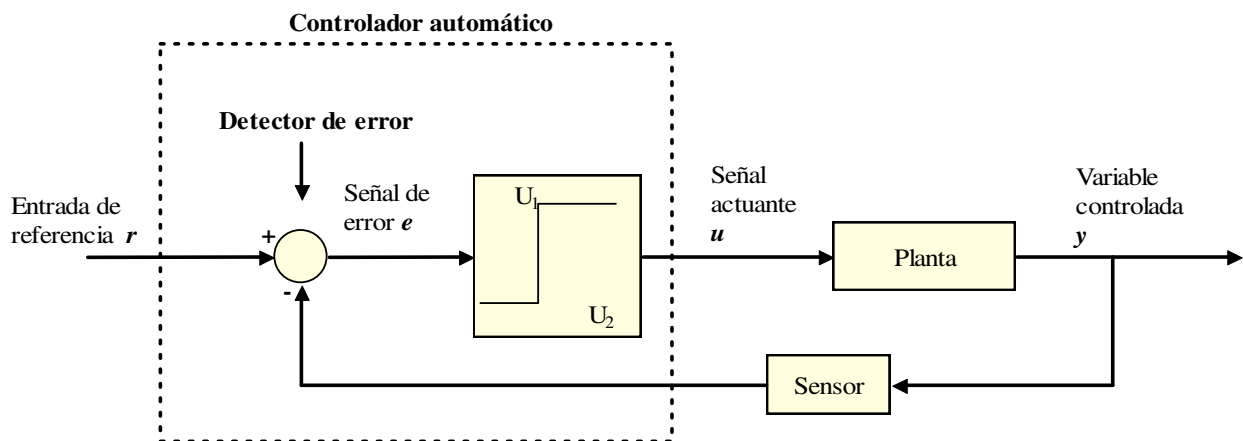


Figura 3.6. Diagrama en bloques de sistema de control encendido-apagado.

Si se tiene una señal de salida del controlador  $u$  y una señal de error  $e$ , en el control de dos posiciones, la señal  $u$  permanece en un valor ya sea máximo o mínimo, dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa. De este modo,

$$u = U_1, \text{ para } e > 0$$

$$u = U_2, \text{ para } e < 0$$

en donde  $U_1$  y  $U_2$  son constantes. Por lo general, el valor mínimo de  $U_2$  es cero o menos  $U_1$ .

### 3.4. Control del muestreador de aguas residuales

El control del muestreador es un DDC. Al comparar la Figura 3.7, que representa el sistema de control del muestreador, con la Figura 3.4 se puede observar la equivalencia. Nótese que el PIC16F877 por ser un microcontrolador, ya incluye dentro de sí, no sólo el microprocesador, sino también los puertos de entrada y salida. Las variables medidas en el PIC16F877 a través de los puertos

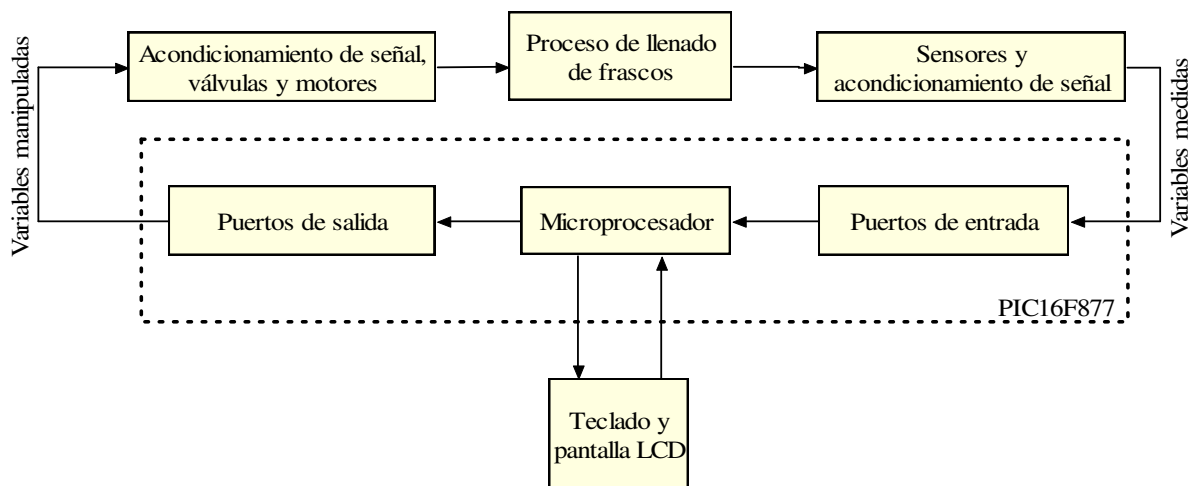


Figura 3.7. DDC en el muestreador.

de entrada se refieren básicamente a la detección de agua en diferentes puntos del proceso y a la llegada o partida del dispensador. Los parámetros de operación son introducidos y visualizados simultáneamente a través del teclado y la pantalla LCD. Las tensiones eléctricas de los puertos de salida son acondicionadas para conmutar relevadores que activan alguna de las tres válvulas del sistema, el arranque y dirección de giro de los motores de la bomba y del sistema de posicionamiento.

En lo que a topología se refiere, el muestreador contiene ambos tipos: de lazo abierto y cerrado. Cuando se autocalibra el sistema de posicionamiento, es un



sistema de lazo cerrado. Cuando no se está autocalibrando, se trata un sistema de lazo abierto. El sistema de llenado es de lazo abierto, aun cuando se autocalibra al inicio de cada colecta.

El sistema de posicionamiento consta de un motor y una transmisión que mueve el dispensador de agua. La variable que se controla es la posición del dispensador. En la Figura 3.8. se indica la relación entre sus partes.

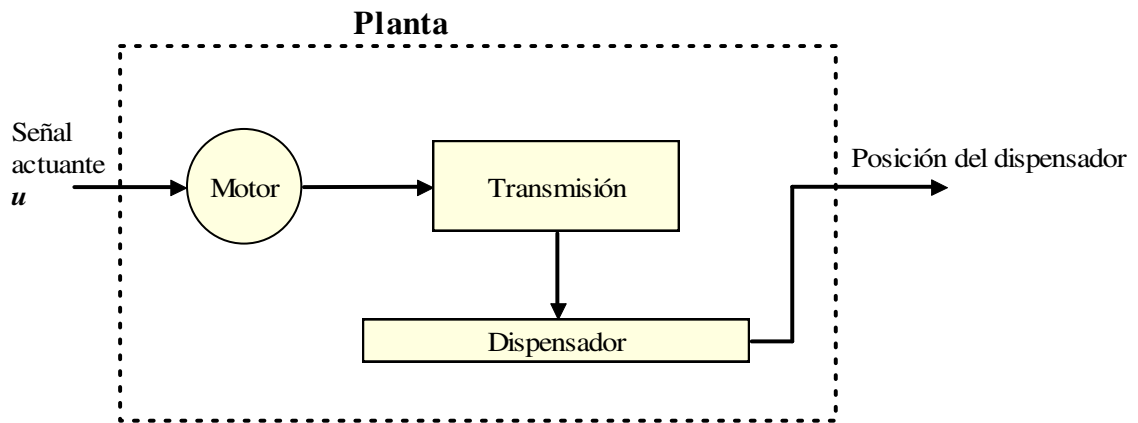


Figura 3.8. Estructura de la "Planta" en el sistema de posicionamiento.

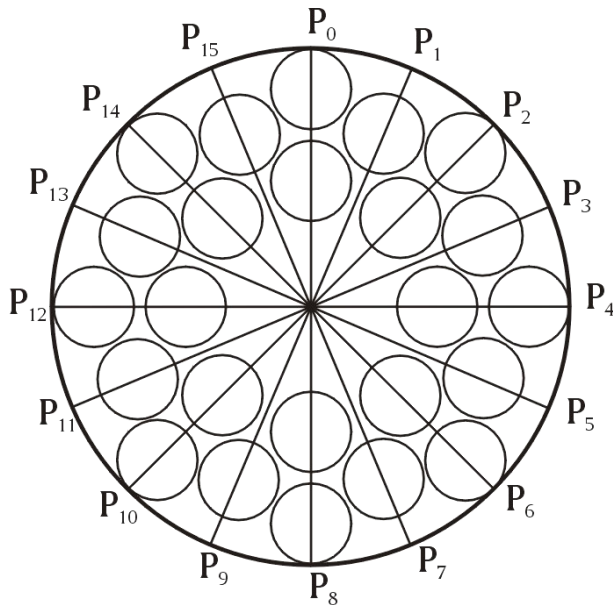


Figura 3.9. Posiciones del dispensador de agua

En la Figura 3.9 se ilustran las 16 posiciones en las que debe detenerse el dispensador de agua. Cuando el muestreador está en la posición inicial  $P_0$ , se envía una señal al motor para que mueva el dispensador hasta la posición  $P_1$ . En  $P_1$  hay un imán adherido a la cubierta interior del muestreador que cierra un interruptor magnético sujeto al dispensador. Dicho interruptor constituye el sensor en la ruta de retroalimentación de la Figura 3.6. El tiempo que tarda el

dispensador en pasar de la posición  $P_0$  a  $P_1$  se almacena en la memoria de trabajo del PIC16F877 y es el tiempo de accionamiento del motor para los cambios de posición de la posición  $P_n$  a  $P_{n+1}$ , con  $n = 1,2,3,\dots,14$ . El mismo tipo de control realimentado se emplea para el regreso del dispensador de la posición  $P_{15}$  a  $P_0$ <sup>⊗</sup>, salvo que en este caso el tiempo que tarda no se emplea para accionamientos sucesivos.

Se debe tener en cuenta que hay un error acumulado como resultado de los catorce cambios de posición efectuados con un sistema de lazo abierto. Para determinar la tolerancia de error máxima se consideran dos factores: la relación de 1 a 10 del diámetro de la manguera del dispensador respecto al orificio del frasco y la distancia radial del eje del dispensador a los frascos. Como lo muestra la Figura 3.10, considerando estos elementos, se tiene una tolerancia de error acumulado en la posición del dispensador de  $\pm 8^\circ$ .



Figura 3.10. Determinación de tolerancia máxima de error acumulado en la posición del dispensador

De este modo, de  $P_0$  a  $P_1$  y de  $P_{15}$  a  $P_0$  el sistema de posicionamiento usa el esquema mostrado en la Figura 3.6. En el primer movimiento el sistema se autocalibra para realizar el resto de los cambios de posición, en los cuales se aplica la topología de la Figura 3.1.

El sistema de llenado estructuralmente consta de válvulas que dirigen el flujo de agua bombeado desde la fuente hasta el radio apropiado del dispensador, la

<sup>⊗</sup> En  $P_0$  hay un imán, aparte del asociado a  $P_1$ , a una distancia radial diferente del eje de rotación del dispensador.

bomba y sensores de presencia de agua. Las válvulas establecen solamente la ruta de llenado de cada colecta y no cambia su estado, sino hasta la siguiente. Su descripción como parte del proceso de llenado se considera hasta el próximo capítulo bajo el tema “sistema de llenado”, dado que sus estados cambian sólo al comenzar y al terminar cada ciclo del sistema de control descrito a continuación.

El sistema de llenado se autocalibra al principio de cada colecta. Esto incrementa la precisión del volumen de agua colectado. La calibración es importante debido a que la velocidad del motor de la bomba y, por ende, el flujo, puede ser ajustado por el usuario.

En la Figura 3.11 se muestra la configuración para determinar el volumen de agua que se bombea<sup>⊕</sup>. Se mide el tiempo que tarda en llenarse un volumen conocido dentro de la manguera que va de la fuente al muestreador. Este es el volumen contenido en la manguera entre el sensor 1 y el sensor 2. De ese modo se conoce el flujo, ya que

$$\text{flujo} = \text{volumen} / \text{tiempo} \quad (\text{ecuación 3.1})$$

Con esto concluye la calibración del sistema de llenado. En este caso, la

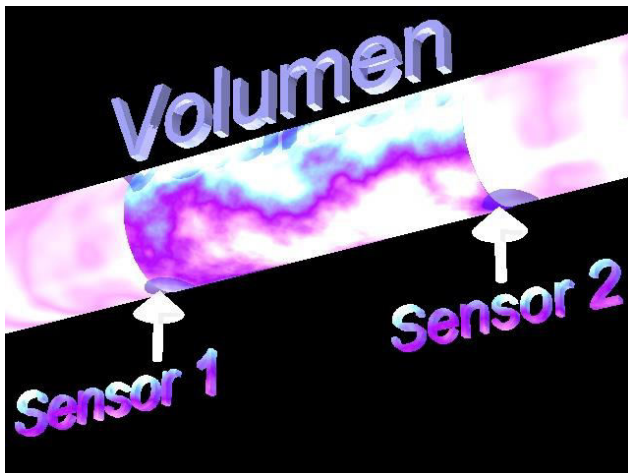


Figura 3.11. Disposición de sensores acotando volumen para medición de flujo

realimentación (el paso del agua del sensor 1 al 2) no tiene efecto directo en el bombeo, es decir, no se aplica ninguna señal de control cuando el agua es detectada por el sensor 2. Por ello la calibración expuesta no es una acción de control. Es una medición del flujo para usar este dato en el control de lazo abierto que se describe a

<sup>⊕</sup> La Figura es solo para efectos explicativos, no está a escala.

continuación.

Una vez determinado el caudal<sup>⊕</sup>, se despeja el tiempo de la ecuación 3.1 y se calcula en el PIC16F877 para accionar la bomba proporcionalmente al volumen de agua a coleccionar. El tiempo de llenado comienza a contar a partir de que el agua cae del dispensador a los frascos. Esta detección es a través de cualquiera de los sensores detectores de agua del dispensador. Puesto que no hay retroalimentación que indique físicamente el volumen de agua en cada frasco, se trata de un sistema de lazo abierto, como el mostrado en la Figura 3.1. La variable controlada es el volumen y la planta está constituida por la bomba de agua y los tubos conectados a ella.

Hasta este punto se han abordado desde un punto de vista conceptual las partes que constituyen los bloques del muestreador. En el siguiente capítulo se describe con detalle cada parte desde un punto de vista estructural.

---

<sup>⊕</sup> Los términos **flujo** y **caudal** se utilizan indistintamente para definir el volumen de un determinado fluido que pasa por un sitio en un tiempo dado.

## Capítulo 4. Construcción y pruebas

Como se indicó al final del capítulo 2, este capítulo continúa con la fase dos de la metodología empleada en los proyectos de ingeniería a partir de su quinta etapa, a saber, el refinamiento de la solución seleccionada. De la sección 4.1 hasta la 4.7 básicamente son descripciones estructurales y funcionales de los circuitos de cada uno de los bloques que constituyen el muestreador a partir de sus diagramas esquemáticos y sus respuestas a estímulos aplicados. No se repetirán sus definiciones ni objetivos –estos están explicados en el capítulo 2-. Las descripciones están orientadas a mostrar *cómo* desempeñan las funciones para lo que fueron diseñadas.

En la sección 4.8, “soporte mecánico y panel frontal”, se describe la construcción física del muestreador y la distribución de sus elementos vistos como un sistema en conjunto.

### 4.1. Interfaz con el usuario

Está compuesta de dos partes principales: el **teclado** –que actúa como dispositivo de entrada- y el **LCD** –como elemento de salida-.

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama esquemático de estos y los pines del PIC16F877 que los controlan.

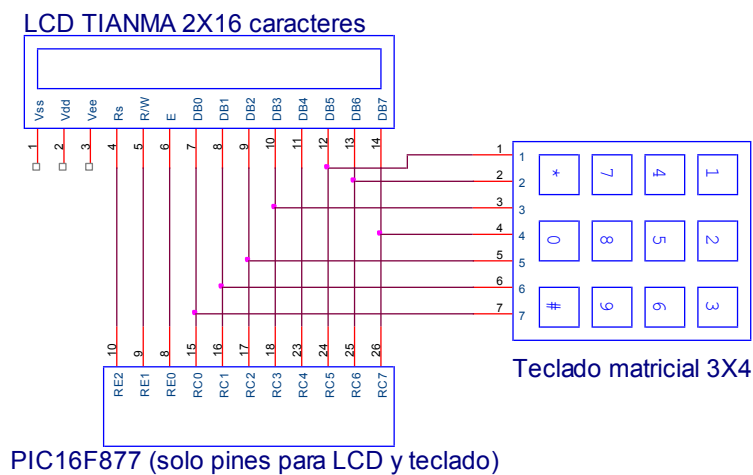


Figura 4.1. Diagrama esquemático de interfaz con el usuario

### 4.1.1 Teclado

El teclado matricial se conecta al puerto C del PIC16F877. Cuando el sistema está en espera de una pulsación, se ejecuta una rutina que puede dividirse en tres pasos. Primero, los bits 4 a 7 del puerto C se configuran como salidas y los bits 0 a 3 como entradas. En el segundo paso, en los bits de salida se genera una secuencia de barrido (0111, 1011, 1101). De no pulsarse ninguna tecla, en los bits de entrada se lee el *nibble* 1111. Cuando se presiona una tecla, uno de los cuatro bits leídos es cero, con lo que se identifica de manera única la tecla pulsada por la combinación *nibble* de salida – *nibble* de entrada. Por último, el número asociado a la tecla pulsada se envía al *LCD* después de una rutina de conversión.

Todos los valores de los parámetros de operación introducidos al muestreador son menores o iguales a dos dígitos. Cuando se introducen los valores, el sistema espera la tecla de confirmación '#'. Si se desea cambiar el valor que se está ingresando, se debe pulsar la tecla '\*' para borrar el número incorrecto. Los datos se ingresan en base 10 y una rutina de hace la conversión a hexadecimal para su manipulación dentro del PIC16F877.

### 4.1.2. LCD



Figura 4.2. LCD del muestreador de aguas residuales

En la Figura 4.2 se muestra el LCD marca TIANMA, modelo TM162AD, de 16x2 caracteres empleado en el muestreador.

Mediante una rutina de inicialización<sup>⊗</sup>, el LCD se configura en modo de transferencia de 8 bits. En el apéndice F se encuentra una tabla con el código de instrucciones y la tabla de caracteres con sus respectivos valores en hexadecimal.

<sup>⊗</sup> Véase en el CD de esta tesis la rutina "Inicia\_LCD" en el archivo "código.pdf"

Es de interés notar que tanto el teclado como los pines del LCD están conectados al mismo **bus** del puerto C. Esto es gracias a que las entradas de datos del LCD son **triestado**, por lo que, mientras se monitorea si hay señales en el teclado, los pines del LCD se establecen en alta impedancia mediante el pin 6. En la tabla 4.1 se muestran las funciones de cada uno de los pines de un LCD típico.

Tabla 4.1. Funciones de los pines del LCD

Pin No.	Símbolo	Nivel	Descripción
1	Vss	0V	Tierra
2	Vdd	5.0V	Tensión de alimentación lógica y LCD(+)
3	Vee	0.3V	Contraste
4	RS	H/L	Selección de registros (H: Dato L: Instrucción)
5	R/W	H/L	Selección de lectura/escritura
6	E	H/L	Señal de habilitación para lectura/ escritura
7	DB0	H/L	bit0 de dato
8	DB1	H/L	bit1de dato
9	DB2	H/L	bit2de dato
10	DB3	H/L	bit3de dato
11	DB4	H/L	bit4de dato
12	DB5	H/L	bit5de dato
13	DB6	H/L	bit6de dato
14	DB7	H/L	bit7de dato

Cuando se enciende el muestreador, la primer opción que se presenta es la de selección de idioma. El muestreador tiene la capacidad de desplegar todos los mensajes en español e inglés.

Aparte del teclado y el *LCD*, en el panel frontal se encuentra el interruptor de encendido, un potenciómetro para ajustar el contraste del *LCD*, el ajuste de velocidad del motor de la bomba y otros controles. Estos elementos también son parte de la interfaz con el usuario, su descripción se halla en la sección 4.8, “soporte mecánico y panel frontal”.

## 4.2. Sistema de posicionamiento

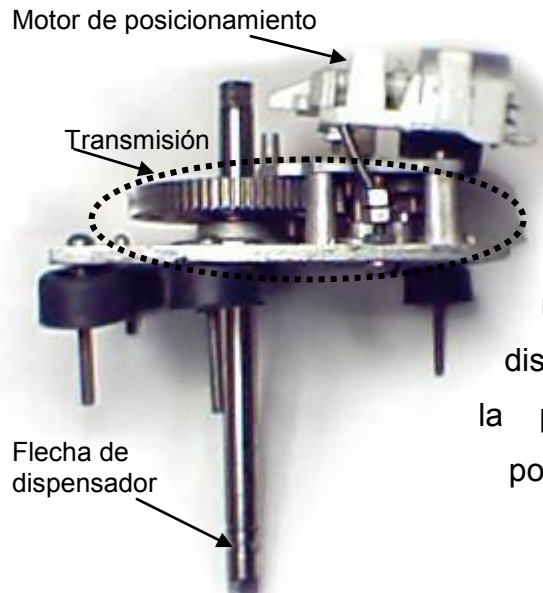


Figura 4.3. Motor y transmisión del sistema de posicionamiento

Está compuesto por dos conjuntos de elementos. Los mecánicos abarcan el dispensador, la transmisión y el motor de posicionamiento. Se consideran como elementos electrónicos: dos interruptores magnéticos que indican la posición del dispensador y el sistema de relevadores que rigen la polaridad y accionamiento del motor de posicionamiento.

### 4.2.1. Elementos mecánicos

En la Figura 4.3 se muestra una fotografía frontal del motor de posicionamiento y la transmisión y en la Figura 4.4 se muestra una vista superior con algunas de sus partes.

La relación de vueltas entre la flecha del motor y la del dispensador es de 22016 a 1. Si se desprecia la fricción en el sistema de engranes, el torque de la flecha del dispensador es unas 22016 veces mayor que el de la flecha del motor, mientras que la velocidad disminuye a la misma razón. Dado que la velocidad no es un parámetro crítico en el sistema de posicionamiento, esto no representa ningún inconveniente. Incluso es una ventaja, dado que la baja velocidad angular de la flecha del dispensador impide movimientos abruptos en este.

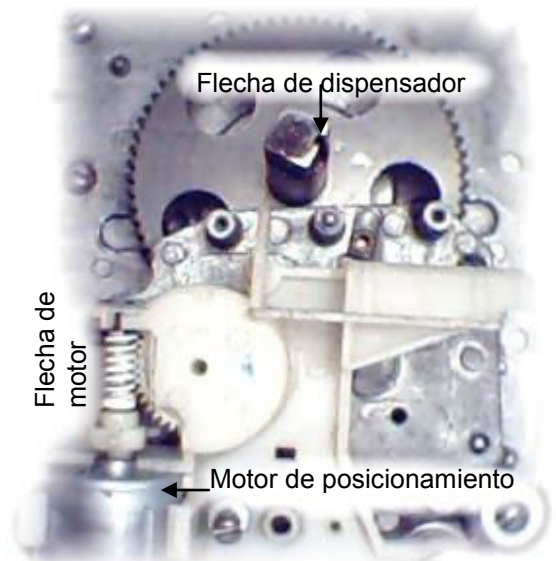


Figura 4.4. Vista superior de transmisión y motor de posicionamiento



La flecha del dispensador del sistema de posicionamiento debe tener una velocidad angular mínima de 22.5°/min. (grados por minuto), debido a que este es el tiempo mínimo de espera entre una muestra y la siguiente. Al aplicar una tensión de 11.5 Volts (un valor inferior a la tensión nominal de la batería de 12V) al motor, la flecha del dispensador se mueve a una velocidad angular de 71 °/minuto, que es más que suficiente. En cuanto al torque, supera con mucho el requerido para mover el dispensador.

El dispensador es una barra cuya función es de soporte físico de dos imanes que activan dos interruptores magnéticos y las mangueras. Los detalles de los interruptores y las mangueras se hacen en las secciones 4.2.2 y 4.3 respectivamente.

#### 4.2.2. Elementos electrónicos

El diagrama en bloques de los relevadores que activan y dan la polaridad al motor de posicionamiento se muestra en la Figura 4.5. En la tabla 4.2 se enlistan

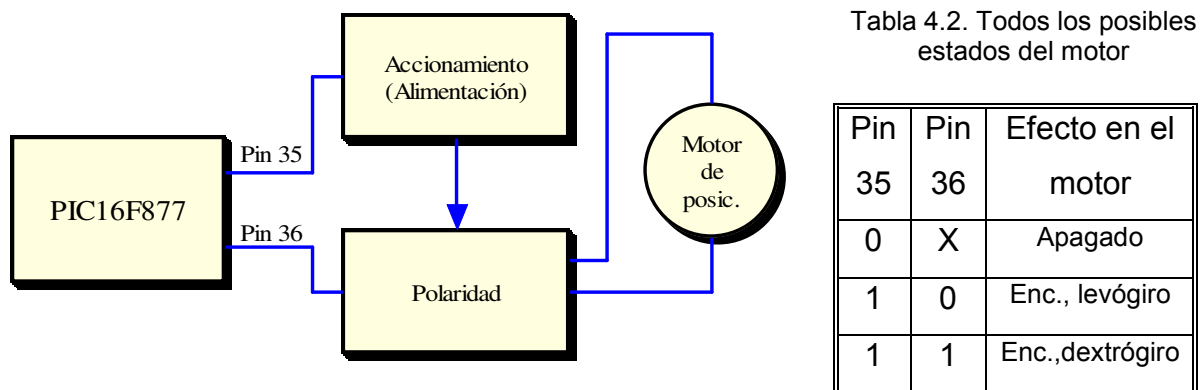


Tabla 4.2. Todos los posibles estados del motor

Pin 35	Pin 36	Efecto en el motor
0	X	Apagado
1	0	Enc., levógiro
1	1	Enc., dextrógiro

0 = 0V, 1 = 5V, X = 0V ó 5V

Figura 4.5. Diagrama en bloques del sistema de accionamiento y polarización del motor de posicionamiento

todos los posibles estados del motor en función de los pines 35 y 36 del PIC16F877.

En la sección 3.3 se describió el papel que desempeñan los interruptores magnéticos en el proceso de calibración del sistema de posicionamiento. Dichos interruptores se encuentran sujetos a la lámina que soporta a la transmisión y se conectan al PIC16F877 como lo indica la Figura 4.6. Los imanes que activan estos interruptores se localizan sobre el dispensador a una distancia radial de 20 cm. y 29 cm. de la flecha de este. En la Figura 4.7 se visualiza la ubicación de estos elementos.

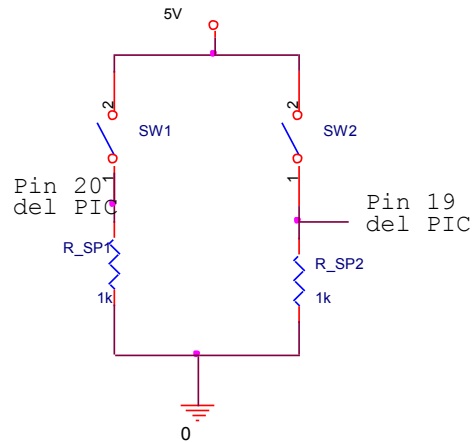


Figura 4.6. Conexión de los interruptores magnéticos al PIC

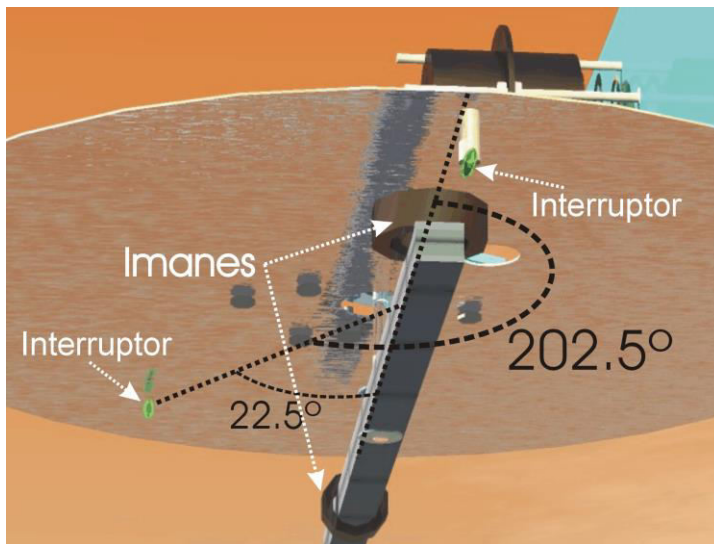


Figura 4.7. Imanes sobre el dispensador e interruptores

Los interruptores se sitúan en dos puntos separados entre sí por una distancia radial de 9 centímetros. Los imanes son colineales, dado que están sobre el dispensador; pero están en lados opuestos (esto es un ángulo de  $180^\circ$ ). Los interruptores tienen un ángulo de  $202.5^\circ (= 180^\circ + 22.5^\circ)$  entre sí, con el vértice en el eje longitudinal de la flecha del dispensador.

### 4.3. Sistema de toma de muestras

En la descripción del sistema de toma de muestras se considera el control de velocidad del motor de la bomba, el tipo de motor usado y la ubicación de estos elementos en el muestreador. También se indica el tipo de válvulas usadas y se especifican las conexiones para la distribución del agua.

#### 4.3.1. Control de velocidad del motor de la bomba

Existen cuatro medios básicos de controlar la velocidad de un motor de CD, y cada uno tiene su rango aplicable distinto de efectividad<sup>(7)</sup>.

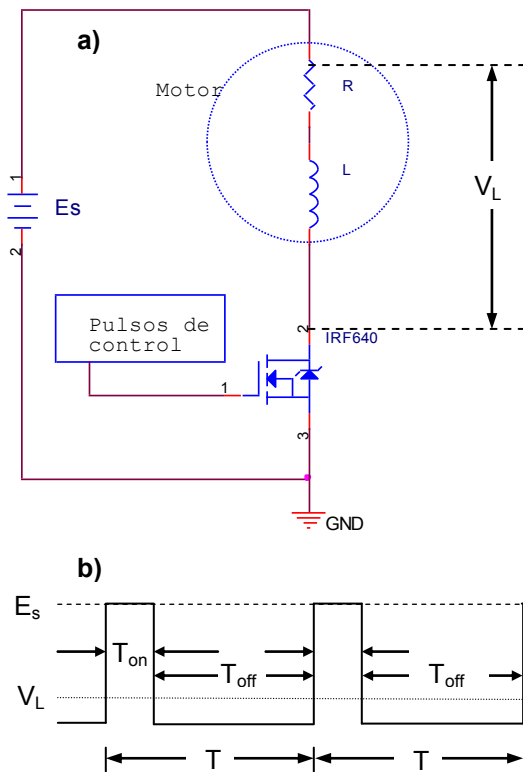
- 1) *Control de campo* o, más específicamente, control de flujo magnético de campo
- 2) *Control de resistencia de armadura* o control de la tensión eléctrica de armadura disponible por resistencia en serie.
- 3) *Control de resistencia de armadura en serie y en derivación*, que utiliza resistencias tanto en serie como en derivación con la armadura.
- 4) *Control de tensión eléctrica de armadura*, el cual utiliza una fuente de tensión controlada para la armadura.

El tipo de motor empleado en la bomba del muestreador es con campo de imán permanente. Puesto que en un motor de CD de este tipo sólo hay devanado en la armadura, el modo 1 no se puede aplicar. Por otra parte, cualquier resistencia de circuito de armadura que se use para el control de velocidad (modos 2 y 3) representa una pérdida considerable. Por ejemplo, una resistencia de circuito de armadura en serie que haga caer la tensión en las terminales del motor a la mitad de la tensión de alimentación consume tanta energía como el motor mismo <sup>(7)</sup>.

Por lo anterior, la velocidad del motor de la bomba se controla con el modo 4. Por la misma razón, para cambiar la dirección de rotación se deben invertir las conexiones de alimentación.

Para controlar la tensión eléctrica de la armadura, y con ello la velocidad, se emplea un pulsador o troceador de CD. El interruptor pulsador es un MOSFET con matrícula IRF640. La Figura 4.8a ilustra de manera simplificada su conexión. En el apéndice C en el diagrama esquemático “Etapa de potencia. Conmutación” se muestran los dos circuitos integrados que componen el circuito de conmutación del MOSFET así como los arreglos de protección contra los incrementos súbitos de corriente y tensión. Para mayor información sobre estos últimos, véase la referencia 4.

El LM324D suministra la forma de onda que se muestra en la Figura 4.8b y el



circuito integrado IR2110 provee los requerimientos de compuerta para activar el IRF640 en función de dichos pulsos. Para una descripción del funcionamiento de estos integrados, consúltense las hojas de datos de estos circuitos integrados <sup>(19)</sup>.

El valor promedio de la tensión de salida ( $V_L$ ) varía desde cero hasta aproximadamente la tensión de alimentación ( $E_s$ ), de acuerdo con los tiempos de encendido ( $t_{on}$ ) y apagado ( $t_{off}$ ) durante el período ( $T$ ) del MOSFET. Si el tiempo de apagado

Figura 4.8. Circuito básico del troceador de CD y forma de onda

es cero, aparece una tensión constante  $E_s$  en la carga y se produce la velocidad máxima. Los valores intermedios de tiempo de encendido darán por resultado valores intermedios de velocidad. La tensión promedio de CD,  $V_L$ , que se entrega a la carga es<sup>(7)</sup>:

$$V_L = \frac{t_{on}}{T} E_s = t_{on} f E_s \quad (\text{ecuación 4.1})$$

en donde,

$E_s$  = tensión de alimentación

$V_L$  = valor promedio de la tensión en la carga

$t_{on}$  = tiempo de encendido

$T$  = período

$f$  = frecuencia

De la ecuación 4.1 se desprende que la tensión en la carga ( $V_L$ ) depende del tiempo de encendido ( $t_{on}$ ), de la frecuencia ( $f$ ) y la tensión de alimentación ( $E_s$ ). En el control de velocidad de la bomba, la frecuencia fija de conmutación es de 20 kHz, la tensión de alimentación es la batería de potencia, con una tensión de 12V  $\pm 10\%$ ; por lo que el ajuste en la tensión en el motor,  $V_L$ , es el resultado de variar el tiempo de encendido,  $t_{on}$ . Esto se hace mediante un potenciómetro –ubicado en el panel frontal del muestreador- que ajusta una tensión de referencia en el LM3524D para la modulación por ancho de pulso.

Además del control continuo de velocidad descrito, el control del muestreador también es capaz de conectar el motor de la bomba directamente a las terminales de la batería de potencia. Tanto estas conexiones como las que invierten la polaridad de alimentación al motor es mediante relevadores. En el apéndice D en el diagrama “Etapa de Potencia. Relevadores” se muestran los cuatro relevadores que hacen posible estos modos de operación. El relevador K1 sirve para habilitar la alimentación al motor, K2A y K2B determinan la polaridad y

K3 establece si el motor va a ser controlado por la conmutación del MOSFET o mediante una conexión directa a la batería de potencia. Toda esta sección se habilita mediante tres bits determinados por el PIC16F877. La tabla 4.3 lista los diferentes estados de los pines 1 a 3 del conector “Tar\_Pot” del diagrama del apéndice supracitado con su respectivo efecto en el motor.

Tabla 4.3. Opciones y condiciones de operación del motor de la bomba

Pin de conector “Tar_Pot”			Condición de operación del motor
1	2	3	
0	X	X	Apagado
1	0	0	Hacia adelante (dextrógiro), por conmutación
1	0	1	Hacia adelante (dextrógiro), por conexión directa
1	1	0	Reversa (levógiro), por conmutación
1	1	1	Reversa (levógiro), por conexión directa

En lo que respecta a la ubicación en el muestreador de estos elementos, en la Figura 4.9 se muestra una simulación en 3D con todos los elementos descritos

fotografía del motor de bomba

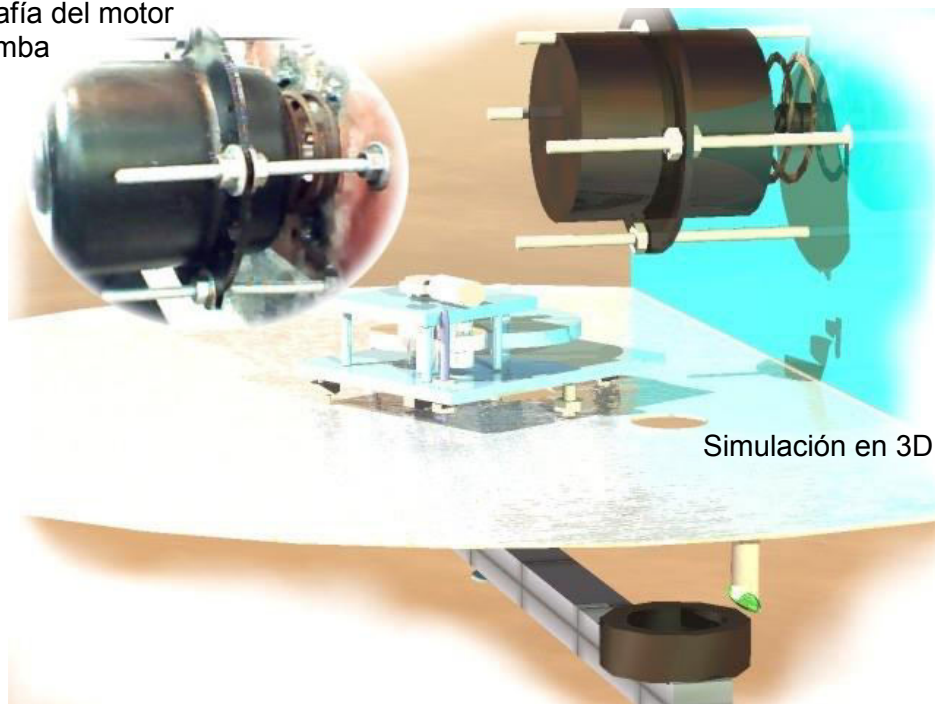


Figura 4.9. Ubicación del motor de la bomba y otros elementos ya descritos del muestreador

hasta esta parte y en la esquina superior izquierda se halla una fotografía del motor de la bomba visto desde el interior del muestreador.

#### 4.3.2. Selector de origen y destino de agua

Para dirigir físicamente el agua de la fuente hasta los frascos se requiere de un sistema de ductos y válvulas. Las tres válvulas empleadas son 2/2 vías, normalmente cerradas, retorno con resorte, accionamiento eléctrico, con diámetro de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, marca *Danfoss* y modelo 203U7505. El apéndice D contiene las especificaciones del fabricante. El solenoide se alimenta con una tensión de 12V DC y disipa una potencia de 18 Watts. En la Figura 4.10 se muestra una fotografía de una de estas electroválvulas (el bolígrafo es sólo para tener una idea inmediata de sus dimensiones). En la misma Figura se puede ver el tipo de manguera usado para los ductos. No se usó soldadura de estaño y plomo para las uniones ni ningún tipo de pegamento de contacto o epóxico para evitar la contaminación de las muestras con los compuestos de estos elementos. Es responsabilidad del operador que hace el muestreo determinar si los componentes adicionales al agua a muestrear afectan al latón de la válvula o el plástico de la manguera o si estos pueden contaminar las muestras.



Figura 4.10. Una de las electroválvulas del muestreador

Las conexiones para distribuir el agua son sencillas. Primero, una manguera hace contacto con el agua a coleccionar en un extremo, y pasa por el cabezal de la bomba peristáltica. En el apéndice A se explica el funcionamiento básico de una bomba peristáltica y en la Figura 2.5 se muestra una fotografía del tipo de cabezal

usado en el muestreador. En el otro extremo de la manguera están las tres válvulas conectadas mediante dos conectores tipo "T". En la Figura 4.11 se representan estas conexiones.

Es importante abrir las válvulas antes de comenzar el bombeo, pues de no hacerlo, el aire en el interior de la manguera que va de la bomba a las válvulas se comprime. Al no tener una vía que libere esa presión, el motor de la bomba tiende a frenarse y se podría dañar este o el MOSFET debido al exceso de corriente resultante.

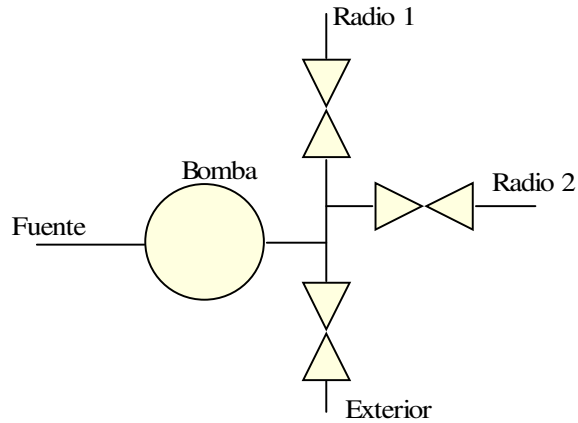


Figura 4.11. Conexiones de las válvulas a la bomba

#### 4.4. Sistema de monitoreo y detección de errores

Físicamente, este sistema se compone de sensores de presencia de agua y un divisor de tensión en las baterías para indicar su estado en el panel de control. Todos estos elementos están conectados directamente a la unidad central de procesamiento.

##### 4.4.1. Sensores de presencia de agua

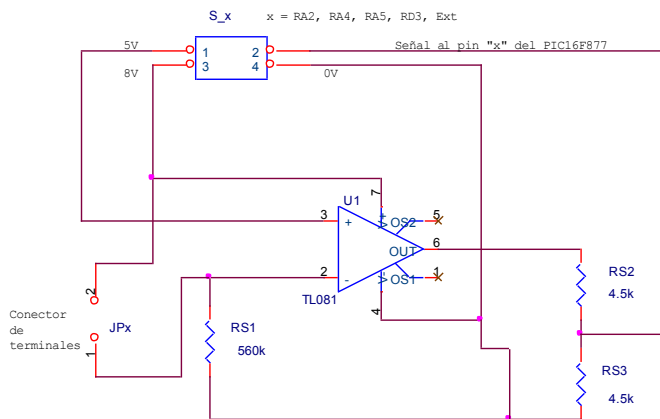


Figura 4.12. Diagrama eléctrico de sensores de presencia de agua

En la Figura 4.12 se halla el diagrama esquemático de los sensores de presencia de agua. En total hay 5 sensores de este tipo en el muestreador y cada uno de ellos se conecta a la tarjeta principal mediante



cuatro vías. Mediante cada conector, S<sub>x</sub>, la tarjeta principal alimenta al circuito mediante los pines 1,3 y 4; la salida del sensor se conecta a la placa principal mediante el pin 2 de dicho conector.

El amplificador operacional TL081 actúa como comparador de tensión. La referencia es 5 V y este nivel se compara con el del divisor de tensión formado por RS1 y dos terminales procedentes del conector JPx que hacen contacto con el agua. Cuando no hay agua entre estas terminales, se tiene un circuito abierto, y por tanto la salida en el operacional es  $V_- = 0V$ . En caso contrario, se presenta una resistencia debido al agua que eleva la tensión en RS1 a más de 5V; a la salida del operacional se tiene un nivel de  $V_+ = 8V$ , que se reduce a alrededor de 4V mediante el divisor de tensión formado por RS2 y RS3 para conectarse al pin respectivo del PIC16F877.

Estos sensores se ubican en las siguientes posiciones: a la entrada de la manguera que hace contacto con el agua de la fuente (si no hay agua en la fuente, la bomba no se activa), dos en el interior de la manguera que va desde la fuente a la bomba, para calibración de volumen (ver Figura 3.11); y un sensor en el fin de la manguera –del lado de salida- de cada válvula, para comenzar a contar el tiempo de llenado. Todos estos sensores se insertan en las mangueras y se sellan los orificios para evitar fugas.

Como se mencionó al final de la sección 4.3, es vital que la bomba no esté funcionando con todas las válvulas cerradas. Para evitar operar en esa condición, mediante programación se establecen ciertos tiempos de retardo en los que se monitorea mediante estos sensores que el agua efectivamente esté fluyendo. Si después de pasar más de cierto tiempo predeterminado no se detecta el agua, el muestreador suspende el bombeo y envía una señal de error al *LCD*. Este error impide que el muestreador siga con el proceso de muestreo, pues es un error crítico. Pudiera ser que alguna de las válvulas no se active, que haya una obstrucción en alguna de las mangueras, que haya fallado el motor o que alguno de los sensores no funcione. Puesto que sería inseguro que el proceso continuara

con alguna de estas fallas, el muestreador omite todas las futuras colectas e inhabilita todo el sistema excepto el LCD mostrando el mensaje de error.

#### **4.4.2. Monitoreo de tensión de alimentación**

En lo que respecta al monitoreo de la tensión en las baterías, luego de acondicionarse mediante un divisor de tensión, cada una se conecta al PIC16F877; el cual convierte los niveles de tensión a valores digitales.

En el panel frontal hay un voltmetro que indica la tensión de cada batería mediante un interruptor. El muestreador está diseñado para operar en un rango de 11.2 V a 15 V para ambas baterías. Con tensiones menores, sólo algunas partes funcionan. Cuando el valor de tensión está por debajo de 11.5 V, se emite una señal auditiva que indica el estado bajo de alguna de las baterías y un mensaje en el LCD.

Debido a las fluctuaciones de tensión que hay cuando está en operación el muestreador, el monitoreo de tensión se hace cuando el muestreador está en espera entre la colecta de una muestra y la siguiente. Cuando se está bombeando o abriendo y cerrando válvulas, los valores del panel frontal no se actualizan sino hasta que termine de activar estos dispositivos.

#### **4.5. Unidad central de procesamiento**

En el apéndice B se muestra un diagrama con la arquitectura del PIC16F877 en donde se puede ver que dispone de 33 pines de entrada/salida, conversor analógico/digital, 8 niveles de pila, temporizadores y memoria de programa Flash de 8k. Para mayor información sobre estas características y su aplicación, consúltese las referencias 8 y 9. En la tabla 4.3 se hallan todos los pines de puertos empleados y su función asociada; en la tercera columna se encuentran las

secciones donde se explican las funciones del dispositivo conectado al pin en particular.

Tabla 4.3. Pines de la unidad central de procesamiento y elementos asociados

	Nombre y # Pin	Tipo*	Elemento conectado	Sección	
PUERTO A	AN0	2	E - A	Divisor de tensión para medir batería de potencia	4.4.2
	AN1	3	E - A	Divisor de tensión para medir batería de control	4.4.2
	RA2	4	E - D	Sensor 3 de presencia de agua para radio 2	4.4.1
	RA4	6	E - D	Sensor 1 de presencia de agua para calibrar flujo	3.3
	RA5	7	E - D	Sensor 2 de presencia de agua para calibrar flujo	3.3
PUERTO B	RB0	33	S - D	Buzzer	4.1
	RB1	34	S - D	Activa etapa de potencia para la bomba	4.3.1
	RB2	35	S - D	Activa motor de posicionamiento	4.2.2
	RB3	36	S - D	Establece sentido de giro del motor de posicionamiento	4.2.2
	RB4	37	S - D	Establece sentido de giro del motor de la bomba	4.3.1
	RB5	38	S - D	Alimentación de válvula asociada al radio 1	4.3.2
	RB6	39	S - D	Alimentación de válvula asociada al radio 2	4.3.2
	RB7	40	S - D	Alimentación de válvula asociada a exterior del muestreador	4.3.2
PUERTO C	RC0	15	E/S - D	Interfaz con LCD y teclado	4.1
	RC1	16	E/S - D	Interfaz con LCD y teclado	4.1
	RC2	17	E/S - D	Interfaz con LCD y teclado	4.1
	RC3	18	E/S - D	Interfaz con LCD y teclado	4.1
	RC4	23	E/S - D	Interfaz con LCD	4.1
	RC5	24	E/S - D	Interfaz con LCD y teclado	4.1
	RC6	25	E/S - D	Interfaz con LCD y teclado	4.1
	RC7	26	E/S - D	Interfaz con LCD y teclado	4.1
PUERTO D	RD0	19	E - D	Interruptor magnético que detecta posición 0 de dispensador	4.2.2
	RD1	20	E - D	Interruptor magnético que detecta posición 1 de dispensador	4.2.2
	RD2	21	E - D	Sensor 3 de presencia de agua para radio 1	4.4.1
	RD3	22	S - D	Selección de conmutación o conexión directa de la bomba	4.3.1
	RD4	27	E - D	Activa bomba (modo manual)	4.8
	RD5	28	E - D	Sentido de giro de motor de bomba (manual)	4.8
	RD6	29	E - D	Selección de conmutación o conexión directa de la bomba (manual)	4.8
	RD7	30	E - D	Selección de modo automático o manual	4.8
P.E	PE0	8	S - D	Bit de control de LCD (habilita lectura / escritura)	4.1
	RE1	9	S - D	Bit de control de LCD (Selección lectura / escritura)	4.1
	RE2	10	S - D	Bit de control de LCD (Selección dato / instrucción)	4.1

\*E = Entrada, S = Salida, D = Digital, A = Analógico

En el apéndice C en los diagramas denominados “Tarjeta principal” se muestran las conexiones a los elementos mencionados en la tabla 4.3.

## 4.6. Programación del sistema

En esta sección no se pretende explicar cada una de las líneas de código necesarias para el funcionamiento del muestreador (ascienden a 2755), ni siquiera describir qué hace cada función (un total de 34). De ser así, el análisis del código sería extenuante. Sin embargo, en el apéndice E se halla una descripción de lo que hacen las 35 funciones, los flujos algorítmicos de la mayoría de estas y todo el programa línea por línea con una breve explicación de lo que hace cada instrucción. En muchos libros y tesis específicos sobre el tema se indica cómo enviar y leer datos de los puertos, cómo se usan el convertidor Analógico/digital, los temporizadores y otros recursos de los PIC's. Por tal motivo, aquí se muestran solo algunas estructuras de control y declaraciones de configuración usadas para que el lector pueda entender más rápidamente alguna rutina en concreto del listado del apéndice E (que también se incluye en el CD adjunto a esta tesis).

Para la redacción de esta parte se presupone que el lector está familiarizado con el set de 35 instrucciones de 14 bits de la gama media de PIC (PIC12C6xx, PIC16Cxx y PIC16F87x) y con la arquitectura de los PIC's. Puede consultar las referencias 8 y 9 para comprender estos antecedentes.

Si bien es cierto que en la literatura sobre PIC's se comenta sobre los bits de configuración y se describe para qué son, no es común que se especifique cómo configurarlos al momento de programar un listado en particular. Una forma de hacerlo es agregando la siguiente línea inmediatamente después de la declaración de las librerías a incluir.

```
_CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF & _BODEN_ON & _PWRTE_ON & _XT_OSC &  
_WRT_ENABLE_OFF & _LVP_OFF & _DEBUG_OFF & _CPD_OFF
```

Para que sea válida esa línea de configuración, sólo se pueden cambiar los valores en *cursivas*. Al añadir esta línea, los valores del menú “*Configure/Configuration Bits*” permanecen constantes hasta que se vuelve a compilar el listado.

La rutina que más veces se llama en todo el proceso es la que tiene que ver con el despliegue de mensajes en el LCD. El modo en el que se diseñaron las funciones hacen que sea fácil añadir y desplegar nuevos mensajes inclusive en varios idiomas –que puede implementarse en otro proyecto al copiar el código del CD adjunto- Esto se debe a que la rutina que hace posible esto incluye instrucciones contenidas en tres de las cuatro páginas de memoria del PIC16F877.

En la Figura 4.13 se muestra la ubicación de algunas subrutinas en los tres bancos de memoria. Las tablas de mensajes en español e inglés, así como la mayoría de subrutinas asociadas al despliegue en el LCD se hallan en los bancos 1 y 2 respectivamente. El banco 0 contiene todas las demás subrutinas de control. Cuando se requiere enviar un mensaje al LCD, basta con cargar como argumento al “WREG” el número de mensaje a desplegar. La subrutina “escribe” salta al banco 1 o al banco 2 en función de la variable “idioma” al modificar el registro “PCLATH”.

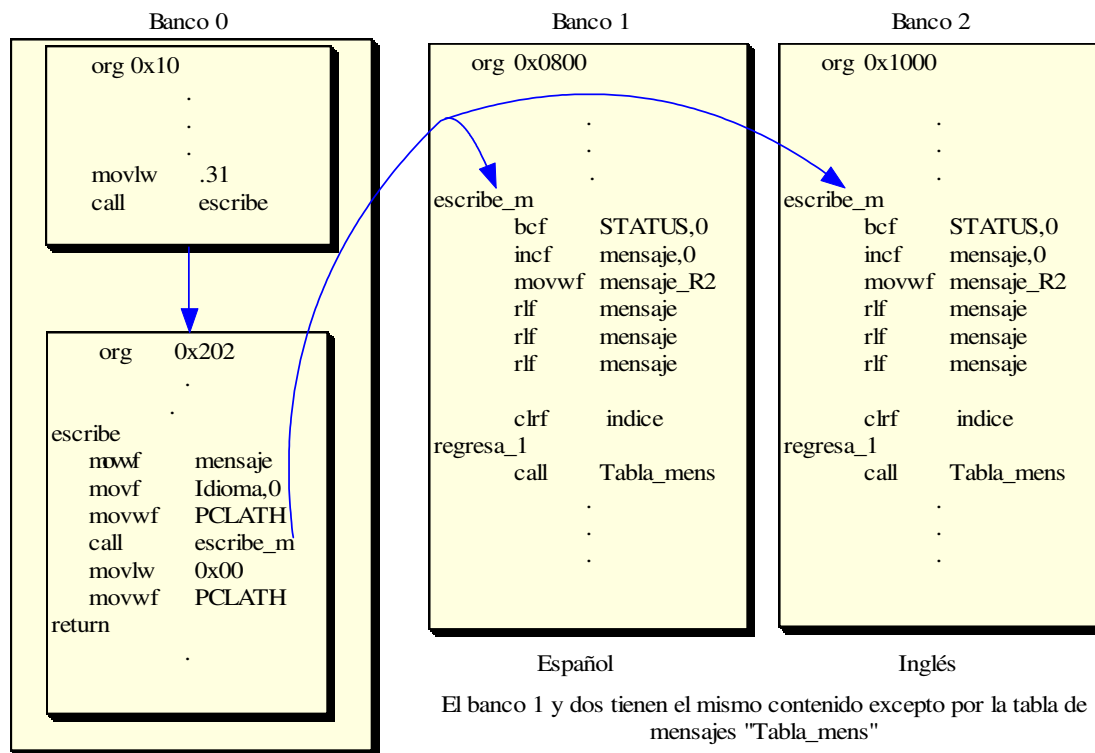


Figura 4.13. Distribución en páginas de memoria de rutinas para el envío de mensajes

Para añadir un tercer idioma, sólo se requiere copiar las subrutinas de los bancos 1 y 2 al 3 y hacer otra tabla de mensajes. En el apéndice E se encuentra un listado que, aunque resumido, contiene las porciones de código suficientes para seguir la secuencia de todas las subrutinas implicadas en el envío de mensajes al LCD.

Otra aspecto importante de la programación es la temporización. En la Figura 4.14 se muestran dos de sus subrutinas principales. Toda la contabilidad del tiempo está basada en las interrupciones que genera el desbordamiento del

<pre> org 0x00      goto Principal org 0x04      goto Interrupciones org 0x10         </pre>	<pre> org 0x450 inicializa_timer0     clrf      desbordam      bsf      STATUS, RP0      ; banco = 1                                  ; Configuración del TIMER0                                 ; preescaler de 1:32 con reloj interno     movlw   b'11010100'     movwf  OPTION_REG                                  ; Configuración de interrupciones     movlw   0x20     movwf  INTCON      ; configura sólo para responder                                 ; a interrupción del Timer0     bsf      INTCON, 7      ; Habilita la detección de interrupción      bcf      STATUS, RP0      ; banco = 0     clrf      TMR0      .     .     .         </pre>
<pre> org 0x450 Interrupciones     movwf   Wtemp     movf    PCLATH,0     movwf   PCLATH_temp      incf    desbordam      movlw   .122     xorwf   desbordam,0     btfsc   STATUS, Z     goto    Inc_Segundo     goto    No_incremento     .     .     .         </pre>	

Figura 4.14. Organización de algunas subrutinas de temporización importantes

“Timer 0” del PIC16F877<sup>⊗</sup>. Cuando se inicializa el “Timer 0” (rutina “inicializa\_timer0”) se establece un pre-escalamiento de 1:32 con la frecuencia de oscilación del mismo PIC16F877. Esto significa que por cada 32 ciclos de instrucción, el “Timer 0” se incrementa en una unidad. La frecuencia de oscilación del reloj es de 4 MHz (Mega Hertz) y, por tanto, cada ciclo de instrucción tiene una

<sup>⊗</sup> El “Timer 0” es un módulo que puede ser configurado como temporizador o como contador de eventos externos. Para una descripción detallada, consulte la bibliografía 8 y 9.

duración de 1  $\mu$ s (microsegundo)<sup>⊕</sup>. De este modo, cada 8.16 ms (milisegundos) se desborda el “Timer 0”<sup>⊖</sup>. Para que transcurra un segundo, han de ocurrir 122.54 desbordamientos del “Timer 0” ( $\frac{1 \text{ Interrupción}}{8.16 \text{ ms}} = \frac{122.54 \text{ Interrupciones}}{1 \text{ s}}$ ). Por redondeo, se consideran solo 122 desbordamientos para incrementar la variable segundos. Este valor se aprecia en el listado de la Figura 4.15 bajo el encabezado “Interrupciones”. El error de hacer este redondeo implica que se omite 0.54901 de ciclos de instrucción por cada incremento en la variable “segundo”. Esa fracción equivale a 4.47992 ms (= 0.54901 ciclos de instrucción x 8.16 ms / ciclos de instrucción). Lo anterior significa que hay un error por redondeo del 0.4479 %, lo cual no es crítico para el proceso de colecta de muestras.

Para encontrar con mayor facilidad alguna subrutina, en el CD están por separado los diferentes archivos \*.inc a los que el archivo “principal.asm” hace referencia. En el apéndice E sólo se encuentran fragmentos de los programas de esta sección y de los flujos algorítmicos de la 2.3.4.

#### 4.7 Fuente de alimentación

La alimentación de todo el sistema proviene de dos acumuladores de 12V. Una batería de 4 Amperes-hora es denominada “de control” y la otra de 10 Amperes-hora se designa como “de potencia”. La batería de control suministra energía al PIC16F877, la pantalla LCD y a todos los sensores del muestreador. La batería de potencia alimenta a todos los relevadores, a los circuitos de conmutación, al Mosfet y a ambos motores (posicionamiento y el de la bomba).

Se requieren los dos acumuladores para evitar variaciones en la tensión de la parte de control, sobre todo cuando se acciona el motor mediante conmutación a

<sup>⊕</sup> La frecuencia en ciclos de instrucción es igual a la frecuencia de oscilación del PIC entre cuatro <sup>(8, 9)</sup>

<sup>⊖</sup> Esto es: 32 (ciclos / incremento) x 255 (incrementos / desbordamiento) x 1 ( $\mu$ s / ciclo) = 8.16 (ms / desbordamiento)

su máxima velocidad.

Una parte sensible a variaciones de tensión en la parte de potencia es la de los circuitos de conmutación. Para disminuir esto, se emplea un transistor TIP2955 como refuerzo en corriente como lo muestra la Figura 4.15.

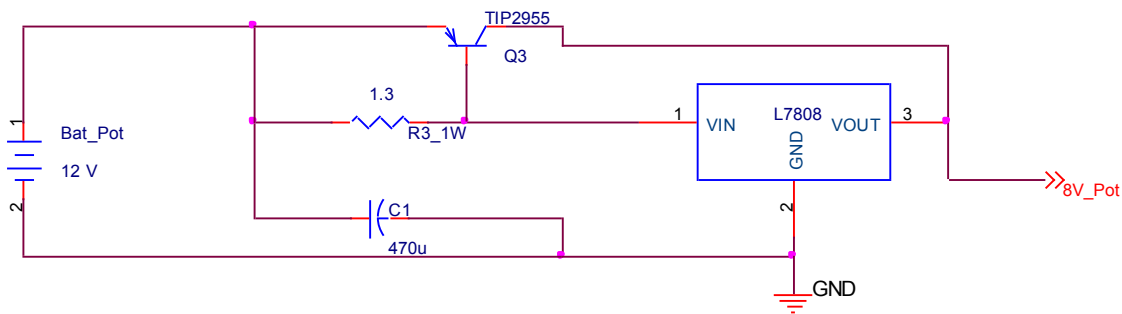


Figura 4.15. Refuerzo en corriente para alimentación de bloque de conmutación

Para la conmutación del Mosfet se emplea la tensión de la batería de potencia sin regulación. Se parte de que la tensión de la batería es de 11.2 V a 15 V<sup>⊗</sup>. Todas las demás tensiones están reguladas con circuitos 7805 y 7808. Estos circuitos pueden regular la tensión con un voltaje de entrada por lo menos de 3 V más respecto al valor de tensión de salida. La tensión regulada más alta es de 8V, razón por la que la tensión de entrada debe superar al menos 11 V. A partir de 11.2 V se obtiene una tensión estable. El apéndice C, en el diagrama “Etapa de Potencia. Alimentación”, contiene el diagrama eléctrico de todas las tensiones de la etapa de potencia y en el diagrama “Principal” se hallan los dispositivos conectados a la batería de control.

Se accede a las terminales de ambos acumuladores para su recarga mediante dos bornes en el panel frontal. Al accionar un interruptor, se determina la batería que se va a recargar. De esta forma, no es necesario desarmar ninguna parte del muestreador para su recarga, salvo para un reemplazo total, dado que son baterías selladas de ácido - plomo.

<sup>⊗</sup> Véase sección 4.4.2 para más detalles



#### 4.8. Soporte mecánico y panel frontal

En esta sección se describen las siete partes principales del soporte y panel frontal: *cubierta*, *división*, *soporte del panel frontal* (metal), *puerta*, *charola para frascos*, *dispensador* y el *panel frontal* (acrílico). En la Figura 4.16 se muestra una fotografía con los primeros cinco elementos. Para disminuir el peso, la lámina



misma con la que está construido se dobla en los bordes y se une mediante remaches. Dichos dobleces actúan como esqueleto de soporte.

El peso de los elementos mostrados en la Figura 4.16 es de 17 kg.

La zona que se encuentra por debajo de la *división* contiene el dispensador, los contactos magnéticos y

los frascos que están sobre una *charola* giratoria. Ésta tiene un tornillo para fijarse, en una posición única a la *cubierta*, una vez que los frascos están en su lugar. Cuando el proceso termina, se quita dicho tornillo y la charola puede girar libremente para sacar e introducir los frascos con facilidad.



En la Figura 4.17 se muestran los 24 frascos de 1 L sobre la *charola*. El elemento de sujeción de los frascos

Figura 4.17. Charola con frascos y espuma como elemento de sujeción

es un material en *spray* que al salir de la lata y esperar 24 horas forma una espuma rígida y ligera que puede ser lijada, perforada y pintada. Aunque no hay ningún tipo de pegamento entre la charola y los frascos, la presión entre éstos y la espuma es tal, que la charola puede moverse bruscamente sin que se caigan o siquiera cambien ligeramente de posición. El peso que agrega toda la espuma es de tan solo 1 kg.

El dispensador soporta dos imanes y dos mangueras que vierten directamente el agua en los frascos. La conexión entre las válvulas y el dispensador es mediante dos coples en forma de “T” que atraviesan la *división* y permanecen completamente fijos. Para evitar que la manguera se doble cuando el dispensador gira, se realizaron varias pruebas en distintos tipos de mangueras y el mejor resultado se obtuvo al usar un forro de *conduit*. Este material se emplea para hacer instalaciones eléctricas y sirve para evitar la obstrucción de los ductos por donde pasan los cables. En la Figura 4.18a se muestra el modo en el que se ensambla la unión entre una terminal de cople “T” y el *conduit*. En la Figura 4.18b se puede apreciar su flexibilidad sin obstrucciones. Dentro del *conduit* se puede introducir un tipo de manguera que normalmente se obstruye al doblarla.

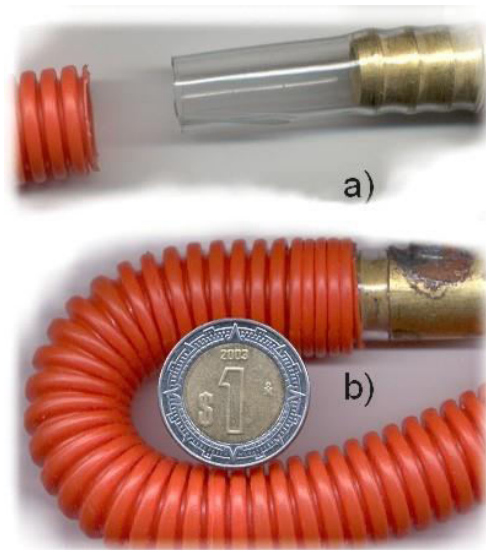


Figura 4.18. *Conduit* usado para evitar obstrucciones

Las dos mangueras no deben enredarse entre sí mientras el dispensador gira. Además, cuando el *conduit* se enrosca (y más aún con una manguera poco flexible dentro), hay un momento de fuerza sobre la flecha del dispensador. Es decir, el *conduit* actúa como un resorte que ejerce una fuerza contraria al movimiento del dispensador.

Para entender la solución a ambas dificultades, es útil analizar la forma que

adopta una manguera en el recorrido del dispensador. La Figura 4.19 es una representación de dicho recorrido en doce posiciones vistas desde la parte inferior de la *división*.

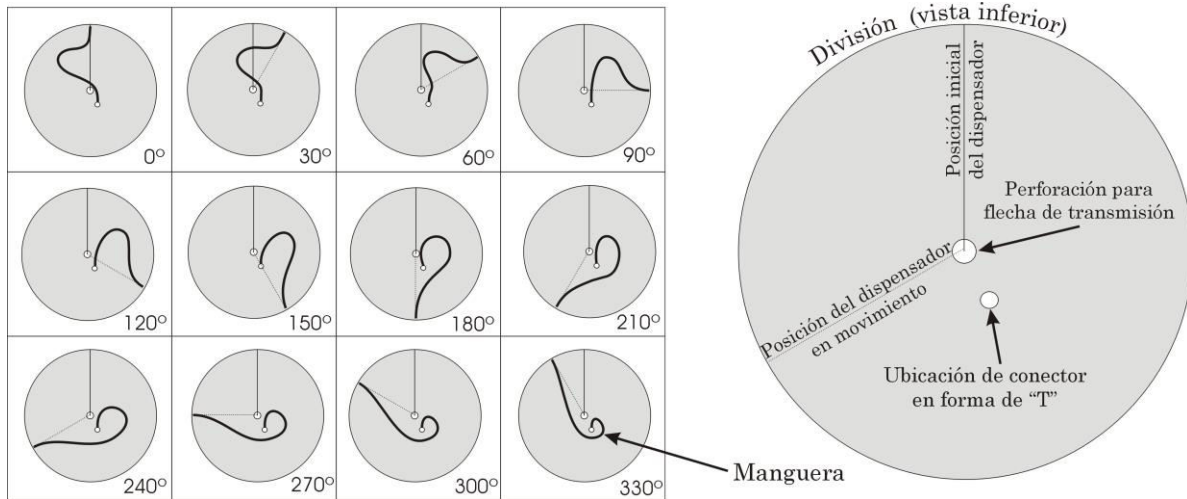


Figura 4.19. Cambio en la forma de una sola manguera en el recorrido del dispensador.

Como se puede observar, conforme se incrementa el ángulo de giro del dispensador, aumenta la deformación de la manguera. Esto implica un incremento

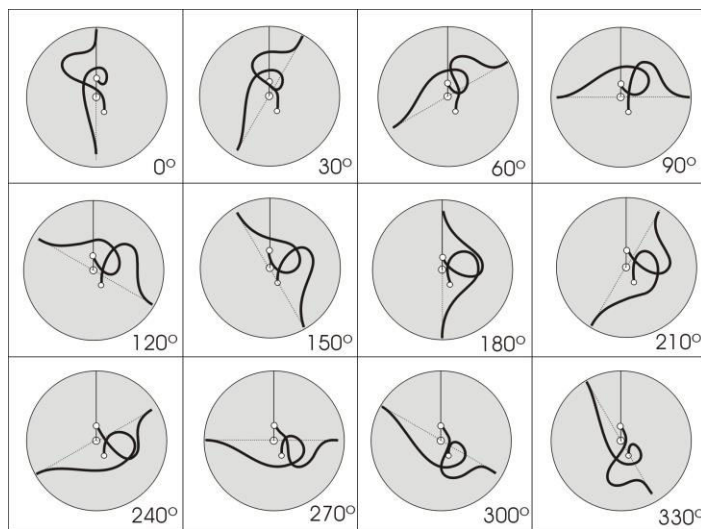


Figura 4.20. Cambio en la forma de las manguera en el recorrido del dispensador.

en la fuerza de oposición directamente proporcional al ángulo giro. Para no duplicar esa fuerza, las terminaciones de las mangueras se colocan de tal modo que mientras una se enrosca, la otra se desenrolla. En la Figura 4.20 se ve la forma que adoptan las dos mangueras para el recorrido del dispensador.

El espacio comprendido entre la parte superior de la *división* y la *cubierta* contiene las tarjetas *Principal* y *de Potencia*, los acumuladores, la transmisión, el motor de posicionamiento y las válvulas. Las dos tarjetas están montadas en una placa de acrílico que se sujeta mediante un resorte y cinchos a la *cubierta*. Las tres válvulas con sus conexiones y la transmisión están fijos a la *división*, como se ilustra en la Figura 4.21.

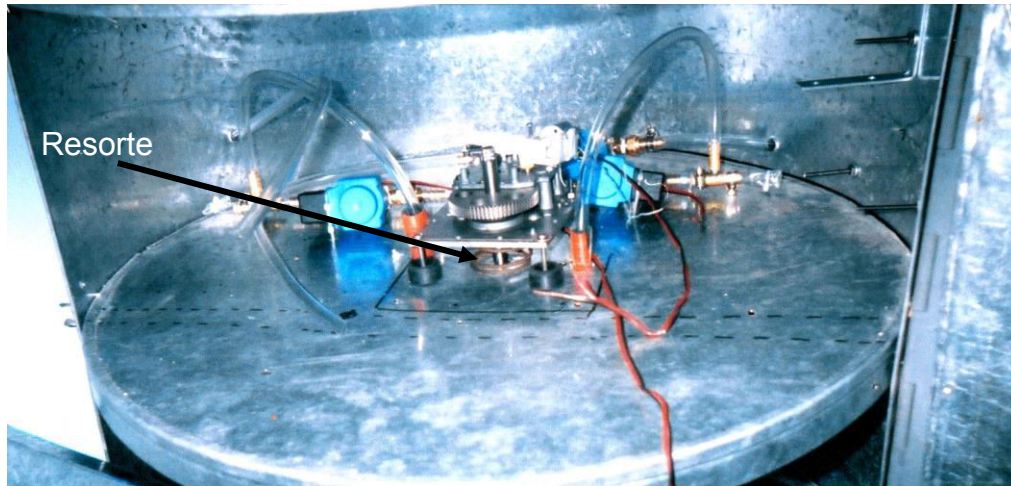


Figura 4. 21. Fotografía de válvulas y transmisión

En esta misma fotografía se ve el resorte que está debajo de la transmisión. La función de éste es amortiguar los impactos que recibe el muestreador en su traslado. También sirve para mantener la distancia entre la *división* y la transmisión cuando se ajustan los tornillos que las sujetan.

El motor de la bomba también se encuentra dentro de este espacio pero fijo a la *base del panel frontal*. Este motor emplea otro resorte para ajuste y amortiguamiento del mismo modo que la transmisión.

En la Figura 4.22 se muestra una simulación tridimensional de la posición de las tarjetas *Principal* y *de Potencia*. Esa parte del muestreador no se puede fotografiar con claridad por la cantidad de cables que obstruyen la visibilidad. Además, la única vía de acceso a esa región es mediante el panel frontal, es decir, no se puede quitar la cubierta superior. Todos los elementos eléctricos del muestreador se conectan a estas dos tarjetas.



A continuación se describe el panel frontal. Sus elementos se dividen en tres conjuntos. El primero tiene que ver con la monitorización y carga de las baterías. Otro grupo está formado por el cabezal de la bomba peristáltica y sus mangueras. El tercero lo integran los controles del proceso. En la Figura 4.23 se muestra un esquema del panel frontal y todos sus elementos.



Figura 4.22. Ubicación de las tarjetas dentro del muestreador

Para monitorear la tensión en ambas baterías se activa el voltmetro mediante el interruptor que está a la izquierda del *Fusible 1*. Con el interruptor a la derecha del *Fusible 2*, se selecciona a cuál de los dos acumuladores se le mide el voltaje. Además se puede recargar la batería seleccionada con ese interruptor mediante los bornes (*Negativo* y *Positivo*). El *Fusible 1* sirve como elemento de protección

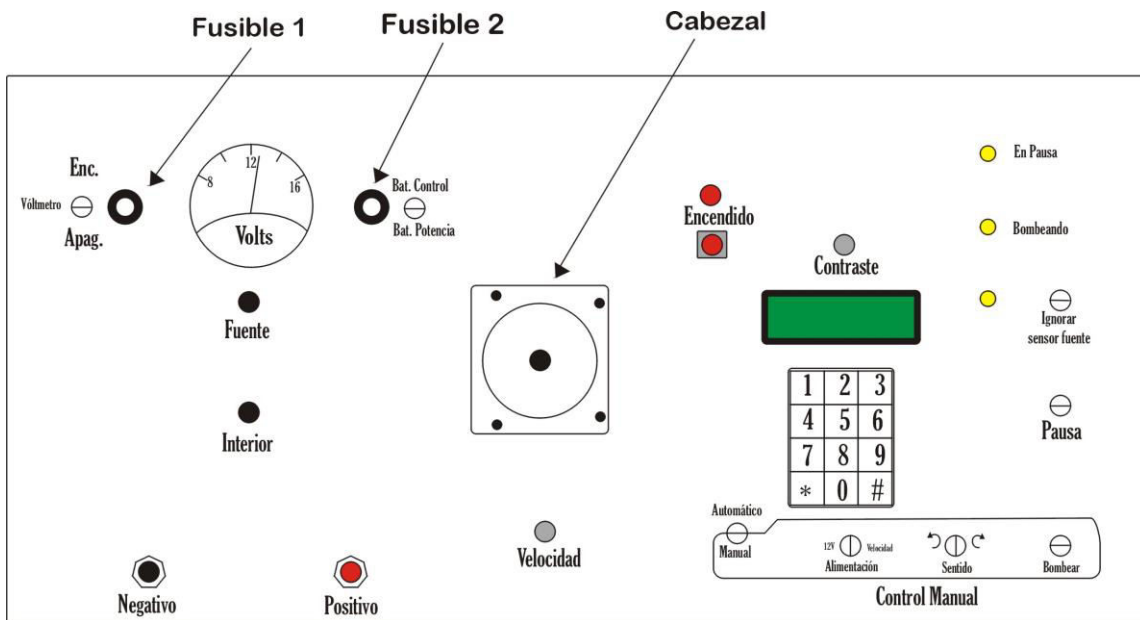


Figura 4.23. Elementos del panel frontal

para la batería de potencia y el *Fusible 2* para la batería de control.

El cabezal de la bomba peristáltica se asegura al panel mediante tres tuercas tipo “mariposa”. El tubo especial para el cabezal se conecta a las dos mangueras que salen al panel frontal. Los dos círculos denominados *Fuente* e *Interior* en la Figura 4.23 indican las perforaciones por donde pasan las mangueras.

El resto del panel de control sirve para controlar el proceso. El botón de *Encendido* permite el paso de corriente a la tarjeta *Principal*. El *contraste* del LCD se ajusta con el potenciómetro con ese nombre. Lo mismo ocurre con el potenciómetro *Velocidad* para el motor de la bomba. El interruptor *Automático / Manual* determina si los tiempos de captura de muestra se realizarán mediante parámetros introducidos mediante el teclado –modo *Automático*- o mediante los tres interruptores dentro de la sección de *Control Manual*.

En el modo *Automático*, de manera secuencial se introducen los parámetros de operación (volumen por colecta, número de frascos a llenar, intervalos de muestreo, tipo de muestra y si se deben purgar los ductos entre muestras o no).

Hay tres interruptores que determinan el bombeo en modo *manual*. Con el interruptor *Alimentación* se selecciona si la tensión de alimentación del motor de la bomba es directamente de +12 V o si es con el control de velocidad (conmutación). Mediante el interruptor *Sentido*, se establece si el bombeo es de la fuente hacia el exterior de muestreador o viceversa. Con el último, *bombeo*, se comienza a bombear un segundo después de que se abre la válvula que habilita la vía entre la fuente y la manguera por donde se purga el muestreador. No es necesario que el operador active algún interruptor para abrir alguna válvula porque el agua que se colecta en modo manual siempre se dirige al exterior del muestreador a través de la válvula tres. La apertura de esa válvula es controlada por la unidad central de procesamiento.

Para evitar daños al sistema, en el modo *manual* no se le permite al usuario activar erráticamente el muestreador directamente desde los interruptores del panel frontal. Es decir, aún en el modo manual, la unidad central de procesamiento se asegura de que esas opciones no dañen alguna parte del muestreador. Por ejemplo, supóngase que el motor gira en un sentido y el usuario cambia de posición el interruptor que indica el *Sentido* de giro. Dado que cambiar abruptamente el sentido de giro daña el sistema, la unidad central de procesamiento ignora esa orden hasta que termine de bombear en una dirección y el operador cambie el interruptor de *Bombear* a la posición de apagado. Cuando el usuario active nuevamente el interruptor *Bombeo*, entonces el cambio de *Sentido* y cualesquier otras opciones se toman en consideración para bombear en conformidad.

La operación en modo *Manual* es útil para ajustar la velocidad del motor de la bomba y con ello regular el caudal antes de empezar a coleccionar las muestras en los frascos. También puede ser usado para coleccionar muestras en recipientes que no caben dentro de los orificios para los frascos. Para comprender mejor el uso del muestreador, véase el “Apéndice H. Manual de usuario” en el que se incluyen detalles sobre la instalación, operación, mantenimiento, guía de solución de problemas, etcétera.

#### **4.9. Pruebas**

Para esta sección se analiza cada bloque del muestreador para determinar si cumple o no con el objetivo para el que fue diseñado. Como se indicó en el capítulo dos, el muestreador está constituido por: interfaz con el usuario, sistema de toma de muestras; monitoreo y detección de errores, algoritmo y unidad central de procesamiento. Sus objetivos también se definen en ese capítulo.

La interfaz con el usuario fue concebida para introducir datos al muestreador e indicar su estado en cualquier tiempo. Mediante el teclado, los interruptores del panel frontal y la pantalla de LCD se cumple dicho objetivo. En la Figura 4.24 se muestran estos elementos. La facilidad de uso de esta interfaz se probó al ser usado correctamente por varias personas tras darles una breve explicación del

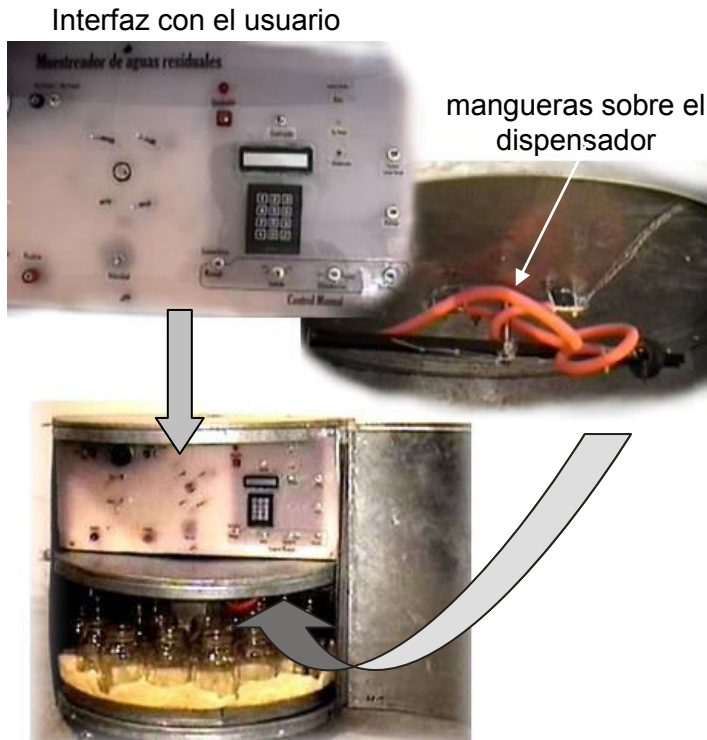


Figura 4.24. Fotografía del muestreador completo<sup>∅</sup>

funcionamiento del muestreador. La explicación no incluye detalles técnicos. En ésta, basta indicar la diferencia entre una muestra simple y una compuesta, que los datos se introducen con la tecla “ ” y, en caso de equivocarse al introducir el dato, se puede borrar con la tecla “\*”. Puede hallar más detalles para la operación del muestreador en el “Apéndice H. Manual de usuario”.

En el modo manual, como se explicó en la sección 4.8, no es posible activar el muestreador de manera que se dañe, dado que el proceso manual es monitoreado por la unidad central de procesamiento. Los interruptores del panel frontal también se pueden activar de manera intuitiva. La única dificultad observada tiene que ver con el ángulo en el que está el LCD respecto al usuario. Puesto que el LCD apunta directamente hacia el frente del muestreador, cuando hay poca luz (como en un espacio abierto después de las 7:00 p.m.) es necesario agacharse hasta el nivel de éste para leerlo con suficiente contraste. Para el diseño definitivo, basta con inclinar el LCD unos 20° hacia arriba (en azimut). Salvo este último detalle, para efectos prácticos, la interfaz con el usuario cumple su objetivo aun en el caso de ser usada por personal no especializado.

El segundo bloque –sistema de bombeo del agua y llenado de botellas– realiza las tareas necesarias para verter el agua en el frasco correcto al recibir una

<sup>∅</sup> En el “Apéndice G. Fotografías del muestreador”, se pueden apreciar mejor las partes mostradas en la Figura 4.24.



orden de la unidad central de procesamiento. La tarjeta principal activa apropiadamente las tres válvulas y el dispensador para dirigir físicamente el agua colectada hasta el frasco que debe contenerla y al exterior del muestreador para purgar los ductos en función de una ruta determinada por la unidad central de procesamiento. En la Figura 4.24 también se muestra la ubicación de las mangueras sobre el dispensador. En la Figura 4.21 se mostró la ubicación de las válvulas y las mangueras de la parte superior de la *división*. Puesto que el sistema de posicionamiento se autocalibra cuando cambia del segundo frasco al tercero, es decir, de  $P_0$  a  $P_1$  en la Figura 3.9, la exactitud de los cambios dependen de la ubicación de los sensores de posición. Análogamente, la exactitud del volumen colectado está directamente relacionado con la posición de los dos sensores para la medición del flujo. Ambas calibraciones dependen de la posición relativa de los sensores, de acuerdo a lo explicado en la sección 3.4. Se midió el tiempo en el cual activa el muestreador ambos mecanismos y los comandos de la unidad central de procesamiento son precisos en un 99%. El 1% se debe al ruido en los sensores que detectan la presencia de agua. Los volúmenes colectados tienen una precisión del 94%. El 6% se debe a variaciones en la velocidad de la bomba durante el proceso. La posición tiene una precisión del 96%. El 4% restante se

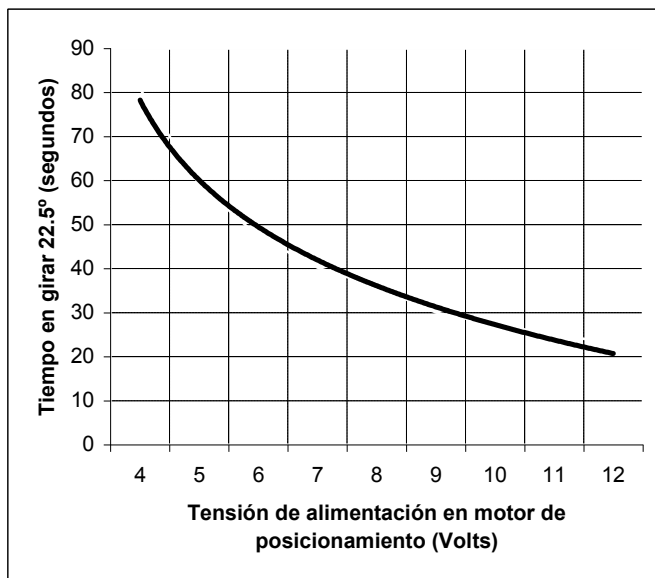


Figura 4.25. Respuesta (posición angular) del dispensador

debe a la variación en el ángulo (azimut) de los imanes respecto a sus interruptores asociados.

En la Figura 4.25 se grafica el tiempo en que tarda en girar el dispensador un ángulo de 22.5° (el requerido para pasar de una posición  $P_n$  a  $P_{n+1}$ ) en función de la tensión de alimentación al motor de posicionamiento. La

tensión que se le aplica a dicho motor es de 8 Volts, lo que implica un tiempo de transición de 36 segundos. Dado que el tiempo entre muestras mínimo es de un minuto, este intervalo es, en general, suficiente. La razón es la siguiente: si la velocidad del motor de la bomba es muy baja, puede que tarde más tiempo el bombeo que el intervalo de espera entre la colecta actual y la siguiente, de ser este el caso, el LCD muestra un mensaje indicando un error en los parámetros de operación. Sin embargo, esto no se debe a una inadecuada respuesta del sistema; es por un error de concordancia entre la velocidad de bombeo y los intervalos de muestreo.

Las válvulas son comerciales, por lo que presentan una alta fiabilidad. La transmisión es de hierro y la barra de dispensador de aluminio. Esto aporta alta resistencia mecánica y requiere poco mantenimiento. Las mangueras no se doblan cuando gira el dispensador, por lo que no hay obstrucciones que puedan dañar el motor de la bomba al frenarlo. Por el tipo de bomba usado y la opción de purga que tiene el muestreador, la muestra no se contamina por entrar en contacto con elementos externos a las mangueras y válvulas.

La potencia del motor de la bomba es de 1/64 hp (caballo de fuerza) y consume una potencia de 18 Watts a su máxima velocidad. Esto permite bombear hasta 5 L/minuto a un metro de profundidad. La corriente del sistema en espera es de 90 mA (la mayor parte del consumo es por los mensajes que se siguen desplegando en el LCD).

Una parte crítica del sistema de llenado es cuando el agua de la fuente se encuentra a una distancia vertical de más de dos metros y medio. Conforme el usuario disminuye la velocidad de la bomba con el potenciómetro del panel frontal, la altura a la que el motor de la bomba puede seguir girando también decrece. Por lo anterior, se debe ajustar la velocidad de bombeo *hasta que la manguera esté en contacto con el agua de la fuente*. Este ajuste se debe hacer con el muestreador operando en modo manual. Es importante hacer notar que el frenado total del motor no se debe a que el sistema no le aporte suficiente voltaje o corriente. Esto

está en función principalmente del tipo de manguera usado<sup>⊗</sup>. La manguera flexible que se usa en el prototipo es sólo para efectos de representación; no es la que comercialmente se vende junto con el cabezal de bomba peristáltica. Cuando se bombea a una altura mayor a dos metros y medio la presión ejercida por el líquido hace que la manguera flexible se cierre. Esa obstrucción es total y no permite que el motor siga girando. En la bibliografía 2 y 16 se muestra toda una guía de selección del tubo en función de los requerimientos de presión y líquido a muestrear. Como el proyecto fue financiado por el tesista, no se adquirió una manguera especial –que es de un costo elevado-.

El monitoreo y detección de errores también funciona adecuadamente. Cuando hay una condición fuera del proceso normal, en el LCD se visualiza el tipo de error y se detiene el proceso. El único error que no puede detectar al instante es un exceso súbito de corriente demandada por el motor de la bomba. Esto es porque no se censa directamente la corriente de ese motor. La unidad central de procesamiento cancela la orden de bombear cuando, después de transcurrido cierto tiempo desde el inicio del bombeo, no detecta que el agua haya llegado a los sensores de presencia de agua. Este error puede ser prevenido al ajustar correctamente la velocidad –o, mejor aún, usando una manguera especial- como se indicó en el párrafo anterior.

Las rutinas que se programaron en el PIC16F877 se depuraron al hacer las pruebas del prototipo. Mientras se realizó el proyecto, las rutinas se probaron de manera independiente hasta obtener los resultados deseados, pero al integrar todas las subrutinas al programa principal, el programa ejecutaba ciertas localidades de memoria en un orden distinto al esperado. El problema fue que por la alta modularidad del programa, se sobrepasaron los ocho niveles de pila del PIC16F877. Para solucionar esto, fue necesario rediseñar algunas rutinas para disminuir el número de saltos a otras funciones.

---

<sup>⊗</sup> Cuando se opera el muestreador en una baja velocidad se aporta un voltaje promedio menor al motor y eso pudiera frenarlo. Con un ajuste en el potenciómetro de velocidad se soluciona este problema.

## Conclusiones

### Generales

- Se logró el objetivo de este trabajo de tesis, a saber, diseñar y construir un prototipo de un sistema de control automático programable capaz de coleccionar muestras de agua simples y compuestas para proyectos de investigaciones o de monitoreos ambientales.
- Se probó afirmativamente la hipótesis planteada: “es posible diseñar y construir localmente un muestreador automático competitivo con los equipos disponibles en el mercado nacional, que generalmente son de importación”.

### Particulares

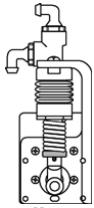
- La mayoría de los muestreadores comerciales sólo tienen capacidad para coleccionar muestras compuestas y los que pueden coleccionar muestras simples son de un costo elevado (alrededor de 2900 dólares E.U.A.). El muestreador construido es capaz de coleccionar 24 litros de agua como muestras simples o compuestas.
- Costo de unos 1200 dólares. Con las simplificaciones logradas en el diseño, fabricar otro igual costaría alrededor de 900 dólares (considerando sólo materiales)
- El sistema de posicionamiento diseñado se autocalibra para controlar cualquier motor de DC con una tensión de alimentación menor o igual a 12V y una corriente menor a 500 mA sin hacer *ninguna* modificación al software ni a ninguna tarjeta del sistema, lo que permite su aplicación para otros motores.
- El control de velocidad de la bomba también se autocalibra para controlar cualquier motor de DC con una tensión de alimentación menor o igual a 12V y una corriente menor a 2A sin hacer *ninguna* modificación al software ni a ninguna tarjeta del sistema, lo que permite su aplicación para otros motores.

- La configuración del panel de control y el modo de operación intuitivo facilita su operación aún por personal no técnico.
- Elementos de autoprotección del muestreador tanto electrónicos como vía software que evitan que el operador use el muestreador fuera de los parámetros de operación.
- Sistema de monitoreo y detección de errores que protegen al sistema de errores internos en el funcionamiento de componentes, evitando así que la falla de un componente desencadene fallas en otros elementos.
- El torque y velocidad de ambos motores satisface los requerimientos de diseño. La potencia del motor de la bomba es de 1/64 hp que es suficiente para bombear el agua desde una profundidad máxima de 2.5 metros. Su velocidad variable permite coleccionar muestras desde un flujo casi de goteo hasta 5 Litros/minuto.
- El tiempo de operación del muestreador está limitado más por cuestiones químicas (que la muestra se altere al pasar muchas horas) que por requerimientos electrónicos.
- Precisión en el volumen: 94% a 1m de altura.
- Opción de operación automática o manual
- El sistema no pierde precisión con el envejecimiento de los motores
- Todas las variables del ciclo de muestreo son programadas por el usuario.
- El muestreador presenta alta resistencia mecánica debido a la estructura y amortiguamiento de los componentes.

Como propuesta para mejorar este proyecto se plantea la implementación de un control de temperatura para conservar las muestras y que de ese modo se incremente aun más la variedad de casos en los que se pueda emplear este muestreador.

## Bombas - Información general

### Pump Types and Definitions <sup>(2,16)</sup>



**Bellows**

**Bellows**—These pumps move fluid through a reciprocating bellows cavity that is coupled to a driving rod. Pumps are found in the "Metering" and "Positive Displacement" pump sections.

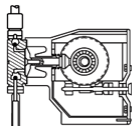
#### Centrifugal—



**Centrifugal**

A rotating vanned disk attached to a drive shaft moves fluid without pulsation as it spins. The outlet can be restricted without damaging the pump.

#### Diaphragm—



**Diaphragm**

Pulsations of one or two flexible diaphragms displace liquid while check valves control the direction of the fluid flow.

**Drum**—A motor attached to an impeller is mounted on top of a drum. The impeller pushes fluid up the tube set when submersed.



**Flexible liner**

**Flexible Liner**—The outer surface of an inert liner and inner surface of a rotating body block create a fluid channel used to gently pump fluids without pulsation.

#### Flexible Impeller—



**Flexible impeller**

Elastomeric impeller traps fluid between the impeller blades and a molded housing that sweeps fluid through the pump housing.

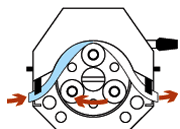
#### Gear—



**Gear**

Fluid is trapped between the teeth of two or three rotating gears. Gear pumps are good for high system-pressure applications and are often magnetically driven.

**Hand**—Manually powered pumps of various designs used for short term or repetitive liquid transfer applications.



**Peristaltic**

**Peristaltic (tubing)**—Fluid only contacts the tubing—rollers of a motor-driven pump head push the fluid along the tubing as they rotate. Noncontaminating and easy to clean.

**Piston**—Rotating pistons of varying stroke lengths pump fluids through check valves. Good for high-pressure applications.

**Progressing Cavity**—The cavity between a screw-style rotor and stator force high-viscosity and particulate-filled fluids through the pump.

**Pressure Washer**—Provide high-pressure water, ideal for cleaning and sanitizing.

**Rotary Lobe**—Lobe-shaped rotors gently fill with and dispense fluids containing soft particles, solids, and highly viscous fluids. Sanitary construction is perfect for use in the food and beverage industries.

**Rotary Vane**—Operate like flexible impeller pumps but use an impeller made of a rigid material—useful for high-pressure or low-shear applications.

**Syringe**—Infusion or withdrawal syringe pumps provide high pressure and high accuracy for applications such as HPLC.

**Submersible/Immersible**—Centrifugal pumps in a specialized housing used for emptying tanks or sumps.

Table A.1. Guide to select a liquid pump

Pump type	Max flow ranges		Max pressure	Self-priming	Pulseless flow	Fluid viscosity	Particulate matter	Run dry	Advantages
	GPM	L/min							
<b>Air-operated diaphragm</b>	5.0 to 225	19.0 to 851	Up to 125 psi	Excellent	Fair	Medium	Yes	Yes	Use for highly viscous or particulate-laden fluids and where electric is not available
<b>Bellows</b>	0.008 to 26.4	0.03 to 100	Up to 73 psi	Good	Poor	Medium	Yes	Yes	Can pump liquids or gases
<b>Centrifugal</b>	2.3 to 1200	8.7 to 4542	Up to 275 psi	Poor	Excellent	Light	No	No	Fluid transfer at high flow rates and low pressures
<b>Diaphragm</b>	0.003 to 5.2	0.01 to 19.7	Up to 300 psi	Good	Poor	Medium	No	Yes	High-accuracy; for applications such as pH/ORP control
<b>Double-diaphragm</b>	1.0 to 4.0	3.79 to 15.1	Up to 95 psi	Excellent	Fair	Medium	Yes	Yes	Use for viscous or particulate-laden fluids

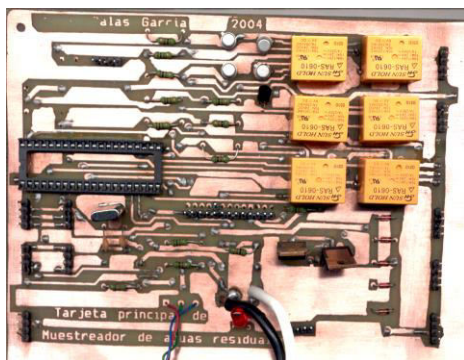
<b>Drum</b>	6.0 to 63.0	22.7 to 238	Up to 35 psi	Poor	Excellent	Medium	No	No	Economical. No electrical parts
<b>Flexible impeller</b>	3.8 to 50.0	14.4 to 189	Up to 60 psi	Excellent	Excellent	Light	No	No	Low-cost utility pump
<b>Flexible liner</b>	1.0 to 10.0	3.8 to 37.8	Up to 50 psi	Excellent	Excellent	Medium	Yes	Yes	Gentle pumping action uses no seals—pulseless, can run dry
<b>Gear</b>	0.006 to 74.0	0.026 to 280	Up to 1500 psi	Poor	Excellent	Medium	No	No	Pulseless flow at high pressures
<b>Hand</b>	2.0 to 48	7.6 to 181.7	—	Good	Fair	Light	No	No	Economical. No electrical parts
<b>Hose</b>	0.66 to 68	2.5 to 257.4	Up to 220 psi	Excellent	Poor	Medium	Yes	Yes	Noncontaminating; Use for high flow and high pressure applications
<b>Ismatec™ peristaltic</b>	0.00002 to 1.43	0.00008 to 5.4	Up to 22 psi	Excellent	Fair	Heavy	Yes	Yes	Noncontaminating; high accuracy; available in a wide variety of tubing materials;
<b>Manostat® peristaltic</b>	0.0008 to 1.3	0.003 to 5.0	Up to 25 psi	Excellent	Fair	Heavy	Yes	Yes	Noncontaminating; available in a wide variety of pump materials
<b>Masterflex peristaltic</b>	0.0000034 to 12.0	0.013 to 45	Up to 100 psi	Excellent	Fair	Heavy	Yes	Yes	Noncontaminating; available in a wide variety of pump materials
<b>Nutating disc</b>	0.25 to 1.0	0.95 to 3.8	Up to 15 psi	Good	Poor	Medium	Yes	Yes	Teflon® wetted parts; positive displacement
<b>Piston</b>	0.004 to 107	0.015 to 405	Up to 5000 psi	Good	Poor	Medium	No	Yes	Highest pressure and accuracy; ideal for HPLC applications
<b>Pressure Washer</b>	2.0 to 4.0	7.6 to 15.1	Up to 3000 psi	N/A	Excellent	Light	No	No	High pressure capabilities; portability, heating
<b>Progressing cavity</b>	0.5 to 13	1.9 to 49	Up to 100 psi	Fair	Excellent	Very heavy	Yes	No	Pulseless flow for highly viscous or particulate-laden fluids
<b>Rotary vane</b>	0.75 to 4.3	2.8 to 16.3	Up to 240 psi	Fair	Very good	Light	No	No	High-pressure capabilities; low shear
<b>Submersible</b>	3.0 to 180	11.4 to 681.3	Up to 50 psi	Poor	Excellent	Light	No	No	Use for emptying tanks or sumps
<b>Syringe</b>	0.002 to 0.04	0.008 to 0.15	Up to 40 psi	N/A	Excellent	Light	No	Yes	Low flow rates at high pressures



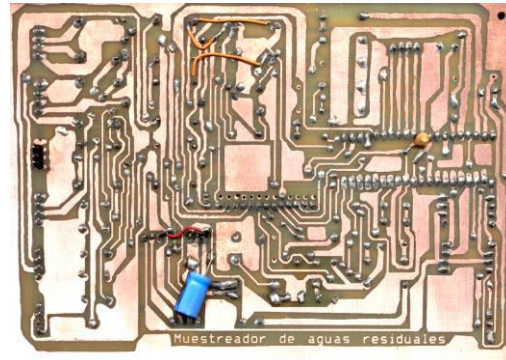
## Diagramas eléctricos

En las siguientes seis páginas aparecen los diagramas esquemáticos de las dos tarjetas construidas. En el recuadro inferior derecho de cada página se encuentran varias leyendas para su clasificación.

Ambas tarjetas son circuitos impresos a doble cara, esto aumenta el grosor de las pistas, evitando así calentamiento o limitar la corriente. La primer tarjeta se denomina “Tarjeta principal”. En la figura C.1 se muestran dos fotografías de dicha tarjeta.



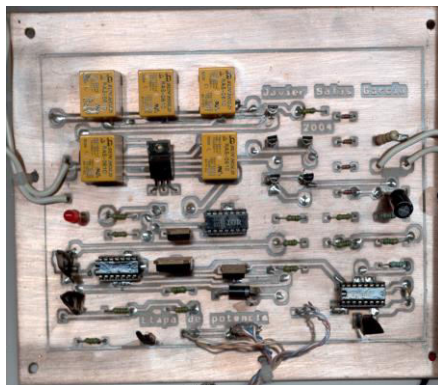
(a) Vista anterior



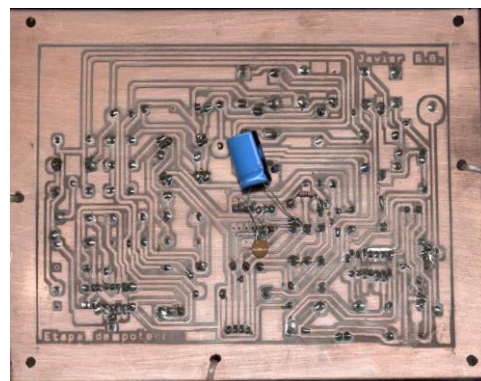
(b) Vista posterior

Figura C.1. “Tarjeta Principal”

En la figura C.2 se muestran dos fotografías de la “Tarjeta de Potencia”.



(a) Vista anterior



(b) Vista posterior

Figura C.2. “Tarjeta de Potencia”

Hoja de especificaciones de válvulas empleadas

**Danfoss** INSTRUCTIONS  
EV210B 1.5, 2, 3, 4,5 NC/NO

520B1050

**NC**

DANFOSS A32U1242.10

On

Off

042N  
018Z

018F

Type	Code no.	
	FKM	EPDM
EV210B 1.5, 2, 3, 4, 5	032U2003	032U6000

Danfoss A32U134.11.21

520B1050

**NO**

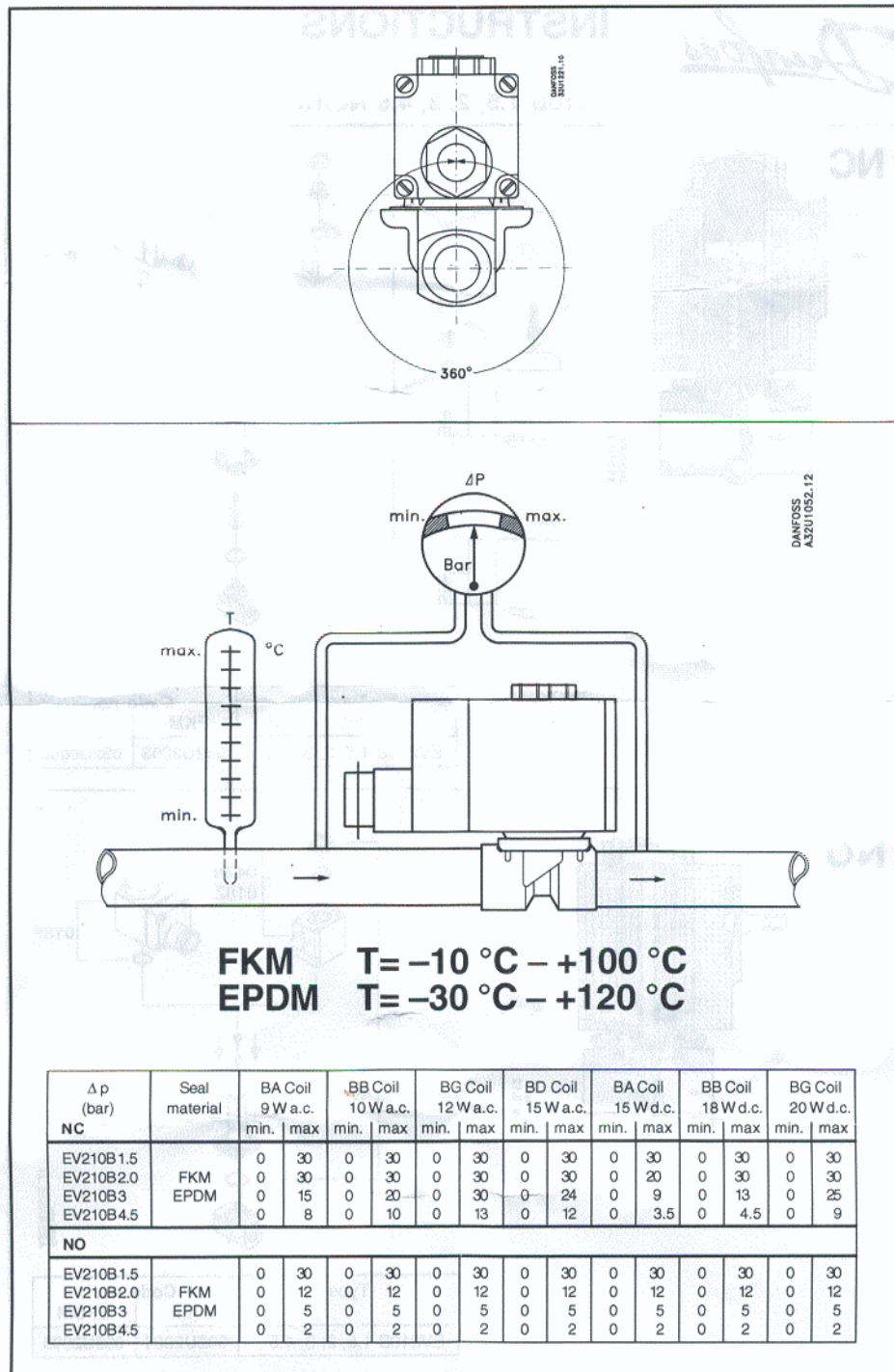
Danfoss 32U978.12

042N  
018Z

018F

Type	Code no.	
	FKM	EPDM
EV210B 1.5, 2, 3, 4, 5	032U2004	032U2005

Danfoss A32U975.15.21



**Principal.asm**

```

list P = 16F877
include "P16F877.inc"
include "mensajes.inc"
include "LCD.inc"
include "control.inc"
include "tiempos.inc"
include "interrup.inc"
include "Exterior.inc"
include "variables.inc"

__CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF & _BODEN_ON & _PWRTE_ON &
_XT_OSC & _WRT_ENABLE_OFF & _LVP_OFF & _DEBUG_OFF & _CPD_OFF

org 0x00
    goto Principal
org 0x04
    goto Interrupciones
org 0x10

Principal
    call Conf_puertos
    call beep
    call Retraso2
    call Inicia_LCD
    call Borra_pantalla
    movlw 0xC0
    movwf cursor_1
    call lee_idioma

Sel_modo
    btfsc PORTD,7
    goto Automatico

Manual
    call beep
    call Retraso2
    call beep
    call Borra_pantalla
    movlw .31 ; "muestreador en modo manual"
    call escribe
    btfsc PORTD,7
    goto Automatico

Manual_1
    btfsc PORTD,6
    goto M_1
    bcf PORTB,4
    goto M_2

M_1

```

```

                bsf          PORTB,4      ; sem_mb

M_2
                btfsc       PORTD,5
                goto        M_3
                bcf         PORTD,3
                goto        M_4

M_3
                bsf         PORTD,3

M_4
                btfsc       PORTD,7
                goto        Automatico
                btfss       PORTD,4
                goto        Manual_1
                call        Retraso2
                bsf         PORTB,7
                call        Borra_pantalla
                movlw       .13
                call        escribe
                call        beep
                bsf         PORTB,1

Encendido
                btfsc       PORTD,4
                goto        Encendido
                bcf         PORTB,1
                call        Retraso2
                bcf         PORTB,7
                call        Retraso2
                call        Retraso2
                goto        Sel_modo

Automatico
                call        Direccion_m_posic
                movlw       .90
                movwf       Tol
                movlw       0x02
                call        escribe
                call        Leer_dec
                movf         leido_dec,0
                movwf       Vol
                call        Borra_pantalla
                movlw       0x03
                call        escribe
                call        Leer_dec
                movf         leido_dec,0
                movwf       No_muestras
                call        Valida_datos
                movlw       .18

```

```

        movwf    aux
        call     Lee_Si_iguales
        call     Lee_Tiempos
        movlw   .5
        movwf   aux
        call     Lee_Si_Lav_Ext
        movlw   .9
        movwf   aux
        call     Lee_Simple

;***** FIN DE ENTRADA DE DATOS ****
;*****COMIENZA PROCESO ****
        call     inicializa_timer0
funciones
        movlw   0x01
        movwf   frasco
        movwf   muestra
        call     Reset_reloj
P_Marca_1
        clrf    mover
        call     Purga_Espera_Purga
        call     Retraso2
        call     beep
        call     Retraso2
        call     beep
        call     Retraso2
        call     beep
        movlw   0x01
        movwf   valvula_1
P_Marca_3
        call     Llenar_siguiete
        movlw   0x01
        xorwf   simple,0
        btfsc   STATUS,Z
        goto    P_Marca_7
        movf    Vol,0
        movwf   Lleno
        clrf    Lav_Ext
P_Marca_4
        movf    Lleno,0
        addwf   Vol,0
        movwf   Lleno
        movlw   .10
        movwf   aux_dec
        movf    Lleno,0
        bcf     STATUS,C
        subwf   aux_dec,0

```

```

                btfss    STATUS,C
                goto     P_Si_5
                call     Purga_Espera_Purga
                movlw    0x01
                movwf    valvula_1
                call     Llenar_siguiete
                goto     P_Marca_4
P_Si_5
                clrf     Lleno
                incf     frasco
P_Marca_5
                movf     Lleno,0
                addwf   Vol,0
                movwf   Lleno
                movf     Lleno,0
                bcf     STATUS,C
                subwf   aux_dec,0
                btfss   STATUS,C
                goto     P_Si_6
                call     Purga_Espera_Purga
                movlw    0x01
                movwf    valvula_2
                call     Llenar_siguiete
                goto     P_Marca_5
P_Si_6
                clrf     Lleno
                incf     frasco
P_Marca_6
                movf     Lleno,0
                addwf   Vol,0
                movwf   Lleno
                movf     Lleno,0
                bcf     STATUS,C
                subwf   aux_dec,0
                btfss   STATUS,C
                goto     P_Si_7
                movlw    0x01
                movwf    mover
                call     Purga_Espera_Purga
                movlw    0x01
                movwf    valvula_2
                call     Llenar_siguiete
                goto     P_Marca_6
P_Si_7
                incf     frasco
                goto     P_Marca_8
P_Marca_7

```

```

        incf      frasco
        call     Purga_Espera_Purga
        movlw   0x01
        movwf   valvula_2
        call     Llenar_siguiete
        incf      frasco
        movlw   0x01
        movwf   mover
        call     Purga_Espera_Purga
        movlw   0x01
        movwf   valvula_2
        call     Llenar_siguiete
        incf      frasco
P_Marca_8
        movf     No_muestras,0
        subwf   frasco,0
        btfss   STATUS,C
        goto    P_Marca_1
        call    Borra_pantalla
        movlw   .17
        call    escribe
P_Marca_9
        return
Termina_principal
        goto    Termina_principal
        org    0x200
        end

```

---

### Mensajes.inc

```

        org    0x0800

Mensaje_0a
        movf   indice,W
        addwf  PCL
        DT " Posicionando", 0h
Mensaje_0b
        movf   indice, 0
        addwf  PCL
        DT "plataforma...", 0h
Mensaje_1a
        movf   indice, 0
        addwf  PCL
        DT "Espanol = 1", 0h
Mensaje_1b
        movf   indice, 0

```



```

    addwf PCL
    DT "English = 0", 0h
Mensaje_2a
    movf indice, 0
    addwf PCL
    DT "Volumen/muestra? ", 0h
Mensaje_2b
    movf indice, 0
    addwf PCL
    DT "    decilitros", 0h
Mensaje_3a
    movf indice, 0
    addwf PCL
    DT "No. de frascos?", 0h
Mensaje_3b
    movf indice, 0
    addwf PCL
    DT "    0<N<25", 0h

```

[...Los mensajes 4a hasta 30a se omiten porque siguen el mismo patrón...]

```

Mensaje_31a
    movlw High($
    movwf PCLATH
    movf indice, 0
    addwf PCL
    DT " Muestreador ", 0h
Mensaje_31b
    movlw High($
    movwf PCLATH
    movf indice, 0
    addwf PCL
    DT "en modo manual", 0h

```

```

; *****
    org          0xCC0

```

```

escribe_m
    bcf          STATUS,0
    incf         mensaje,0
    movwf       mensaje_R2
    rlf         mensaje
    rlf         mensaje
    rlf         mensaje

```

```

regresa_1      clrf      indice
               call      Tabla_mens
               movf      caracter, 0
               xorlw    0x00
               btfsc    STATUS,Z
               goto     fin_1
               movlw    0x00
               movwf    PCLATH
               call     Enviar_Dato
               movlw    0x08
               movwf    PCLATH
               incf     indice
               goto     regresa_1

fin_1          movlw    0x00
               movwf    PCLATH
               call     cambio_reng
               movlw    0x08
               movwf    PCLATH
               clrf     indice

regresa_2     call      Tabla_mens2
               movf      caracter, 0
               xorlw    0x00
               btfsc    STATUS,Z
               goto     in_2
               movlw    0x00
               movwf    PCLATH
               call     Enviar_Dato
               movlw    0x08
               movwf    PCLATH
               incf     indice
               goto     regresa_2

fin_2         return

```

```
; *****
```

```

Tabla_mens
movlw High($
movwf PCLATH
movf  mensaje,0
addwf PCL,0
btfsc STATUS,0
incf PCLATH

```

```
    movf     mensaje,0
    addwf   PCL

    i=0
    while i < .32
        mens_#v(i)a
        movf     Idioma,0
        movwf   PCLATH
        call    Mensaje_#v(i)a
        movwf   caracter
        movwf   PORTC
        movlw   0x08
        movwf   PCLATH
        return

    i+=1
    endw
; Fin de tabla de primer renglón
; Comienzo de tabla de mensajes para segundo renglón
```

Tabla\_mens2

```
    movlw   High($
    movwf   PCLATH
    movf     mensaje,0
    addwf   PCL,0
    btfsc   STATUS,0
    incf    PCLATH
    movf     mensaje,0
    addwf   PCL

    i=0
    while i < .32
        mens_#v(i)b
        movf     Idioma,0
        movwf   PCLATH
        call    Mensaje_#v(i)b
        movwf   caracter
        movwf   PORTC
        movlw   0x08
        movwf   PCLATH
        return
    i+=1
    endw
```

---

```

LCD.inc
    org    0x202
Reng_1      equ    B'01111111'
Reng_2      equ    B'10111111'
Reng_3      equ    B'11011111'

Col_1       equ    3
Col_2       equ    2
Col_3       equ    1
Col_4       equ    0

;*****
;
; RUTINAS PARA ENVÍOS DE MENSAJE
; *****
cambio_reng
    movlw   0xC0
    movwf   PORTC
    call    Enviar_Com
    return
; *****
Borra_pantalla
    movlw   0x01
    movwf   PORTC
    call    Enviar_Com
    return
; *****
escribe
    movwf   mensaje
    movf    Idioma,0
    movwf   PCLATH
    call    escribe_m
    movlw   0x00
    movwf   PCLATH
    return

;*****
;
; *****
monitor_columnas
    movlw   Reng_1
    movwf   PORTC
    btfss  ORTC,Col_1
    retlw  0x0F3
    btfss  ORTC,Col_2
    retlw  0x09
    btfss  PORTC,Col_3
    retlw  0x06
    btfss  PORTC,Col_4
    retlw  0x03

```

```

    movlw    Reng_2
    movwf    PORTC
    btfss    PORTC,Col_1
    retlw    0x00
    btfss    PORTC,Col_2
    retlw    0x08
    btfss    PORTC,Col_3
    retlw    0x05
    btfss    PORTC,Col_4
    retlw    0x02
    movlw    Reng_3
    movwf    PORTC
    btfss    PORTC,Col_1
    retlw    0xFA
    btfss    PORTC,Col_2
    retlw    0x07
    btfss    PORTC,Col_3
    retlw    0x04
    btfss    PORTC,Col_4
    retlw    0x01
    retlw    0xFF
    return
;-----

Leer_Tecla
    bsf     STATUS, RP0
    movlw   0x0F
    movwf   TRISC
    bcf     STATUS, RP0
explora
    call    monitor_columnas
    movwf   Tecla
    xorlw   0xFF
    btfsc   STATUS,2
    goto    explora
    bsf     STATUS, RP0
    movlw   0x00
    movwf   TRISC
    bcf     STATUS, RP0
    movlw   0x01
    movwf   PORTB
    movf    Tecla, 0
    addlw   0x30
    movwf   PORTC
    call    Retraso2
    movlw   0x00

```

```

        movwf    PORTB
        call     Enviar_Dato
        call     Retraso2
fin_rut_Tecla
        return
;***** Rutina de envío de comando *****
Enviar_Com
        movlw   0x01
        movwf   PORTE
        call    Retraso
        movlw   0x04
        movwf   PORTE
        call    Retraso
        return
;***** Rutina de envío de dato ;*****
Enviar_Dato
        movlw   0x05
        movwf   PORTE
        call    Retraso
        movlw   0x04
        movwf   PORTE
        call    Retraso
        movlw   0x00
        movwf   PORTE
        return
;*****
; Rutina para leer dos dígitos (decimales) del teclado y guardarlos en formato hexadecimal
Leer_dec
        ; Posiciona el cursor en segundo renglón, primer columna y borra las siguientes
        ; tres posiciones y regresa a segundo renglón, primer columna

        movf    cursor_1,0
        movwf   PORTC
        call    Enviar_Com
        movlw   0x80
        movwf   PORTC
        call    Enviar_Dato
        movlw   0x80
        movwf   PORTC
        call    Enviar_Dato
        movlw   0x80
        movwf   PORTC
        call    Enviar_Dato
        movf    cursor_1,0
        movwf   PORTC
        call    Enviar_Com
;Primer caracter

```

```

call      Leer_Tecla ; explora el teclado y devuelve la 'Tecla' pulsada
movf     Tecla,0
xorlw   0xFA      ; ¿Es la tecla '*'?
btfsc   STATUS,Z
goto    Leer_dec  ; No es válido y va a borrar la pantalla

movf     Tecla,0
xorlw   0xF3      ; ¿Es la tecla '#' ?
btfsc   STATUS,Z
goto    Leer_dec  ; Tampoco es válida como primer caracter
movf     Tecla,0
movwf   digito_1  ; tecla es algún dígito del 0 al 9
; Segundo caracter
call     Leer_Tecla ; explora el teclado y devuelve la 'Tecla' pulsada
movf     Tecla,0
xorlw   0xFA      ; ¿Es la tecla '*'?
btfsc   STATUS,Z
goto    Leer_dec  ; Para corregir, va a borrar la pantalla

movf     Tecla,0
xorlw   0xF3      ; ¿Es la tecla '#' ?
btfsc   STATUS,Z
goto    fin_vol_1dig ; La cantidad es de solo un dígito
movf     Tecla,0
movwf   digito_2  ; tecla es algún dígito del 0 al 9
goto    fin_vol_2dig

fin_vol_1dig
movf     digito_1,0
movwf   leído_dec
goto    fin_vol

fin_vol_2dig
movf     digito_1,0
movwf   aux
rlf     digito_1 ; las tres instrucciones " rlf " equivalen
rlf     digito_1 ;a multiplicar por 8 a "digito_1"
rlf     digito_1,0
addwf   aux,0
addwf   aux
movf     digito_2,0
addwf   aux,0
movwf   leído_dec
;lee el tercer dígito

call     Leer_Tecla ; explora el teclado y devuelve la 'Tecla' pulsada
movf     Tecla,0
xorlw   0xFA      ; ¿Es la tecla '*'?

```

```

    btfsc    STATUS,Z
    goto     Leer_dec    ; Para corregir, va a borrar la pantalla

    movf     Tecla,0
    xorlw    0xF3        ; ¿Es la tecla '#' ?
    btfsc    STATUS,Z
    goto     fin_vol     ; La cantidad es de dos dígitos
    goto     Leer_dec
fin_vol
    return

```

```

;*****

```

```

Envia_2digitos
    movf     aux_H,0
    movwf    aux_1
    call     ajuste_frasco
    movf     aux_dec,0
    movwf    PORTC
    call     Enviar_Dato
    movf     aux_uni,0
    movwf    PORTC
    call     Enviar_Dato
    return

```

```

;*****

```

---

```

Control.inc
    org     0x320
Lee_Si_iguales
    call    Borra_pantalla
    movf    aux, 0
    call    escribe
pide_1
    movlw   0xCD
    movwf   PORTC
    call    Enviar_Com
    movlw   0x80
    movwf   PORTC
    call    Enviar_Dato
    movlw   0x80
    movwf   PORTC
    call    Enviar_Dato
    movlw   0xCD
    movwf   PORTC
    call    Enviar_Com
    call    Leer_Tecla

```



```

    movf      Tecla,0
    xorlw    0xFA      ; ¿Es la tecla '*'?
    btfsc   STATUS,Z
    goto     pide_1   ; No es válido y va a borrar los espacios escritos pantalla

    movf      Tecla,0
    xorlw    0xF3    ; ¿Es la tecla '#' ?
    btfsc   STATUS,Z
    goto     pide_1   ; No es válida como primer caracter
    movf      Tecla,0
    xorlw    0x01      ; ¿Es la tecla '1'?
    btfsc   STATUS,Z
    goto     pide_2_Si ; la tecla fue '1'
    goto     pide_2_No

pide_2_Si
    movlw    0x01
    movwf    iguales
    goto     fin_pide
pide_2_No
    movlw    0x00
    movwf    iguales
    goto     fin_pide
fin_pide
    call     Leer_Tecla
    movf      Tecla,0
    xorlw    0xFA      ; ¿Es la tecla '*'?
    btfsc   STATUS,Z
    goto     pide_1   ; No es válido y va a borrar los espacios escritos pantalla
    movf      Tecla,0
    xorlw    0xF3    ; ¿Es la tecla '#' ?
    btfsc   STATUS,Z
    goto     acabar_pide
    goto     pide_1

acabar_pide
    return

```

```
; *****
```

```

Lee_Tiempos
    call     Borra_pantalla
    movlw    0x01
    movwf    frasco
    xorwf    iguales,0
    btfsc   STATUS,Z
    goto     Si_1
    goto     No_1

```

Si\_1

```
i=1
movlw    .4
call    escribe
movlw    0xCA
movwf    cursor_1
call    Leer_dec
movf     leído_dec,0
movwf    Tiempo_1
while   i < .25
```

```
        movwfi+65
```

```
i+=1
endw
goto   marca_3
```

No\_1

```
movlw    .19
call    escribe
movlw    0x01
movwf    Intervalo ;aux_1
movlw    0x66
movwf    FSR
```

repite\_No\_1

```
movlw    0xC1
movwf    PORTC
call    Enviar_Com
movf     Intervalo,0
movwf    aux_1
call    ajuste_frasco
movf     aux_dec,0
movwf    PORTC
call    Enviar_Dato
movlw    0xC2
movwf    PORTC
call    Enviar_Com
movf     aux_uni,0
movwf    PORTC
call    Enviar_Dato
movlw    0xC6
movwf    cursor_1
call    Leer_dec
```

```
; dejar " leído_dec" en 0x (66, 67, ...7E)
```

```
movf     leído_dec,0
movwf    INDF
```

```

    incf      FSR
    incf      Intervalo ;aux_1
    incf      No_muestras,0
    xorwf    Intervalo,0 ;aux_1,0
    btfsc    STATUS,2
    goto     marca_3
    goto     repite_No_1
marca_3
    return

; *****
; Devuelve 30, 31 ó 32 en variable aux_dec ("0" a "2" en ascii dependiendo del valor
; hex. de "aux_1" y 30, 31, 32...39 ("0" a "9" en Ascii) en variable "aux_uni".

ajuste_frasco
    movlw    0x00
    movwf    indice
    movwf    aux_2
sigue_cuenta
    movlw    0x0F
    andwf    indice,0
    movwf    aux_uni
    movlw    0x0A
    xorwf    aux_uni,0
    btfsc    STATUS,2
    goto     incrementa_6
    goto     incrementa_1
incrementa_6
    movlw    0x06
    addwf    indice
incrementa_1
    incf      indice
    incf      aux_2
    movf     aux_2,0
    xorwf    aux_1,0
    btfsc    STATUS,2
    goto     termina_cuenta
    goto     sigue_cuenta
termina_cuenta
    movlw    0x0F
    andwf    indice,0
    addlw    0x30
    movwf    aux_uni ; "aux_uni" en formato Ascii

    movlw    0xF0
    andwf    indice,0

```

```

    movwf    aux_dec
    swapf   aux_dec
    movf    aux_dec, 0
    addlw   0x30
    movwf   aux_dec           ; "aux_dec" en formato Ascii

;Lo siguiente es para el caso especial
; cuando "aux_uni" es "0x3A" (":" en Ascii) que debe ser cambiado
; por "0x30" ("0" en Ascii) y aumentar en una unidad a "aux_dec"

    movlw   0x3A
    xorwf   aux_uni,0
    btfss   STATUS,2           ; Evalúa si es caso esp.
    goto    fin_ajuste_frasco ; No es caso especial
    movlw   0x30               ;Hace los dos ajustes
    movwf   aux_uni           ;a "aux_uni" y a
    incf    aux_dec           ; "aux_dec"
fin_ajuste_frasco
    return

; *****
                                tiempos.inc

    org     0x450

Interrupciones
    movwf   Wtemp
    movf    PCLATH,0
    movwf   PCLATH_temp
    clrf    PCLATH
    incf    desbordam
    movlw   .122
    xorwf   desbordam,0
    btfsc   STATUS, Z
    goto    Inc_Segundo
    goto    No_incremento
Inc_Segundo
    clrf    desbordam
    incf    segundo
    incf    segundo_h

; Si segundo_h se desborda, incrementar "segundo_2BH" una unidad
; para tener un segundero de 16 bits formado por "segundo_2BH" y
; "segundo_h"

    movlw   0xFF
    xorwf   segundo_h,0

```

```

        btfsc     STATUS,Z
        incf     segundo_2BH
        ;Fin de actualización de segundero de 16 bits
seg_no_desb
        movlw    .60
        xorwf    segundo,0
        btfsc    STATUS, Z
        goto     Inc_Minuto
        goto     No_incremento
Inc_Minuto
        incf     minuto_h           ;variable que lleva los "minutos" de 0 a 0xFF
        incf     minuto           ;variable que lleva los "minutos" de 0 a .60
        clrf     segundo
        movlw    .60
        xorwf    segundo,0
        btfsc    STATUS, Z
        goto     Inc_Hora
        goto     No_incremento
Inc_Hora
        incf     Hora
        clrf     minuto
No_incremento
        bcf     INTCON, 2
        bsf     INTCON, 7
        movf    PCLATH_temp,0
        movwf   PCLATH
        movf    Wtemp, 0
        return

```

```

;*****

```

```

inicializa_timer0
        clrf     desbordam
        bsf     STATUS, RP0           ; banco = 1
        ; configuración del TIMER0
        movlw    b'11010100'       ; preescaler de 1:32 con reloj interno
        movwf   OPTION_REG
        ; configuración de interrupciones
        movlw    0x20
        movwf   INTCON ;configura sólo para responder
                        ; a interrupción del Timer0
        bsf     INTCON, 7 ; Habilita la detección de interrupción
        bcf     STATUS, RP0           ; banco = 0
        clrf     TMR0
        clrf     segundo
        clrf     desbordam
        clrf     segundo_h

```

```

clrf      minuto
clrf      minuto_h
clrf      Hora
clrf      detener
return

```

---

```

                                control.inc
                                org      0x530

Mover_Disp
    movlw    0x01
    xorwf    mover,0
    btfss    STATUS,Z
    goto     Md_Marca_2
    movlw    0x03
    xorwf    frasco,0
    btfss    STATUS,Z
    goto     PA_Marca_3
    bsf      PORTB,2
    clrf     segundo_h

PA_Marca_2
    btfss    PORTD,1
    goto     PA_No_2
    movf     segundo_h,0
    movwf    cal_motor_pos
    goto     Md_A

PA_No_2
    movlw    0xFF
    xorwf    segundo_h,0
    btfss    STATUS,Z
    goto     PA_Marca_2
    movlw    .25
    call     escribe

    goto     P_Marca_9

PA_Marca_3
    bsf      PORTB,2
    clrf     segundo_h
    call     Borra_pantalla
    movlw    .0
    call     escribe

Md_Marca_1
    movf     cal_motor_pos,0
    xorwf    segundo_h,0

```

```

                btfss    STATUS,Z
                goto     Md_Marca_1
Md_A
                bcf      PORTB,2
Md_Marca_2

                return
;*****
Llenar_siguiente
                call     Abrir_valvula
                bsf      PORTD,3
                bsf      PORTB,1
                call     Borra_pantalla
                movlw   .13
                call     escribe
                clrf    segundo_h
Ls_Marca_3
                btfsc   PORTA,4
                goto     Ls_No_3
                ;Añadido para evitar ruido
                call     Retraso2
                btfsc   PORTA,4
                goto     Ls_No_3
                ;Fin de ruido
                call     beep
                call     Retraso2
                call     Retraso2
                clrf    segundo_h
Ls_Marca_4
                btfsc   PORTA,5
                goto     Ls_No_5
                ;Añadido para evitar ruido
                call     Retraso2
                btfsc   PORTA,5
                goto     Ls_No_5

                ;Fin de ruido
                call     beep
                call     Retraso2
                call     Retraso2
                movf    segundo_h,0
                movwf   T_s_decilitro
                clrf    segundo_h
Ls_Marca_5
                btfss   PORTA,2
                goto     Ls_Marca_7
                ;Añadido para evitar ruido

```

```

    call    Retraso2
    btfss  PORTA,2
    goto   Ls_Marca_7
;Fin de ruido
    btfss  PORTD,2
    goto   Ls_Marca_7
;Añadido para evitar ruido
    call    Retraso2
    btfss  PORTD,2
    goto   Ls_Marca_7
;Fin de rutina para ruido
    movf   segundo_h,0
    xorwf  STATUS,Z
    goto   Ls_Marca_5
    goto   Ls_Marca_6
Ls_Marca_7
    call    beep
    call    Retraso2
    call    beep
    clrf   segundo_h
    call    Reset_reloj
    movlw  0xA0
    movwf  INTCON
    movf   Vol,0
    movwf  mul_parc_2
    decf   mul_parc_2
    movf   T_s_decilitro,0
    movwf  mul_parc_1
Ls_repite_1
    movf   T_s_decilitro,0
    addwf  mul_parc_1
    decf   mul_parc_2
    btfss  STATUS,Z
    goto   Ls_repite_1
    movf   mul_parc_1,0
    movwf  aux
Ls_Marca_8
    bcf    STATUS,C
    rrf   segundo_h,0
    subwf aux,0
    btfss  STATUS,C
    goto   Ls_Marca_9
    goto   Ls_Marca_8
Ls_No_3
    movf   segundo_h,0
    xorwf  Tol,0
    btfsc  STATUS,Z

```



```

        goto      Ls_Marca_6
        goto      Ls_Marca_3
Ls_No_5
        bcf       STATUS,Z
        rlf       Tol,0
        xorwf     segundo_h,0
        btfss    STATUS,Z
        goto      Ls_Marca_4
Ls_Marca_6
        movlw    .10
        call     escribe
Ls_Marca_9
        bcf       PORTB,1
        bcf       PORTB,5
        bcf       PORTB,6
        bcf       PORTB,7
        clrf     valvula_1
        clrf     valvula_2

        call     beep
        call     Retraso2
        call     beep
        call     Retraso2
        call     beep
        call     Retraso2
        call     beep
        call     Retraso2
        call     beep
        incf     muestra
        return

```

```

;*****

```

```

Direccion_m_posic
        call     Borra_pantalla
        call     Reset_reloj
        btfsc    PORTD,0
        goto     Dmp_Marca_1
        bsf     PORTB,3
        movlw   0x00
        call     escribe
        bsf     PORTB,2
Dmp_Marca_2
        btfsc    PORTD,0
        goto     Dmp_Marca_1
        movlw   .13
        xorwf    minuto_h,0

```

```

    btfss    STATUS,Z
    goto     Dmp_Marca_2
    movlw   .25
    call     escribe
    goto     Termina_principal
Dmp_Marca_1
    bcf     PORTB,3
    bcf     PORTB,2
    return
;*****

```

## Purga\_Espera\_Purga

```

    call     beep
    movlw   0x01
    xorwf   frasco,0
    btfsc   STATUS,Z
    goto     PEP_Marca_1
PEP_No_1
    call     Borra_pantalla
    movlw   .24
    call     escribe
    bsf     PORTB,4
    bsf     PORTB,5
    call     Retraso2
    call     Retraso2
    call     Retraso2
    bsf     PORTB,6
    call     Retraso2
    call     Retraso2
    call     Retraso2
    bcf     PORTD,3
    bsf     PORTB,1
    bsf     INTCON, 7
    call     Retraso_10s
    bsf     INTCON, 7
    bcf     PORTB,1
    bcf     PORTB,5
    bcf     PORTB,6
    bcf     PORTB,4
    call     Mover_Displ
PEP_Marca_1
    clrf    purga
    call     beep
    call     Borra_pantalla
    movlw   .27
    call     escribe

```

```
;manda a pantalla LCD <<frasco>>
movlw    0xCC
movwf    PORTC
call     Enviar_Com
movf     frasco, 0
movwf    aux_H
call     Envia_2digitos
; Fin de envío de mensaje a LCD
movlw    0xA0
movwf    INTCON
movlw    0x65
addwf    frasco,0
movwf    FSR
movf     INDF,0
movwf    intervalo_i
movf     minuto_h,0
bcf     STATUS,C
subwf    intervalo_i,0
btfss   STATUS,C
goto     Error_tiempo
movwf    m_faltante
movlw    0x00
xorwf    m_faltante,0
btfsc   STATUS,Z
goto     PEP_Si_6
movf     minuto_h,0
movwf    aux
PEP_Marca_2
incf     aux
PEP_Marca_3
movf     aux,0
xorwf    minuto_h,0
btfsc   STATUS,Z
goto     PEP_Si_2
PEP_No_2
clrf     segundo_h
PEP_Marca_4

movf     aux,0
xorwf    minuto_h,0
btfsc   STATUS,Z
goto     PEP_Si_2
movlw    0x05
xorwf    segundo_h,0
btfss   STATUS,Z
goto     PEP_Marca_4
call     beep
```

```
    call      Borra_pantalla
    movlw    .16
    call     escribe
;manda a pantalla LCD <<frasco>>
    movlw    0xCB
    movwf    PORTC
    call     Enviar_Com
    movf     frasco, 0
    movwf    aux_H
    call     Envia_2digitos
;manda a pantalla LCD <<No_Muestras>>
    movlw    0xCE
    movwf    PORTC
    call     Enviar_Com
    movf     No_muestras, 0
    movwf    aux_H
    call     Envia_2digitos
; Fin de envío de mensaje a LCD
    clrf     segundo_h
PEP_Marca_5
    movf     aux,0
    xorwf    minuto_h,0
    btfsc    STATUS,Z
    goto     PEP_Si_2
    movlw    0x05
    xorwf    segundo_h,0
    btfss    STATUS,Z
    goto     PEP_Marca_5
    call     beep
    call     Borra_pantalla
    movlw    .26
    call     escribe
;manda a pantalla LCD <<m_faltante>>
    movlw    0xCA
    movwf    PORTC
    call     Enviar_Com

    movf     m_faltante, 0
    movwf    aux_H
    call     Envia_2digitos
    movlw    0xCE
    movwf    PORTC
    call     Enviar_Com
; Fin de envío de mensaje a LCD
    goto     PEP_Marca_3
PEP_Si_2
    decf     m_faltante
```

```
    movlw    0x01
    xorwf    m_faltante,0
    btfsc    STATUS,Z
    goto     PEP_Si_5
    movlw    0x00
    xorwf    m_faltante,0
    btfsc    STATUS,Z
    goto     PEP_Si_6
    goto     PEP_Marca_2

PEP_Si_5
    movlw    0x00
    xorwf    purga,0
    btfss    STATUS,Z
    goto     PEP_Marca_6

PEP_Si_7
    movlw    0x01
    xorwf    Lav_Ext,0
    btfss    STATUS,Z
    goto     PEP_Marca_6

PEP_Si_8
    call     Borra_pantalla
    movlw    .11
    call     escribe
    bsf      PORTB,7
    call     Retraso2
    bcf      PORTD,3
    bsf      PORTB,1
    bsf      INTCON, 7
    call     Retraso_10s
    bsf      INTCON, 7
    bcf      PORTB,1
    call     beep
    call     Borra_pantalla
    movlw    .30
    call     escribe
    bcf      PORTB,7
    bsf      PORTB,4
    bsf      PORTB,5
    call     Retraso2
    call     Retraso2
    call     Retraso2
    bsf      PORTB,6
    call     Retraso2
    bcf      PORTD,3
```

```

    bsf      PORTB,1
    bsf      INTCON, 7
    call     Retraso_10s
    bsf      INTCON, 7
    bcf      PORTB,1
    bcf      PORTB,5
    bcf      PORTB,6
    bcf      PORTB,4
    call     beep
    call     Retraso2
    call     beep
PEP_Marca_6
    movlw   0x01
    movwf   purga
    goto    PEP_Marca_2
PEP_Si_6
    return
;*****

```

---

#### variables.inc

```

Contador_1      equ      0x20
Contador_2      equ      0x21
indice          equ      0x22
Tecla           equ      0x23
Tecla_Ascii     equ      0x24
caracter        equ      0x25
mensaje         equ      0x26
Idioma          equ      0x27
mensaje_R2      equ      0x28
digito_1        equ      0x29
digito_2        equ      0x2A
Vol             equ      0x2B
No_muestras     equ      0x2C
aux             equ      0x2D
leido_dec       equ      0x2E
iguales         equ      0x2F
frasco         equ      0x30
aux_dec         equ      0x31
aux_uni         equ      0x32
mul_parc_1      equ      0x33
mul_parc_2      equ      0x34
cursor_1        equ      0x35
cursor_2        equ      0x36
Tiempo_1        equ      0x37
aux_1           equ      0x38

```

---

aux_2	equ	0x39
Lav_Ext	equ	0x3A
velocidad	equ	0x3B
Wtemp	equ	0x3C
desbordam	equ	0x3D
detener	equ	0x3E
lim_tiempo	equ	0x3F
segundo	equ	0x40
segundo_h	equ	0x41
minuto	equ	0x42
minuto_h	equ	0x43
Hora	equ	0x44
aux_H	equ	0x45
aux_L	equ	0x46
segundo_2BH	equ	0x47
mover	equ	0x48
cal_motor_pos	equ	0x49
valvula_1	equ	0x4A
valvula_2	equ	0x4B
T_s_decilitro	equ	0x4C
Tol	equ	0x4D
intervalo_i	equ	0x4E
m_faltante	equ	0x4F
purga	equ	0x50
simple	equ	0x51
volumen	equ	0x52
Lleno	equ	0x5

# Códigos para manejo de LCD

## 6.4 Instruction Code

Instruction Table

Instruction	Instruction Code										Description	Execution time (fosc= 270 kHz)
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRAM and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53 ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53 ms
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction and enable the shift of entire display.	39 μs
Display ON/OFF Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display(D), cursor(C), and blinking of cursor(B) on/off control bit.	39 μs
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	-	-	Set cursor moving and display shift control bit, and the direction, without changing of DDRAM data.	39 μs
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	-	-	Set interface data length (DL: 8-bit/4-bit), numbers of display line (N: 2-line/1-line) and, display font type (F:5×11 dots/5×8 dots)	39 μs
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address counter.	39 μs
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address counter.	39 μs
Read Busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal operation or not can be known by reading BF. The contents of address counter can also be read.	0 μs
Write Data to RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μs
Read Data from RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μs

\* "-": don't care

NOTE: When an MPU program with checking the Busy Flag(DB7) is made, it must be necessary 1/2Fosc is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the 'E' signal after the Busy Flag (DB7) goes to "Low".



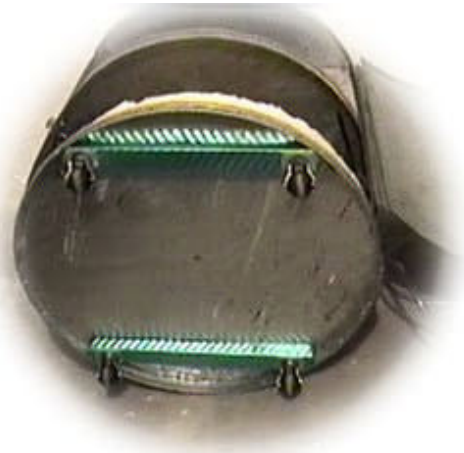


Fotografías del muestreador

---



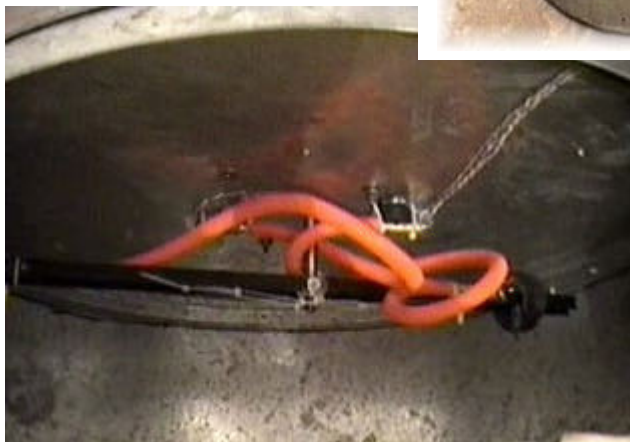
Muestreador completo. Vista frontal



Muestreador completo. Vista inferior



Muestreador completo con puerta cerrada



Dispensador con mangueras

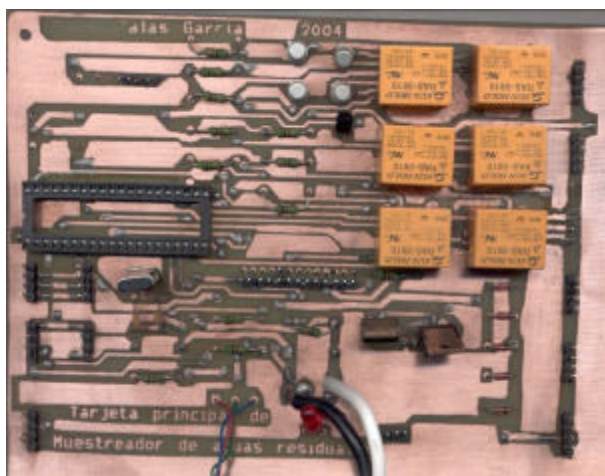


Un extremo del dispensador

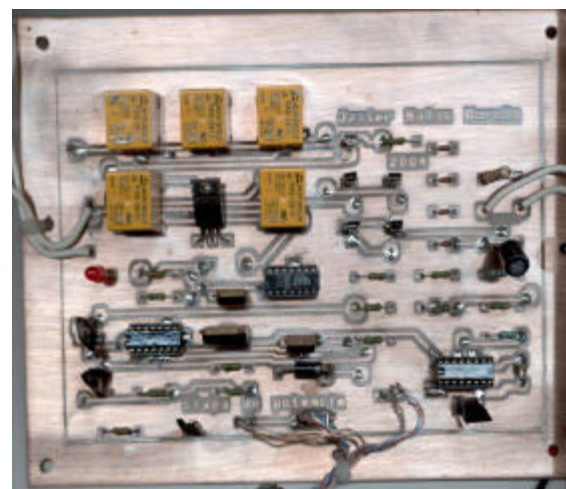




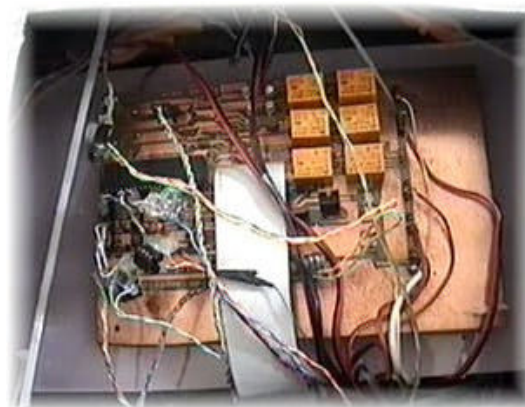
Panel frontal



Tarjeta "Principal". Vista superior



Tarjeta "de Potencia". Vista superior



Circuitos montados en el muestreador

# Manual de Usuario

---

El muestreador de aguas residuales de este trabajo de tesis se ha diseñado para satisfacer las necesidades específicas del CIRA para coleccionar muestras de agua simples y compuestas, sin embargo, puede ser aplicado a una amplia gama de proyectos de investigación o de programas de monitoreo donde se necesite muestrear aguas.

### Características

- Tiempo de muestreo: 39.6 horas
- Baterías recargables (la energía acumulada es suficiente para completar un ciclo de 39.6 horas sin necesidad de recarga)
- Intervalo mínimo de muestreo: 1 min.
- Altura máxima de succión: 2.5 m
- Potencia de motor de bomba: 18W, 1/64 hp
- Corriente del sistema en espera: 90mA
- Precisión en volumen: 94% a 1m de altura
- Autocalibración del sistema en cada ciclo
- Todas las variables del ciclo de muestreo son programadas por el usuario
- Opción de operación automática o manual
- El sistema no pierde exactitud con el envejecimiento de los motores
- No requiere cambiar el programa si se usan motores diferentes, con tal de que se ajusten mecánicamente al sistema circundante.
- Se puede añadir la opción de grabar algunos programas de muestreo sin modificar el hardware
- Aislamiento de etapa de control y de potencia, permitiendo manejar otro motor digitalmente.

**Localización de partes**

1. Panel Frontal
2. Carcasa
3. División
4. Puerta
5. Plataforma
6. Frascos
7. Dispensador
8. Imanes
9. Flecha del dispensador
10. Transmisión
11. Soportes para baterías
12. Electroválvulas

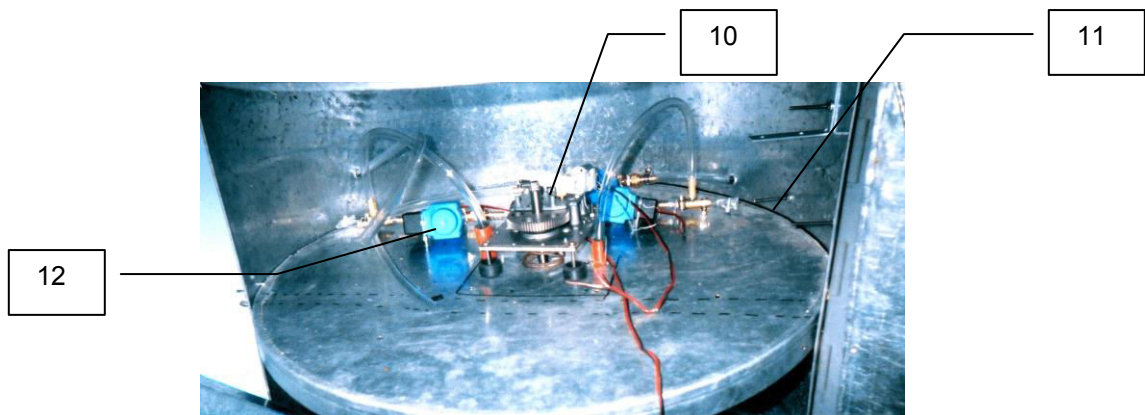
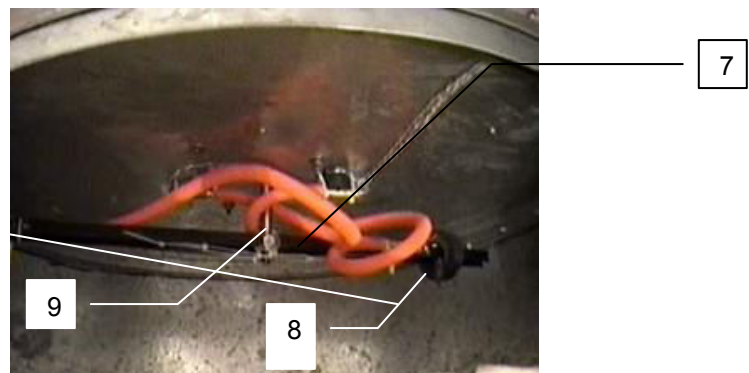
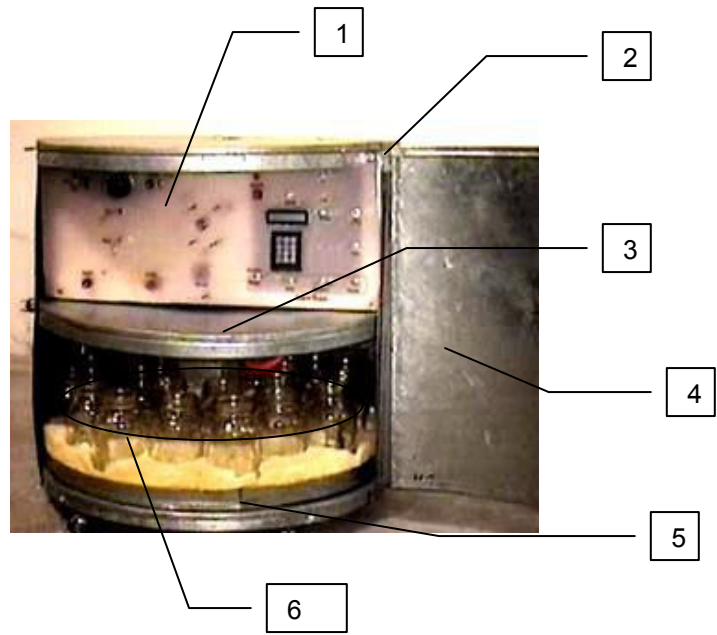


Figura H.1. Localización de partes del muestreador

## Panel Frontal

Los elementos del panel frontal se dividen en tres conjuntos. El primero tiene que ver con la monitorización y carga de las baterías. Otro grupo está formado por el cabezal de la bomba peristáltica y sus mangueras. El tercero lo integran los controles del proceso. En la figura H.2 se muestra un esquema del panel frontal y todos sus elementos.

Para monitorear la tensión en ambas baterías se activa el voltímetro mediante el interruptor que está a la izquierda del *Fusible 1*. Con el interruptor a la derecha del *Fusible 2*, se selecciona a cuál de los dos acumuladores se le mide el voltaje. Además se puede recargar la batería seleccionada con ese interruptor mediante los bornes (*Negativo* y *Positivo*). El *Fusible 1* sirve como elemento de protección para la batería de potencia y el *Fusible 2* para la batería de control.

El cabezal de la bomba peristáltica se asegura al panel mediante tres tuercas tipo “mariposa”. El tubo especial para el cabezal se conecta a las dos mangueras que salen al panel frontal. Los dos círculos denominados *Fuente* e *Interior* en la figura H.2 indican las perforaciones por donde pasan las mangueras.

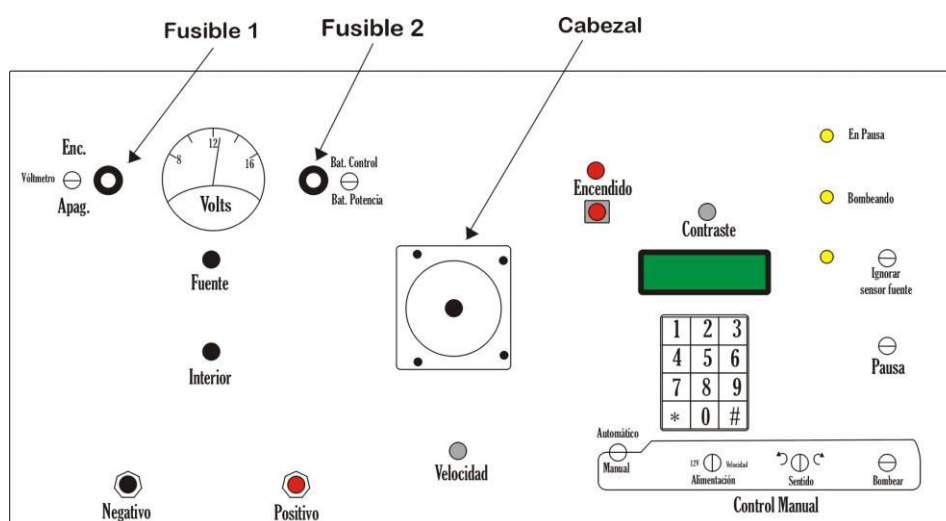


Figura H.2. Elementos del panel frontal

El resto del panel de control sirve para controlar el proceso. El botón de *Encendido* permite el paso de corriente a la tarjeta *Principal*. El *contraste* del LCD se ajusta con el potenciómetro con ese nombre. Lo mismo ocurre con el potenciómetro *Velocidad* para el motor de la bomba. El interruptor *Automático / Manual* determina si los tiempos de captura de muestra se realizarán mediante parámetros introducidos mediante el teclado –modo *Automático*- o mediante los tres interruptores dentro de la sección de *Control Manual*.

En el modo *Automático*, de manera secuencial se introducen los parámetros de operación (volumen por colecta, número de frascos a llenar, intervalos de muestreo, tipo de muestra y si se deben purgar los ductos entre muestras o no). En caso de añadir un segmento a la manguera de alimentación (con tal de que la altura no sobrepase 2.5 m), el sensor de agua localizado al final de la manguera de alimentación ya no estaría en contacto con el agua de la fuente aún cuando si se puede bombear el agua. El interruptor *ignorar sensor de agua* sirve para ignorar el estado de dicho sensor y bombear independientemente de si se detecta agua o no en la fuente.

Hay tres interruptores que determinan el bombeo en modo *manual*. Con el interruptor *Alimentación* se selecciona si la tensión de alimentación del motor de la bomba es directamente de +12 V o si es con el control de velocidad (conmutación). Mediante el interruptor *Sentido*, se establece si el bombeo es de la fuente hacia el exterior de muestreador o viceversa. Con el último, *bombeo*, se comienza a bombear un segundo después de que se abre la válvula que habilita la vía entre la fuente y la manguera por donde se purga el muestreador. No es necesario que el operador active algún interruptor para abrir alguna válvula porque el agua que se colecta en modo manual siempre se dirige al exterior del muestreador a través de la válvula tres. La apertura de esa válvula es controlada por la unidad central de procesamiento.

## Instalación

### Ubicación del muestreador

El muestreador puede ser trasladado tanto vertical como horizontalmente. Antes de comenzar el proceso de muestreo, debe colocarse la plataforma con los frascos cuidando que no queden inclinados para evitar derrames. Se recomienda colocar el muestreador en una zona con sombra para evitar el calentamiento de las muestras y aumentar la vida útil de los componentes. De no ser posible, se puede cubrir para evitar que la cubierta del muestreador quede expuesta directamente a los rayos del sol o bien, ubicar la salida de la manguera de purga sobre el muestreador para que en cada purga, se enfríe la cubierta del muestreador.

**Advertencia:** Es responsabilidad del usuario verificar que la puerta esté completamente sellada si opta por usar el agua de purga para enfriamiento de la cubierta. Asegúrese de secar completamente el muestreador después de esto para evitar corrosión.

### Instalación eléctrica

Los diagramas eléctricos del muestreador se encuentran en el Apéndice C.

### Instalación hidráulica

No es necesario hacer ningún cambio en la instalación hidráulica del interior del muestreador, ni siquiera en caso de que cambie el tamaño y número de frascos a llenar. En cuanto al exterior, asegúrese de no sobrepasar las alturas

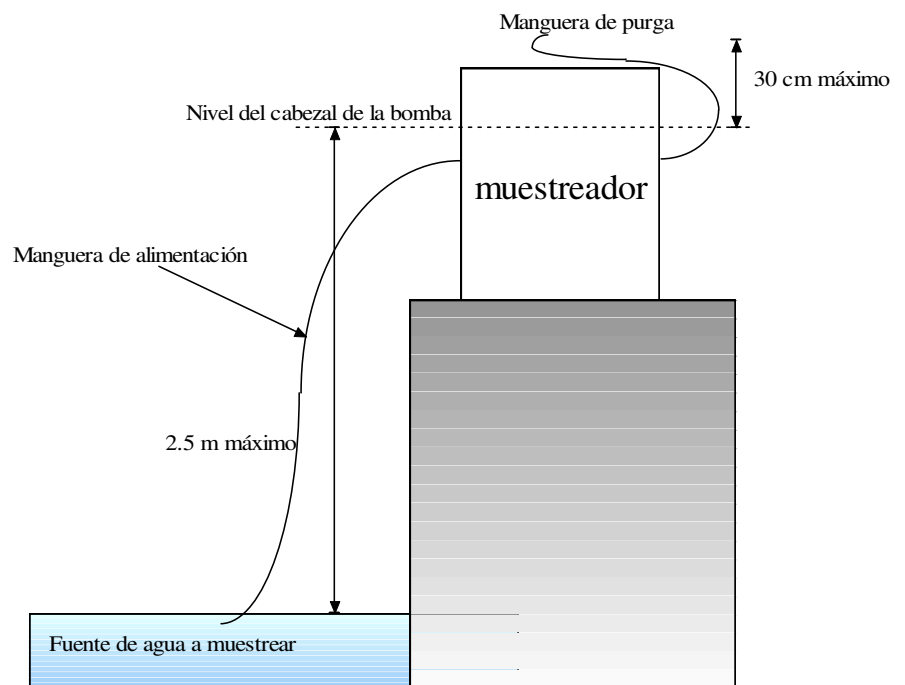


Figura H.3. Diagrama de instalación hidráulica



máximas mostradas en la Figura H.3.

## Operación

A) Antes de encender el muestreador, verifique lo siguiente:

1. Que las alturas de las mangueras no sobrepasen las descritas en la sección **Instalación**, previamente descrita.
2. Si ambos fusibles del panel frontal están intactos
3. Que la tensión en ambas baterías es superior a 11.5 V mediante el voltmetro del panel frontal<sup>®</sup>. Para más detalles, ver la sección **Panel frontal**, previamente descrita.
4. Que la plataforma contenga los frascos limpios en su lugar y no esté inclinado el muestreador.

B) Puesta en operación en modo manual

1. Asegúrese que el interruptor de modo de operación está activado en la opción "Manual"
2. Asegúrese de que el interruptor *Bombear* esté hacia abajo (apagado). Ver sección **Panel frontal** para más detalles
3. Pulse el botón de encendido en el panel frontal. Verá en el LCD el mensaje "Muestreador en modo manual"
4. Seleccione el *sentido* de giro del motor. Ver sección **Panel frontal** para más detalles
5. Seleccione la *Alimentación* del motor de la bomba (*12 Volts* o *Velocidad*). Ver sección **Panel frontal** para más detalles
  - a) En caso de que seleccione la opción *Velocidad* (interruptor *Alimentación* hacia la derecha), la velocidad se ajusta potenciómetro *velocidad*. Ver sección **Panel frontal** para más detalles
6. Active el interruptor *Bombear* el tiempo que sea necesario. Puede ajustar nuevamente el potenciómetro *Velocidad*, hasta lograr el caudal deseado. Verá en el LCD el mensaje "Colectando muestra"

---

<sup>®</sup> La tensión mínima de operación es 11.3 V, sin embargo, para que se logren coleccionar satisfactoriamente 24 litros en un período máximo de 39.6 horas se requiere que ambas baterías tengan una tensión de 12.5 Volts.

7. Una vez transcurrido el tiempo de bombeo deseado, desplace el interruptor *Bombear* a su posición de apagado.

Nota: Puede cambiar el *Sentido* y la *Alimentación* en cualquier momento de la colecta, pero los cambios tendrán efecto hasta que vuelva a activar el interruptor *Bombeo*.

### C) Puesta en operación en modo automático

1. Asegúrese que el interruptor de modo de operación está activado en la opción "Automático"
2. Pulse el botón de encendido en el panel frontal
3. En caso de que el dispensador no se encuentre en su posición inicial, verá el mensaje "Posicionando dispensador" y el dispensador girará en sentido contrario a las manecillas de reloj hasta su posición inicial.
4. Introduzca los parámetros de operación del muestreador. En el LCD aparecerán preguntas que deberá contestar con el teclado. Para ingresar el valor, pulse la tecla '#', para borrar el valor tecleado, pulse '\*'. Las preguntas que despliega el LCD para ingresar los parámetros de operación se describen a continuación:
  - a. "Volumen / muestras en decilitros". Introduzca el volumen por muestra en decilitros. El mínimo valor aceptado es 1 y el máximo es 9.
  - b. "No. de frascos  $0 < N < 25$ ". Introduzca el número de frascos. El mínimo es 1 y el máximo 24.
  - c. "Intervalos iguales? (Si=1)". Si los intervalos de muestreo son iguales, pulse 1, si para cada colecta son intervalos diferentes, pulse cualquier otra tecla (excepto '#', ó '\*')
    - i. Si estableció intervalos iguales, se despliega el siguiente mensaje: "Tiempo entre muestras:    min.". Puede ingresar intervalos (en minutos) de 1 a 99.
    - ii. Si estableció intervalos diferentes, se despliega el siguiente mensaje: "Ingrese interv. # 01:    min.". Ingrese el intervalo.

Después aparece el mensaje : “Ingrese interv. # 02: min.” y así sucesivamente hasta completar el número de frascos ingresados en el punto **b**.

- d. “Purgar c/agua de fuente? Si=1”. Si desea que un minuto antes de cada colecta se haga una purga (de 10 segundos desde la fuente hacia el muestreador y de 10 segundos del muestreador a la fuente), pulse 1. En caso contrario, pulse cualquier otra tecla (excepto ‘#’, ó ‘\*’)
- e. “M. compuesta = 0 simple=1”. Si desea realizar muestras compuestas, pulse 0, si desea muestras simples, pulse 1.
- f. Una vez introducidos los parámetros de operación, puede cerrar la puerta del muestreador y regresar al final del tiempo programado. Durante todo el proceso, se alternan mensajes indicando el estado actual del muestreador. El estado desplegado incluye el frasco actual, el total de frascos a colectar, el intervalo de tiempo antes de la siguiente colecta y despliegue de errores en el proceso. Si no hubo ningún problema en el ciclo de muestreo, aparecerá al final del ciclo el mensaje “Todas las muestras colectadas”.

## Mantenimiento

Cada vez que termine un programa de muestreo será necesario que purgue el muestreador para evitar que se adhieran impurezas en los ductos y esto altere mediciones posteriores.

**Para purgar los ductos:** Siga los pasos A y B del apartado **Operación** el tiempo que sea necesario para eliminar las impurezas del interior del muestreador, colocando agua limpia en el extremo de la manguera de alimentación

Revise periódicamente que no haya corrosión en los elementos metálicos del muestreador. Puede prevenir la corrosión evitando dañar la pintura y aplicando por

lo menos cada dos meses *aflojatodo*® en la transmisión y demás piezas móviles que no estén pintadas.

Cuando el dispensador se mueve, no debe escucharse ningún tipo de rechinado o cualquier otro sonido de fricción. De ser ese el caso, aplique *aceite 3 en 1*® en la transmisión.

### Causas que reducen la vida útil del muestreador:

- Exponer al muestreador a:
  - Los rayos directos del sol o altas temperaturas ☒
  - Vibración excesiva
  - Golpes
- No recargar las baterías a su máxima capacidad

### Problemas y soluciones

FALLAS	CAUSAS	SOLUCIÓN
El muestreador no enciende	Alguno de los fusibles del panel frontal está fundido	Reemplace el fusible por uno nuevo. Asegúrese que sea de 2A para el fusible 2 y de 0.5A para el fusible 1.
	La batería de control tiene un nivel de tensión inferior a 11.3 Volts	Cargue ambas baterías antes de volverlo a encender
	Una o ambas baterías no están conectadas	Verifique que ambas baterías estén conectadas
El motor de la bomba no gira	La batería de control tiene una tensión inferior a 11.5 Volts	Cargue la batería de control
	Está activado el interruptor <i>Pausa</i>	Cambie el estado del interruptor <i>Pausa</i> . (El LED

☒ Los circuitos electrónicos del muestreador soportan temperaturas de 0°C a 90°C, pero puede haber deformación de algunos elementos plásticos a temperaturas inferiores a 90°C.

		asociado debe estar apagado para que se pueda bombear
	El sensor de la manguera de alimentación no está en contacto con el agua de la fuente	Asegúrese que el extremo de la manguera de alimentación esté en contacto con el agua de la fuente a muestrear
		Si le ha añadido un segmento a la manguera de alimentación, cambie la posición del interruptor "Ignorar sensor de agua"
Acaba de recargar las baterías, pero se descargan antes de completar un ciclo de muestreo	Una o ambas baterías necesitan reemplazarse	Verifique con ayuda del voltmetro del panel frontal cuál batería se descarga más rápido y reemplácela. Si el problema persiste, reemplace la otra batería. Asegúrese de cambiarla por una de las mismas características y que la conecte exactamente en los bornes donde quitó la anterior

## Glosario

---

### Agua

**Residual.** Agua portadora de residuos de origen urbano, industrial y agrícola.

**Pluviales.** Agua de lluvia.

**Algoritmo.** Secuencia de operaciones encaminadas a lograr un objetivo.

**Amplificador operacional.** Dispositivo electrónico que multiplica una señal por un factor.

**Armadura.** Asiento de los alambres del devanado de un motor o generador que pasan a través del campo magnético.

**Bacteriología.** Parte de la microbiología, que estudia todo lo concerniente a las bacterias.

**Batería.** Reunión de varias pilas que conectadas entre sí, producen una tensión eléctrica.

**Bus.**(canal). Conjunto de líneas que son el medio físico por el cual se transmiten señales digitales.

**Caudal.** volumen de un determinado fluido que pasa por un sitio en un tiempo dado.

**Centrifugación.** Aplicación de la fuerza centrífuga para separar los constituyentes de una mezcla.

**Conductividad.** Propiedad que describe la tendencia de un material para permitir el flujo de cargas eléctricas a través de él.

**Decantación.** Inclinação paulatina de un recipiente sobre otro para que caiga el líquido contenido en el primero sin que salga el sedimento.

**Devanado.** Bobina en un motor en el que se generan los voltajes o la fuerza que se convierte en par o acción del motor.

**Display.** Dispositivo electrónico formado segmentos que se iluminan para generar caracteres alfanuméricos.

**Driver.** Manejador.

**E / S.** Entrada / Salida.

**EEPROM.** (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). Memoria programable de sólo lectura eléctricamente borrable.

**Electrodo.** Elemento terminal de un circuito de variada forma.

**Electroválvula.** Mecanismo electromagnético que mediante la presencia o ausencia de un campo magnético, activa un dispositivo que permite o interrumpe el paso de un fluido.

**Filtración.** Procedimiento para separar una mezcla en el que se hace pasar esta a través de una placa porosa o papel filtro.

**FLASH.** Memoria no volátil, puede ser borrada y grabada igual que la *EEPROM*, tiene mayor capacidad, velocidad y tolera más ciclos de escritura y borrado.

**Flujo.** Volumen de un determinado fluido que pasa por un sitio en un tiempo dado.

**Flujo algorítmico.** Representación gráfica de un algoritmo.

**Frecuencia:** Número de ciclos en un segundo.

**LCD.** (Liquid Crystal Display). Pantalla de cristal líquido.

**LED.** (Light emitter Diode). Diodo emisor de luz.

**Microcontrolador.** Sistema cerrado que contiene un computador completo y de prestaciones limitadas que no se puede modificar.

**MOSFET.** (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor). Transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor.

### **Muestra**

**Simple.** Representa la composición de la fuente al momento y lugar de la toma.

**Compuesta.** Representa la composición promedia de la fuente para el intervalo de tiempo cubierto por la muestra.

**Muestreador.** Dispositivo para coleccionar muestras.

**Muestreo.** Técnica que consiste en coleccionar una parte de materia pequeña para ser transportada y manipulada con facilidad, siendo representativa del lote muestreado.

**Nibble.** Conjunto de cuatro bits.

**Periodo:** Duración en tiempo (en segundos) de un ciclo de una onda.

**Perturbación.** Señal que normalmente afecta a la variable controlada del sistema.

**Planta.** Cualquier sistema físico que se desea controlar.

**Potenciómetro.** Nombre común de un resistor variable.

**Proceso.** Cualquier operación que va a ser controlada.

**Puerto.** Grupo de pines utilizados para mandar o recibir información.

**RAM.** (Random Acces Memory). Memoria de acceso aleatorio.

**Relevador.** Interruptor electromagnético que abre o cierra uno o varios contactos mecánicamente en función de la presencia o ausencia de corriente en su bobina.

**Resistencia.** Tendencia de un material para impedir el flujo de cargas eléctricas a través de él.

**Sistema.** Conjunto de componentes que se interrelacionan y trabajan juntos para realizar un objetivo determinado.

**Terminal.** Componente eléctrico capaz de transmitir y recibir señales eléctricas.

**Topología.** Rama de las matemáticas que estudia las propiedades de las figuras geométricas o los espacios que no se ven alterados por transformaciones continuas, biyectivas y de inversa continuas.

**Triestado.** Relativo a tres estados: alto, bajo y alta impedancia.