



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA

“DESARROLLO DE SISTEMAS  
INNOVADORES PARA LAVADORAS DE  
ROPA: REUSO DE AGUA Y  
CONTROL ELECTRÓNICO”

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA,  
ÁREA MECÁNICA

PRESENTA:

**RAFAEL MINASSIAN HERRERO**

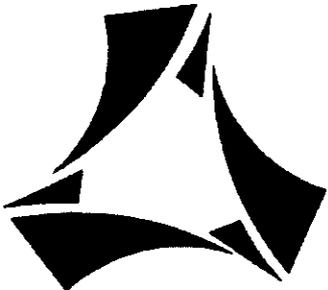
Director: Dr. Marcelo López Parra

MÉXICO, D.F.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

267811





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA**

*A Dios, quien todo lo hace posible y a quien nunca le podré terminar de agradecer.*

*A la memoria de mi Ma, Juanita Sesín, quien debe estar disfrutando de este logro tanto como nosotros.*

*A mi Mamá, Rosy Herrero, por su infinita paciencia y amor.*

*A mi amor Lis, quien ha estado y espero que siga siempre junto a mí.*

*A mis hermanos Daniel y Sayde, y a Mary, por su gran apoyo e interés.*

*Al Dr. Marcelo López Parra, Jefe del Centro de Diseño y Manufactura, por haber sido un excelente líder y haberme enseñado mucho más que Ingeniería Mecánica.*

*Al Dr. Saúl Santillán Gutiérrez, por haberme apoyado durante este proyecto y como profesor, con puntos de vista y formas de pensar siempre valiosos.*

*Al Dr. Vicente Borja Ramírez, M.I. Victor González Villela y M.I. Leopoldo González González, por el apoyo y las aportaciones al proyecto.*

*A la Sección de Diseño Industrial: D.I. Ángel Rodríguez, Alberto Villareal, Marcela Tamayo y Andrea Ruiz, por un excelente trabajo y por haber aportado ideas que ayudaron en gran medida a enriquecer el desarrollo del proyecto.*

*A la Sección de Electrónica: Enrique Camberos y Serafín Castañeda, quienes colaboraron con una buena parte de la ingeniería desarrollada en el proyecto, y por haberme apoyado en todo momento con su incansable trabajo para realizar los prototipos funcionales.*

*A la Sección de Cómputo: Gabriel Muñoz y Alfredo Portocarrero, por su contribución en la parte de programación de algoritmos y simulación por computadora.*

*A mis compañeros en el proyecto: Oscar Montaña, Moisés Trujano, Raúl Rocha, Oscar Rosas, y muy en especial a Minoru Hatta, quien además supo ser un excelente amigo.*

*A mis grandes amigos de la carrera: Gerardo Hernández, Héctor Cruz y David Merino, de quienes recibí mucho más de lo que pude dar.*

*A mi amigo Alfredo Vitela, por su apoyo en la impresión de este trabajo.*

*Y, finalmente, a la UNAM y todos los que hicieron de ésta una maravillosa carrera: a mis compañeros, profesores e instituciones, por su pluralidad y variedad de pensamiento.*

# ÍNDICE

<b>Objetivos Generales</b>	<b>3</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1 El Proceso de Lavado de Ropa	7
1.1.1 Generalidades	7
1.1.2 Mecanismos de Remoción de Mugre	8
1.2 La Lavadora de Ropa como Sistema Electromecánico	9
1.3 La Lavadora Proporcionada por la Empresa Patrocinadora	15
1.4 Tendencias y Últimos Adelantos en el Diseño de Lavadoras	17
1.5 ¿Por qué Desarrollar Proyectos de Innovación Tecnológica?	20
1.6 Dosificador de Detergente en Polvo	21
Referencias	22
<b>2. Sistema de Reuso de Agua</b>	<b>25</b>
2.1 Introducción	25
2.2 Hipótesis	27
2.3 Alternativas de Diseño	28
2.3.1 Descomposición Funcional y Propuestas de Alternativas	28
2.3.2 Análisis de Arquitecturas	33
2.4 Sistema de Reuso de Agua Propuesto	42
2.4.1 Tanque de Almacenamiento	44
2.4.2 Control del Flujo de Agua	51
2.4.3 Sistemas de Filtrado	59
Referencias	59
<b>3. Control Paramétrico del Proceso de Lavado</b>	<b>63</b>
3.1 Introducción	63
3.2 Parámetros del Proceso de Lavado	65
3.2.1 Cantidad de Ropa	65
3.2.2 Tipo de Ropa	66
3.2.3 Grado y Tipo de Suciedad	67
3.2.4 Dureza del Agua	68
3.3 Sistema de Control Original de la Lavadora en Estudio	69
3.3.1 Secuencia de Operaciones	71
3.3.2 Pánel de Control Original	73
3.3.3 Diagrama de Conexiones de Actuadores y Sensores	75
3.3.4 Programas de Lavado	76

3.4 Hipótesis	77
3.5 Diseño del Nuevo Sistema de Control	78
3.5.1 Pánel de Control Propuesto	80
3.5.2 Circuito Electrónico de Control	88
3.5.2.1 Microcontrolador	91
3.5.2.2 Alimentación de Energía	95
3.5.2.3 Etapa de Potencia	98
3.5.3 Lógica del Programa	100
3.5.4 Control de los Sensores y Actuadores de la Lavadora	105
3.5.4.1 Interruptor de la Tapa	106
3.5.4.2 Sensor de Presión de la Tina	107
3.5.4.3 Presostato del Tanque de Almacenamiento	110
3.5.4.4 Dosificador de Detergente en Polvo	111
3.5.4.5 Motor Principal	112
3.5.4.6 Solenoide de la Transmisión	116
3.5.4.7 Bomba de Desagüe/Reuso	117
3.5.4.8 Válvulas de Admisión de Agua	118
3.5.4.9 Válvulas de Conmutación Desagüe/Reuso del Sistema de Reuso de Agua	120
3.5.4.10 Elemento de Control de Flujo del Tanque de Almacenamiento (Válvula o Bomba)	120
3.5.5 Funciones Opcionales	121
3.5.5.1 Alarma Audible	121
3.5.5.2 Prelavado	122
3.5.5.3 Enjuague Extra por Rocío	123
3.5.5.4 Enjuague Extra Profundo	123
3.5.5.5 Centrifugado Extra	123
3.5.6 Rutinas del Programa de la Lavadora	124
Referencias	152
<b>4. Funcionamiento y Desempeño de los Sistemas de Reuso de Agua y de Control Electrónico</b>	<b>155</b>
4.1 Introducción	155
4.2 Funcionamiento de la Lavadora con los Nuevos Sistemas Incorporados	155
4.2.1 Secuencia de Operaciones de la Lavadora con los Nuevos Sistemas Incorporados	156
4.3 Comparación con el Esquema Anterior de Funcionamiento	161
4.3.1 Ergonomía y Comodidad para el Usuario	161
4.3.2 Confiabilidad	164
4.3.3 Desempeño General y Funcionalidad	165
4.3.4 Flexibilidad	166
4.3.5 Consumo de Energía y Recursos Materiales	169

	<i>Índice</i>
4.3.5.1 Consumo de Energía Eléctrica	169
4.3.5.2 Consumo de Energía Térmica	170
4.3.5.3 Consumo de Agua	171
4.3.5.4 Consumo de Detergente	172
4.3.6 Manufactura	172
4.3.7 Normatividad	174
4.4 Evaluación del Proyecto	176
4.4.1 Evaluación y Opinión por parte de la Empresa Patrocinadora del Proyecto	176
Referencias	178
<b>5. Conclusiones</b>	<b>181</b>
5.1 Conclusiones Generales	181
5.2 Trabajo Futuro Propuesto	182

**APÉNDICE A. Corrida de las Ecuaciones para el Cálculo de las Variables del  
Proceso de Lavado**

**APÉNDICE B. Planos de Detalle del Tanque de Almacenamiento**

## **NOTA IMPORTANTE**

Por motivos de confidencialidad, una parte de la información desarrollada en estos proyectos ha sido omitida deliberadamente del presente trabajo escrito. Particularmente, las partes suprimidas son:

1. Capítulo 2 “Sistema de Reuso de Agua”, páginas 43 a 51.
2. Capítulo 3 “Control Paramétrico del Proceso de Lavado”, páginas 127 a 151.
3. Apéndice B “Planos de Detalle del Tanque de Almacenamiento”, completo.

La impresión completa de la tesis se encuentra en el Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

## OBJETIVOS GENERALES

El propósito de este trabajo es proponer dos sistemas innovadores para una lavadora de ropa de agitador vertical: por una parte, se incorpora un sistema de almacenamiento y reuso del agua empleada en el lavado; y por otra, se modifica el sistema de control actual para tener una mayor versatilidad en el funcionamiento de los sistemas de la lavadora.

La incorporación de un sistema de almacenamiento y reuso de agua obedece a la necesidad cada vez mayor de aprovechar de una mejor manera los recursos naturales y energéticos. Con la operación del sistema que aquí se propone, se puede ahorrar hasta la mitad del agua que empleaba previamente una lavadora de agitador con capacidad para 7 kg de ropa, lo que equivale aproximadamente a 60 litros por cada carga completa de ropa. La adición del sistema de almacenamiento y reuso de agua diseñado no altera las dimensiones actuales de la lavadora.

Los sistemas de control electrónicos para lavadoras no son algo nuevo. De hecho, desde hace tiempo ya se han utilizado sistemas de control inteligentes y semi-inteligentes empleando microcontroladores y lógica difusa en lavadoras de ropa europeas, asiáticas y norteamericanas. El diseño de un nuevo sistema de control contempla, por una parte, la incorporación de nuevas funciones y sistemas adicionales (dosificador de detergente, sistema de almacenamiento y reuso de agua, alarmas, ciclos adicionales), y por otra parte una mejor adecuación de los programas de lavado a las condiciones de la carga de ropa sucia.

El sistema de reuso de agua y el de control electrónico presentados en este trabajo fueron instalados y probados en una lavadora de agitador vertical, con capacidad de 7 kg de ropa seca, en un proyecto desarrollado con la colaboración de una empresa mexicana líder en la industria de los enseres domésticos.

# FALTAN PAGINAS

De la: 4

A la: 6

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 EL PROCESO DE LAVADO DE ROPA

### 1.1.1 Generalidades

El proceso de lavado de ropa resulta de la combinación balanceada de recursos materiales, energía térmica, energía química y energía mecánica [1]. El objetivo de dicho proceso es separar la mugre del substrato (la tela) y eliminar los microorganismos presentes, causando el menor daño posible a las prendas lavadas.

Los recursos materiales empleados básicamente son el agua y los detergentes en polvo o líquidos, aunque cada día se utilizan más otros productos adicionales para limpieza de ropa: blanqueadores de cloro, desinfectantes, suavizantes de tela, acondicionadores de agua, productos para prelavado elaborados a base de enzimas, entre otros. La energía térmica es provista por la temperatura del agua caliente o tibia, la cual tiene una fuerte influencia sobre el desempeño de los productos de limpieza y el desprendimiento de la mugre de las telas. La energía química que interviene en el proceso de lavado es aquella contenida en los detergentes y demás productos de limpieza, y que interactúa con la ropa sucia cuando los agentes limpiadores entran en contacto con el agua y son activados por la temperatura de ésta. La energía mecánica es provista manualmente (al tallar la ropa) o por medio de una máquina lavadora, alimentada con energía eléctrica. La correcta combinación de estos elementos da como resultado la limpieza de la ropa en un tiempo adecuado, empleando cantidades determinadas de los productos de limpieza, y con un maltrato mínimo a las prendas.

A partir de los elementos que conforman el proceso de lavado, así como de las condiciones de la ropa sucia que se va a lavar, se puede ver que las variables básicas que determinan el desempeño de dicho proceso son (Izquierdo, 1964):

- a) *La naturaleza del substrato.* Las telas de las prendas se pueden agrupar en 4 tipos básicos: algodón, sintéticos y planchado permanente, lana y seda. Las prendas también se pueden agrupar de acuerdo con su grado de teñido.
- b) *La naturaleza de la mugre.* Existen varios tipos de mugre, dependiendo de su origen: proteínicas (pasto, sangre, leche, huevo, etc.), grasas (aceites, grasas), sintéticas (tintes, colorantes).
- c) *La composición del baño.* La mezcla de agua, detergente y otros productos de limpieza se conoce como "baño", y la proporción que guardan dichos componentes entre sí es un factor importante para el proceso.
- d) *Las condiciones físicas y mecánicas del lavado.* Éstas son: temperatura del baño, tipo de acción mecánica, tiempo de aplicación de la acción mecánica.
- e) *Las cantidades relativas de substrato, mugre y baño.* Existen cantidades óptimas en el uso de los productos para limpieza de ropa actuales, que dependen del tamaño de la carga de ropa y del grado de suciedad de la misma.

### 1.1.2 Mecanismos de Remoción de Mugre

El lavado de ropa empleando detergentes implica dos fenómenos (Jakobi y Löhr, 1987): a) la remoción de residuos poco solubles por medio de agua o una solución acuosa tensoactiva, y b) la disolución de impurezas solubles en el agua. La remoción de la mugre se realiza de dos maneras: por medio de reacciones químicas de redox o a través de procesos interfaciales (físicos) en los que la mugre es separada del substrato por acción de los agentes tensoactivos, los intercambiadores iónicos insolubles en agua y los agentes complejadores solubles en agua. Además de la remoción física de la mugre, se presenta el fenómeno de antirredeposición de la mugre por diversos mecanismos: a) dispersión y solubilización, b) adsorción y heterocoagulación, c) formación de una capa protectora de agentes poliméricos que se adsorben en el substrato.

Para que se lleven a cabo estos mecanismos, es necesario combinar la acción del detergente con los demás elementos del lavado de ropa. Bacon y Smith (Bacon y Smith, 1948) estudiaron la extracción de mugre de tejidos sucios variando las condiciones del proceso de lavado, y encontraron la siguiente relación:

$$S = k (C F t)^n$$

donde  $S$  es el índice de extracción de la suciedad,  $C$  es la concentración del detergente en el agua,  $F$  es la fuerza proporcionada por el agente mecánico,  $t$  el tiempo de lavado,  $n$  es una constante siempre positiva y menor que la unidad y  $k$  es otra constante. En estudios más recientes [2] se ha encontrado que existe un valor de concentración óptimo para cada detergente, por debajo del cual la eficiencia de limpieza disminuye al bajar la concentración, y por encima del cual dicha eficiencia permanece constante a pesar de que se agregue más detergente. En este último caso, existe un desperdicio tanto de detergente como de agua, ya que es necesario enjuagar con una mayor cantidad que la necesaria.

## 1.2. LA LAVADORA DE ROPA COMO SISTEMA ELECTROMECAÁNICO

Como ya se ha mencionado, las lavadoras son máquinas que esencialmente convierten energía eléctrica en energía mecánica adecuada para llevar a cabo el proceso de lavado. Sin embargo, los modelos más recientes no se limitan a cumplir solamente con esta función, sino que incorporan funciones complementarias y/o adicionales, como son: alimentación de agua y regulación automática de su temperatura, desagüe por medio de una bomba, centrifugado para facilitar el secado de la ropa, opciones de prelavado, etc.

Según el tipo de sistema ejecutor de la acción mecánica, actualmente existen 4 tipos básicos de lavadoras domésticas en el mercado mundial:

- De agitador: consisten básicamente de una tina de lavado cilíndrica con un elemento móvil de plástico (agitador) provisto de espas rígidas o flexibles. Los ejes del agitador y de la tina son verticales y coinciden (figura 1.1). Durante el lavado y el enjuague, el agitador ejecuta un movimiento angular de vaivén, moviendo así la ropa a través del baño y proporcionando la fuerza necesaria para desprender la mugre de las telas. Los modelos actuales cuentan con una tina interna utilizada para secar la ropa por centrifugado. Éste es el tipo más popular de lavadoras en América, y actualmente se fabrican con capacidades hasta de 10 kg de ropa seca.

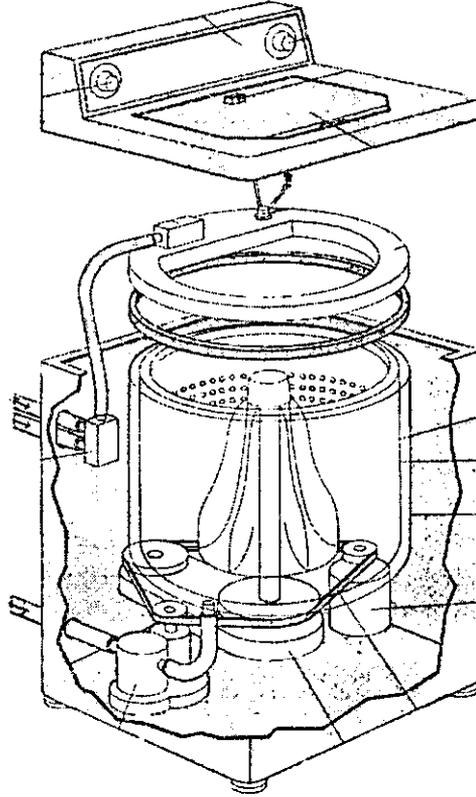


Figura 1.1. Lavadora de agitador.

- De tambor: las lavadoras de tambor están conformadas por una tina horizontal con un tambor interior (generalmente de acero inoxidable) cuyo eje también es horizontal (figura 1.2). La tina se llena de agua con detergente hasta cerca de 1/3 parte de su capacidad, y la ropa es movida por el tambor a través del baño. En estas lavadoras, el maltrato a la ropa es ligeramente menor que en las de agitador, y comparativamente emplean menos agua que los demás tipos de lavadoras. Durante el centrifugado, el tambor gira en promedio a mayor velocidad que la tina de las lavadoras de agitador, por lo que la eficiencia de secado de la ropa es mayor. Sin embargo, sus programas de lavado son más largos, su costo es mayor y su capacidad de ropa menor. En Europa son las lavadoras más vendidas, y en la actualidad la tendencia en Estados Unidos es comenzar a fabricarlas y comercializarlas, debido principalmente a cuestiones ecológicas y de eficiencia energética. La normatividad en este país es cada vez más estricta en cuanto a gasto de energía eléctrica y agua en lavadoras de ropa, y los

modelos de tambor, al llenarse de líquido hasta un nivel reducido, contribuyen en gran medida a cumplir con las disposiciones oficiales.

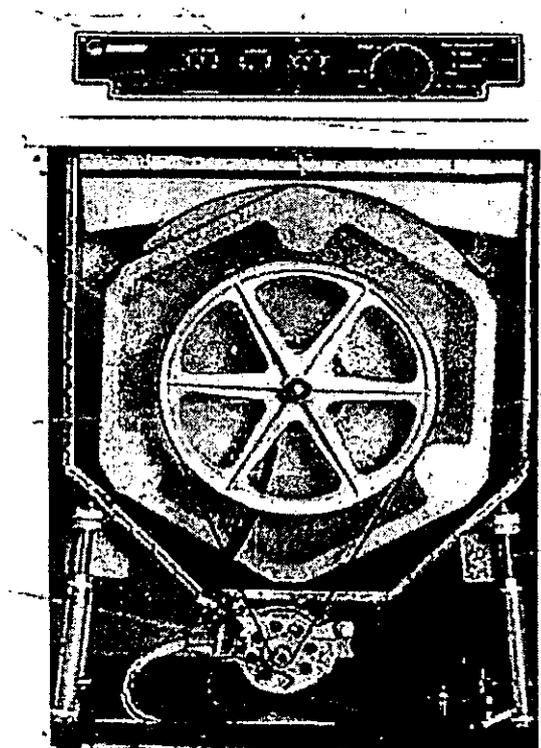
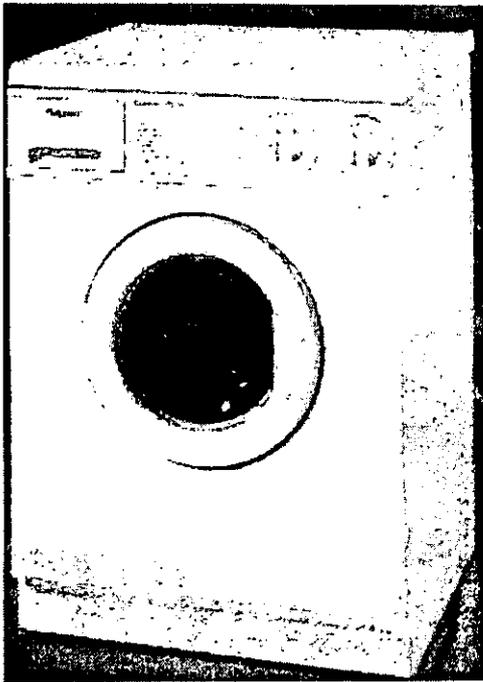


Figura 1.2. Lavadoras de tambor.

- De disco: cuentan con un propulsor en forma de disco, colocado en la parte inferior de la tina vertical de la lavadora, que gira a gran velocidad para provocar turbulencia en el agua y así facilitar el desprendimiento de la mugre (figura 1.3). La eficiencia de este sistema es relativamente alto, pero tiene la gran desventaja de provocar un gran maltrato a la ropa, por lo que las lavadoras de este tipo son cada vez menos populares.

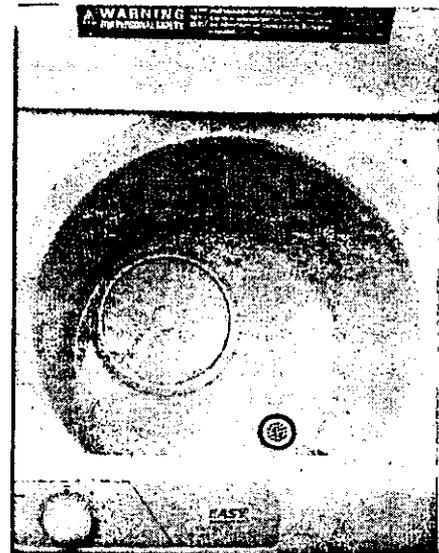
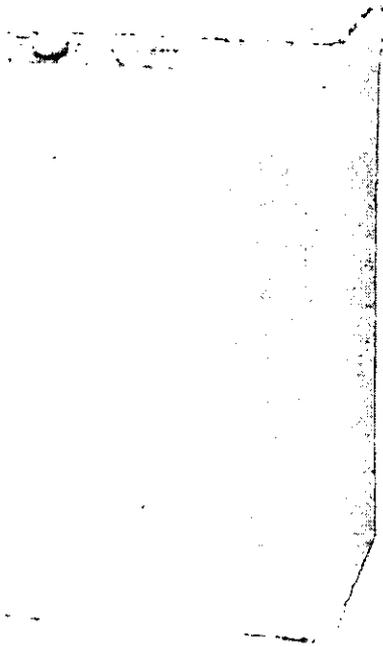
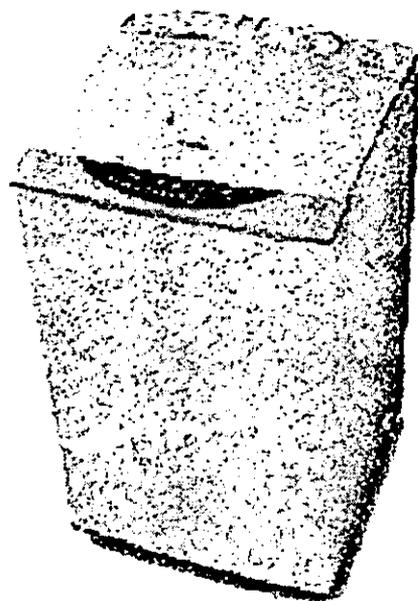
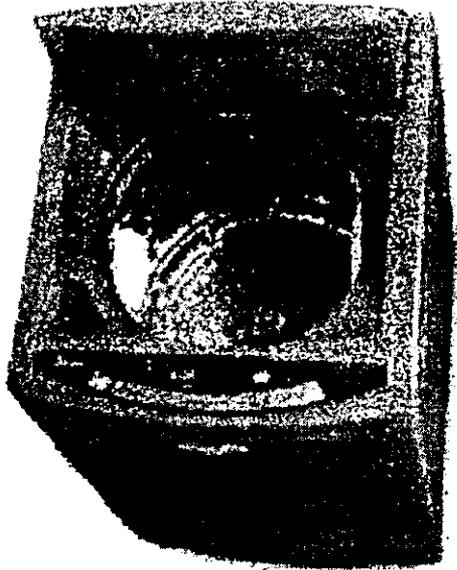


Figura 1.3. Lavadora de disco.

- De burbujas de aire: este tipo de lavadoras son de reciente desarrollo, por lo que su popularidad sólo se extiende a algunos países orientales y en menor escala al resto del mundo. El desprendimiento de la mugre se lleva a cabo provocando el choque de burbujas de aire contra la ropa sumergida en el agua con detergente. Aparentemente, el maltrato a la ropa es menor que en los otros tipos de lavadoras, y, al tener menos partes móviles, su costo es menor.



*Figura 1.4. Lavadoras de burbujas de aire.*

¿Por qué son tan populares estos métodos de lavado en todo el mundo, y por qué algunos de ellos no han modificado su principio de operación desde hace más de 50 años? La respuesta es simple: porque son efectivos y prácticos. En la práctica de la ingeniería generalmente no existen soluciones únicas a los problemas, y siempre habrá sistemas que satisfagan en mayor o menor medida los requerimientos del usuario. En el caso de las lavadoras de ropa, es preciso que los modelos se encuentren en un punto de equilibrio entre el desempeño (eficiencia), el consumo de recursos materiales y energéticos, el desgaste de las prendas, la confiabilidad, la estética y el costo. Los sistemas arriba descritos tienen ventajas y desventajas respecto a los otros tipos, pero de alguna manera se encuentran dentro del "intervalo de equilibrio" que los usuarios esperan. Todos ellos tienen características similares: estética, tamaño, confiabilidad, etc.; pero lo más importante es que todos ellos proporcionan el factor del proceso de lavado para el cual están diseñados: la fuerza mecánica. Esta fuerza es producto de una combinación de efectos, como son: movimiento relativo entre la prenda y el baño (fuerza de arrastre, transporte de masa), movimiento relativo de las partes de una misma prenda (tallado por fricción) y el contacto con el agitador y las paredes de la tina (fricción). De acuerdo con la ecuación de Bacon y Smith, la lavadora proporciona la fuerza y controla su tiempo de aplicación, por lo que es un elemento de suma importancia cuando se requiere determinar la eficiencia de un proceso particular de lavado.

La calidad de una lavadora se puede evaluar por medio de pruebas normalizadas, entre las que se incluyen: eficiencia de lavado, eficiencia de enjuague, desgaste de la ropa (mecánico y químico), eficiencia de exprimido, estabilidad durante el exprimido, consumo de agua y energía eléctrica, nivel de ruido, etc. Uno de los métodos de prueba más empleados para evaluar la eficiencia de lavado consiste en medir la reflectancia de probetas textiles previamente enmugradas, lavadas en la lavadora bajo condiciones específicas. Para medir la reflectancia se emplea un fotocolorímetro con un filtro que sólo permite el paso de la luz azul reflejada por la probeta textil. Se compara la reflectancia de la muestra lavada respecto a una muestra sin ensuciar ni lavar, y se determina un índice o eficiencia de lavado. Para llevar a cabo la prueba se deben controlar las siguientes variables: voltaje y frecuencia de alimentación, temperatura ambiente, grado de dureza del agua, temperatura del agua, composición del detergente, composición de la mugre, así como las condiciones físicas, composición, tejido, tela y tamaño de las probetas textiles.

Estas pruebas son esencialmente comparativas, ya que no existen rangos de valores aceptados internacionalmente.

### 1.3 LA LAVADORA PROPORCIONADA POR LA EMPRESA PATROCINADORA

En este trabajo se estudia una lavadora de agitador vertical, proporcionada por una compañía fabricante de enseres domésticos, por ser el tipo más aceptado en nuestro país debido a su alta confiabilidad y eficiencia. La lavadora en cuestión tiene una capacidad para 7 kg de ropa seca. A pesar de no ser un modelo muy reciente, sus componentes y funcionamiento son prácticamente iguales a los de las lavadoras con tecnología de punta que se encuentran actualmente en el mercado.

Desde el punto de vista tecnológico, la lavadora de agitador estudiada se puede dividir en 4 sistemas:

◊ Sistema envolvente: comprende las partes que dan cuerpo a la lavadora, y que sirven como soporte del resto de los sistemas. Las partes que lo componen son:

- \* Páneles laterales de lámina de acero
- \* Cubierta superior de plástico
- \* Tapa de plástico
- \* Bisagras de la tapa
- \* Pánel de control (copete) de lámina de aluminio
- \* Patas con tornillo para nivelación
- \* Cubierta posterior de lámina de acero galvanizada
- \* Cable de conexión a la electricidad
- \* Conexiones para las mangueras de entrada
- \* Mangueras de entrada de agua caliente y fría
- \* Conexión para la manguera de desagüe exterior
- \* Manguera de desagüe de la tina a la bomba
- \* Manguera de desagüe hacia el exterior
- \* Conducto para dosificar el blanqueador
- \* Perilla del control principal
- \* Perilla del control de nivel de agua

◊ Sistema de función primaria: es el encargado propiamente de producir la acción mecánica necesaria para el lavado. Está compuesto por:

- \* Motor eléctrico: ¼ hp, monofásico, de inducción
- \* Capacitor de arranque del motor: 45 µF, a 220/250 V
- \* Solenoide con resorte
- \* Transmisión:
  - ◆ Poleas y banda
  - ◆ Engranaje planetario
  - ◆ Freno de banda y tambor
  - ◆ Flecha del agitador
  - ◆ Flecha de la tina de centrifugado
- \* Sello en la base de la tina
- \* Agitador: de plástico inyectado, con aspas rectas rígidas
- \* Tina de centrifugado (interior, móvil): lámina de acero esmaltada y perforada
- \* Tina de lavado (exterior, fija): plástico, con orificios para la entrada de blanqueador, del presostato y de las flechas del agitador y la tina de centrifugado, salida para desagüe.

◊ Sistemas de funciones secundarias: las funciones secundarias son aquellas no indispensables para llevar a cabo el proceso de lavado, pero que contribuyen a simplificar la operación al usuario. La lavadora estudiada cuenta con los siguientes elementos auxiliares:

- \* Anillo de plástico relleno de agua para balance
- \* Suspensión a base de resortes/amortiguadores
- \* Filtro quitapelusa
- \* Depósito de blanqueador
- \* Depósito de suavizante de telas
- \* Válvulas solenoide para alimentación de agua (caliente y fría)
- \* Filtros en la entrada de las válvulas de alimentación de agua
- \* Bomba de desagüe: bomba centrífuga, álabes rectos, con impulsor de plástico y motor independiente de 105 W
- \* Tina de centrifugado

◊ Sistema de control: es el “alma” de la lavadora, encargado de coordinar la secuencia de operaciones tanto del sistema primario como de los sistemas de funciones secundarias.

El sistema de control original de la lavadora está compuesto por:

---

- \* Control principal: temporizador electromecánico
  - ◆ Perilla
  - ◆ Mecanismo de trinquete (no retorno)
  - ◆ 8 levas con eje común
  - ◆ 8 interruptores, que actúan como seguidores de las levas
  - ◆ Puertos de conexión de los interruptores hacia los dispositivos actuadores y de control
  - ◆ Motor de 3 W con reductor de velocidad (tren de engranes), acoplado al juego de levas
  - ◆ Conexiones con: alimentación de electricidad, válvulas de admisión de agua, circuito oscilador, bomba de desagüe, presostato, interruptor de seguridad
- \* Interruptor de seguridad en la tapa
- \* Circuito oscilador: compuesto de resistores, diodos, un capacitor, una bobina, un varistor, dos triacs, un circuito integrado y un cristal
- \* Presostato: sensor del nivel de agua de la tina

Las partes básicas que componen a las lavadoras de agitador se muestran en la figura 1.5.

#### 1.4. TENDENCIAS Y ÚLTIMOS ADELANTOS EN EL DISEÑO DE LAVADORAS

En la industria de los enseres domésticos, y en particular en el caso de las lavadoras de ropa, se presentan varios fenómenos que es importante mencionar. Los consumidores, al adquirir una lavadora nueva, dan por hecho que todos los productos limpiarán la ropa, no cuestionan su desempeño. Al ser una categoría madura de productos, la confiabilidad es lo primero que tienen en mente [4].

Debido a esta madurez tecnológica, los fabricantes han invertido mucho tiempo en perfeccionar la durabilidad de los productos, con el resultado de que, al igual que la mayoría de los enseres domésticos mayores, las lavadoras pueden durar varios años sin

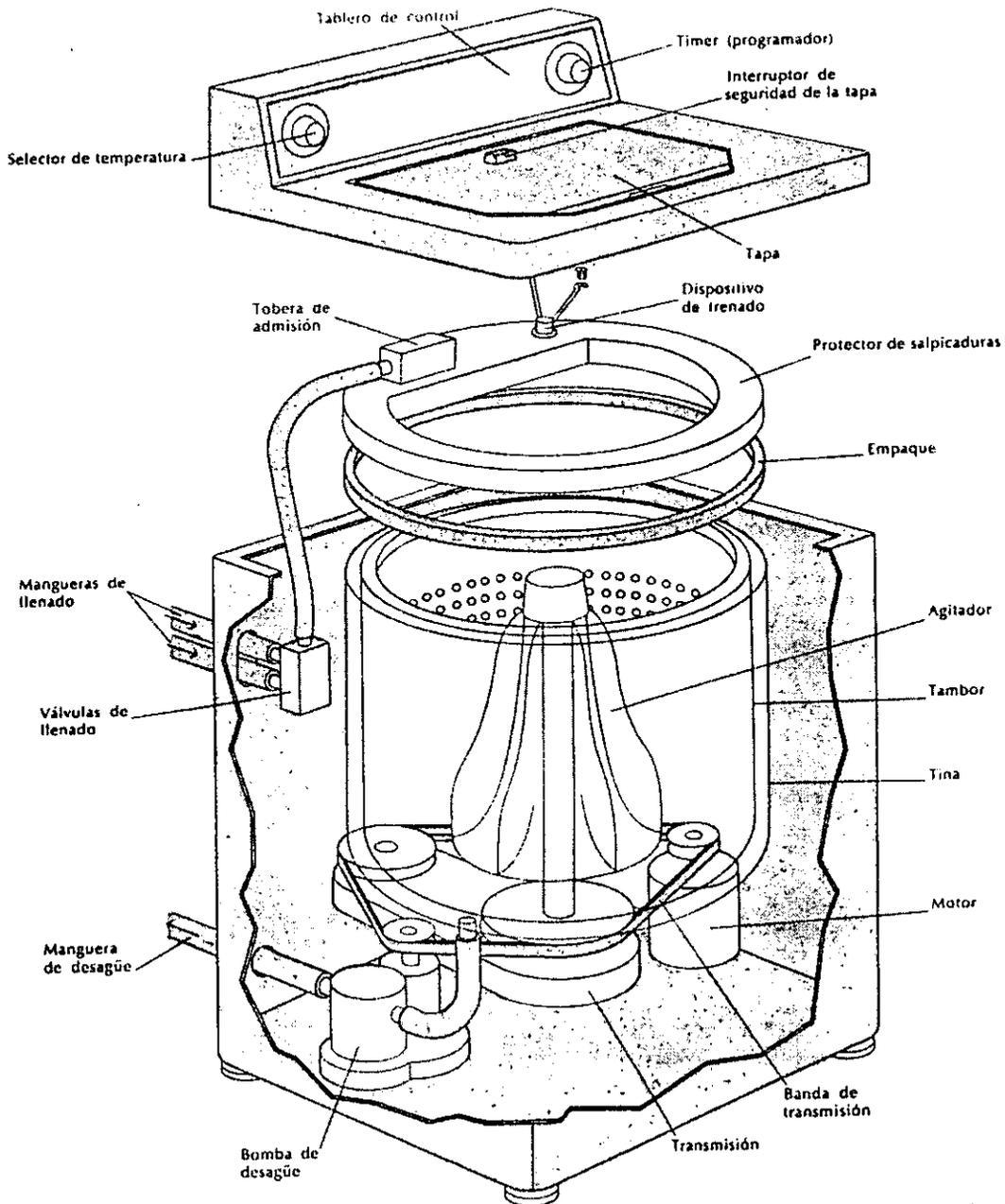


Figura 1.5. Partes principales de una lavadora de agitador.

requerir servicio ni reparación. Adicionalmente, los precios de los electrodomésticos no han crecido significativamente en varias décadas, gracias a los esfuerzos constantes de control de costos por parte de los fabricantes mayores. Comparativamente, el costo de las casas y los automóviles han crecido astronómicamente desde hace 30 años a la fecha, mientras que los precios de los enseres domésticos, considerando la inflación y demás factores económicos, prácticamente han mantenido el mismo valor a través del tiempo. En el caso de las casas, los automóviles y demás productos, el usuario está dispuesto a pagar el precio por tener artículos de lujo, con tecnología de punta, los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo, etc., y en el caso de los electrodomésticos no. De manera general, los enseres son productos que el usuario adquiere y da por hecho que funcionarán perfectamente por muchos años, además de tener la mayor comodidad y funcionalidad al operarlos.

Desde el punto de vista ingenieril, las tendencias principales en el diseño de lavadoras de ropa están dirigidas hacia los siguientes aspectos:

- Eficiencia energética: los nuevos modelos son cada vez más eficientes en cuanto al aprovechamiento de la energía, sin perjudicar por esto su desempeño. De hecho, algunos modelos recientes incorporan en su sistema de control opciones especiales de ahorro de energía, lo que hace todavía más económica su operación [3].
- Ahorro de agua: en los modelos actuales generalmente se incorpora un control del nivel del agua para ajustarlo según el tamaño de la carga de ropa sucia. En algunos casos, el control es por niveles discretos, y en otros el control es continuo (algunas marcas lo llaman "control infinito").
- Mayor capacidad: la mayoría de los fabricantes tiende a producir modelos con mayor capacidad de ropa, ampliando así su gama de productos para adecuarse a las necesidades específicas del mercado.
- Simplificación de labores, menor interacción y mayor comodidad para el usuario: los fabricantes de electrodomésticos se preocupan cada vez más por cuestiones ergonómicas y de comunicación con el usuario, para hacer más sencilla y cómoda la operación de los aparatos. Asimismo, añaden funciones adicionales para adecuar los programas de lavado a las necesidades del usuario.

- Mayor controlabilidad de variables: complementando la idea de tener menor interacción con el usuario, los sistemas de control de las lavadoras son cada vez más sofisticados y autónomos, esto es, monitorean constantemente el proceso de lavado y desde que éste inicia toman decisiones y ejecutan las acciones necesarias para continuar con el proceso. Los sistemas de control por microprocesador de algunos modelos europeos y asiáticos recientes emplean Lógica Difusa (Fuzzy Logic) para llevar a cabo la toma de decisiones. Gracias a la flexibilidad de dichos sistemas, se puede tener un mejor control de las variables del proceso de lavado: temperatura del baño, tiempo de lavado, enjuague y centrifugado, velocidad del motor, cantidad de agua, etc.
- Conciencia ambiental: esta tendencia involucra a otras industrias relacionadas con las lavadoras de ropa. Los fabricantes de lavadoras, además de preocuparse por la eficiencia energética, también tienen el compromiso de hacer productos que consuman menos agua para lavar las mismas cantidades de ropa. Los fabricantes de detergentes mejoran constantemente sus productos, para que sean más eficientes y biodegradables. Por otra parte, las prendas de vestir se confeccionan en su mayoría con telas que pueden ser lavadas con agua tibia o fría. De esta manera, se requiere una menor cantidad de agua caliente para llevar a cabo el proceso de lavado. Ésta es una de las medidas que más contribuyen al ahorro de energía y la protección al medio ambiente, ya que la energía necesaria para calentar el agua representa entre 85 y 90% del total de la demanda energética del proceso de lavado de ropa [1], [3].

### 1.5. ¿POR QUÉ DESARROLLAR PROYECTOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA?

La búsqueda de información técnica y comercial realizada en este trabajo, así como la identificación de tendencias en nuevos modelos que incorporan tecnología de punta, sirvió como base para llevar a cabo una auditoría tecnológica de la lavadora proporcionada por la compañía patrocinadora. Para su estudio se dividió en 4 sistemas: envolvente, primario, de funciones secundarias y de control. Dicha auditoría permitió comparar el grado de desarrollo tecnológico de los sistemas que componen a la lavadora respecto a los de los productos con tecnología de punta en el mercado mundial. De esta manera se pudieron identificar las áreas de oportunidad para mejorar la lavadora, las

# FALTAN PAGINAS

De la: 23

A la: 24

cuales abarcaban aspectos de apariencia integral, vibración y ruido, diseño del agitador, aditamentos y sistema de control. Se decidió estudiar dos aspectos primordiales: la reutilización del agua empleada en el proceso de lavado y el control de dicho proceso. La decisión de enfocar la investigación en estos dos aspectos se tomó en conjunto con los ingenieros de la empresa responsables del desarrollo tecnológico de los productos que fabrica y comercializa la misma en nuestro país, a partir de las conclusiones de la auditoría tecnológica realizada a la lavadora proporcionada y de las necesidades detectadas por la misma compañía. Inicialmente, el aspecto de la reutilización de agua incluía las funciones de almacenamiento, recirculación y purificación del agua; sin embargo, este último tema corresponde en mayor medida al área de Química Orgánica e Inorgánica, por lo que se descartó esta función como parte del proyecto. Es importante aclarar que, a la fecha, no existen muchos modelos de lavadoras que incorporen sistemas de almacenamiento y recirculación de agua. Este proyecto se desarrolla como respuesta a una necesidad nacional que produce una oportunidad de innovación tecnológica por el ahorro de agua, que cada día será más urgente y seguramente reglamentada por las instituciones gubernamentales relacionadas. En cuestión de control, se puede apreciar una tendencia hacia la incorporación de controles electrónicos digitales, sustituyendo los actuales sistemas de control por temporizador electromecánico. Los microcontroladores electrónicos tienen una mayor flexibilidad de programación, y pueden competir fácilmente con los temporizadores actuales en cuestión de costo.

## 1.6 DOSIFICADOR DE DETERGENTE EN POLVO

El proyecto "Futuro Tecnológico de Enseres Domésticos Mayores" consta de 7 proyectos menores enfocados a mejorar diversos aspectos de los principales productos que maneja dicha compañía: refrigeradores, estufas y lavadoras. Tres de los siete proyectos están dedicados a la lavadora de ropa. En esta tesis se exponen dos de ellos (Sistema de Reuso de Agua, Control Semi-Inteligente del Proceso de Lavado), mientras que el tercero fue desarrollado de manera paralela y consiste en el diseño y construcción del prototipo de un sistema dosificador de detergente en polvo (Montaño, 1998). Al finalizar los proyectos de la presente tesis aún no se contaba con un diseño final ni con un prototipo funcional del dosificador de detergente, por lo que se decidió postergar la

incorporación de dicho sistema a la lavadora, así como la propuesta de esquemas de control para el mismo. Por esta razón, en esta tesis sólo se mencionan los posibles aspectos que se verán alterados debido a la adición del dosificador de detergente a la lavadora. En cuestión de control, se contempla la incorporación de dicho sistema en aspectos como: conexiones, lógica del programa y comunicación con el usuario, pero no se detalla ninguno de estos temas. Como se menciona más adelante, la propuesta del esquema de control del dosificador de detergente se sugiere como trabajo futuro.

## REFERENCIAS

### **Páginas en Internet:**

[1] Universidad de Florida, Instituto de Agricultura y Alimentación:  
<http://hammock.ifas.ufl.edu>

[2] <http://www.kao.co.jp/lifee>

[3] <http://www.rmi.org/hebs>

[4] Revista "Appliance":  
<http://www.appliance.com/app/perm.press.htm>

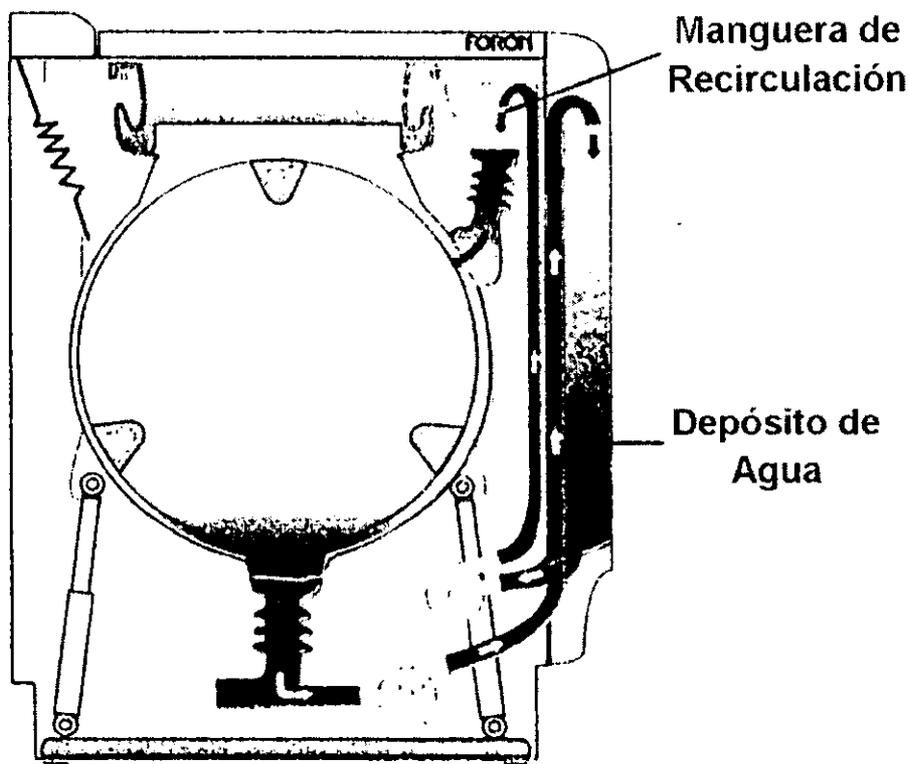
### **Libros y Tesis:**

- a) Izquierdo, R. Mecanismo de la Acción de la Carboximetilcelulosa. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, 1964.
- b) Jakobi, G. y Löhr, A. Detergents and Textile Washing. Principles and Practice. VCH. Alemania, 1987.
- c) Bacon, O.C. y Smith, J.E. Industrial Engineering Chemical. 40, 2361. Estados Unidos, 1948.
- d) Norma Oficial Mexicana NOM-J-337/2-1981. Lavadoras Electrodomésticas de Ropa. Métodos de Prueba de las Características Esenciales. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. México, 1981.
- e) Montaña, O. Diseño y Fabricación del Prototipo de un Dispositivo Dosificador de Detergente en Polvo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 1998.

## 2. SISTEMA DE REUSO DE AGUA

### 2.1 INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, la necesidad por aprovechar mejor el agua en el proceso de lavado ha propiciado el desarrollo de sistemas que almacenen el agua empleada en el ciclo de lavado o de enjuague, para ser aprovechada posteriormente en otro ciclo. Existen varios modelos en los mercados norteamericano y europeo que cumplen adecuadamente con esta función. A pesar de las ventajas que presentan estas lavadoras, son escasas y difíciles de encontrar. Algunas de las compañías que incorporan este adelanto en sus productos son: Elite (subsidiaria de Hoover), Foron, Whirlpool, Maytag, Kenmore, entre otras.



### "Eco-Depósito" FORON

Figura 2.1. Sistema de reuso de agua de las lavadoras Foron (Alemania).

Las lavadoras "suds saver" (ahorradoras de espuma) bombean el agua empleada para lavar una carga de ropa y reutilizan la mayor parte en una segunda carga. De la carga total de agua se puede reutilizar cerca de un 85-90%; el resto debe ser agua limpia proveniente de la toma. El agua es mantenida en una tina o tanque, que puede ser incluso el lavadero de la casa [1], [2]. Como se reutiliza el agua en cargas consecutivas, es importante que la tina esté hecha de algún material que aisle térmicamente el agua para que mantenga su temperatura [2]. Sin embargo, estos sistemas tienen ciertas limitaciones intrínsecas a su diseño, lo que no les permite ser la mejor alternativa para resolver el problema por completo. Las limitaciones más importantes detectadas en dichos sistemas son:

- Capacidad reducida de almacenamiento de agua.
- Intervención por parte del usuario para la operación del sistema. Esto es, los sistemas no son completamente automáticos ni autónomos.
- Ocupación de espacio externo al cuerpo de la lavadora.
- En algunos casos es necesario emplear un recipiente proporcionado por el usuario.

Considerando que dentro del alcance del proyecto no se contempla la incorporación de un sistema de limpieza del agua, la carga de agua más adecuada para ser almacenada y reutilizada es aquella empleada en el ciclo de enjuague. El agua empleada en el ciclo de lavado contiene detergente y demás productos de limpieza disueltos, además de la mugre en suspensión removida de la ropa. Debido a sus propiedades físicas y químicas el detergente disuelto tiene la suficiente capacidad para continuar limpiando la ropa aun después de varios ciclos de utilización. Sin embargo, existe el problema de la contaminación del agua por parte de las impurezas y mugre disueltas y en suspensión si permanece almacenada durante algún tiempo. Por otra parte, el agua empleada en el ciclo de enjuague es originalmente limpia, y su función es remover el detergente, la mugre y la espuma que permanecen en las prendas luego de drenar el agua empleada en el ciclo de lavado. Por esta razón, esta carga de agua contiene una menor concentración de impurezas que la carga de agua de lavado.

Existen varios métodos para llevar a cabo la limpieza del agua empleada en el lavado: precipitación, neutralización, desinfección (cloro, ozono, luz ultravioleta), filtración en lechos granulares, adsorción por zeolitas o carbón activado, entre otros (Metcalf & Eddy, Inc., 1979;

Rigola, 1989). Inicialmente, se contempló como parte del desarrollo de este proyecto el aspecto de limpieza y purificación del agua como parte del sistema de reuso de agua. Sin embargo, debido a que este tema involucra mayormente a las áreas de Química Orgánica e Inorgánica, se decidió desarrollar solamente la parte mecánica-hidráulica del sistema y dejar pendiente la función de limpieza del agua.

## 2.2 HIPÓTESIS

Es posible diseñar un sistema de almacenamiento y reuso de agua, para ser adaptado a la lavadora en estudio, que cuente con las siguientes características:

- Gran capacidad de almacenamiento de agua. El volumen de agua empleada en cada etapa del ciclo para lavar una carga de 7 kg de ropa es aproximadamente de 80 litros. Como parte de la especificación de diseño, se propone que la capacidad de almacenamiento del sistema de reuso de agua sea de 60 litros. El agua almacenada puede ser reutilizada durante la etapa de lavado de un ciclo posterior. Considerando que en un ciclo completo se emplean cerca de 160 litros de agua para una carga grande de ropa (80 litros en el lavado y 80 litros en el enjuague), al utilizar los 60 litros almacenados se puede ahorrar aproximadamente el 40% del volumen total. Si la carga de ropa es menor, la lavadora requiere una cantidad menor de agua para trabajar. Por tanto, si se reutilizan los mismos 60 litros de agua el porcentaje de ahorro (referido al nuevo volumen total empleado, menor a 160 litros) es mayor aún.
- Las dimensiones del sistema no deben exceder las correspondientes dimensiones de la lavadora. Esto es, dondequiera que se coloque el sistema de almacenamiento de agua, sus dimensiones físicas (altura, anchura y profundidad) deben ser menores o iguales a las de la lavadora.
- Operación automática, sin intervención por parte del usuario.
- Operación sencilla, controlable ya sea por temporizador electromecánico o por microcontrolador electrónico.
- La incorporación del sistema de reuso de agua no debe representar un incremento significativo en los tiempos de los ciclos de la lavadora. Esto es, los tiempos de llenado de la tina y de bombeo para desagüe de la misma no deben aumentar demasiado debido a la

incorporación de accesorios y elementos adicionales dentro de los circuitos hidráulicos que componen la lavadora.

- Ensamble de los componentes del sistema entre sí y con los elementos de la lavadora simple.
- Habilitación opcional por parte del usuario.
- Utilización de un número mínimo de partes adicionales, para evitar un incremento muy grande de los costos de fabricación. Se buscará la utilización de componentes comerciales de bajo costo de adquisición.
- Utilización de partes comerciales, compatibles con las partes de la lavadora existentes. Las piezas que no existan comercialmente deben ser de fácil manufactura, que requieran procesos similares a los que se emplean para fabricar los componentes de la lavadora.

## 2.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

### 2.3.1 Descomposición Funcional y Propuestas de Alternativas

El primer paso para llevar a cabo el proceso de diseño de un producto generalmente consiste en su descomposición funcional; esto es, desglosar las operaciones que debe realizar el producto al nivel más elemental posible. Actualmente, la lavadora lleva a cabo el drenado del agua empleada en el lavado y el enjuague por medio de una bomba centrífuga. La succión de la bomba recibe el agua de la parte inferior de la tina de lavado por gravedad. La descarga de la bomba está conectada a la manguera de desagüe, cuya salida debe colocarse a una altura mínima sobre el nivel del piso para evitar que el agua se fugue cuando la tina está llena. Un sistema de almacenamiento y reuso de agua para lavadoras domésticas de ropa debe ser capaz de realizar las siguientes funciones, algunas de las cuales son similares a las que realiza la lavadora para drenar el agua bajo el esquema actual de funcionamiento:

- a) *Almacenamiento de agua:* debe existir un espacio físico donde pueda almacenarse el agua que se reutilizará en programas de lavado posteriores.
- b) *Drenaje:* el agua empleada en la tina de lavado no se almacenará en su totalidad en el sistema de almacenamiento, además de que será necesario drenar dicho sistema periódicamente para efectos de limpieza. Por estas razones se debe contemplar alguna forma de extraer el agua

---

tanto a partir de la tina de lavado como a partir del sistema de almacenamiento que se proponga.

- c) *Recirculación*: una vez almacenada el agua, ésta debe tener la posibilidad de regresar a la tina de lavado en el momento en que requiera ser utilizada nuevamente.
- d) *Conducción*: el agua empleada debe ser conducida al sistema de almacenamiento, y cuando necesite reutilizarse debe ser conducida de regreso a la tina. Para ambos casos debe existir uno o varios sistemas de conducción del fluido entre la tina de lavado, el sistema de almacenamiento y la manguera de desagüe.
- e) *Filtrado*: el agua empleada en el lavado y el enjuague contiene partículas sólidas en suspensión, por lo que es necesario realizar operaciones de filtrado antes de almacenar el agua y al hacerla recircular hacia la tina de lavado.
- f) *Control del flujo*: si se desea tener un control sobre la conmutación del flujo entre la tina, el sistema de almacenamiento y la manguera de desagüe, es necesario contar con un sistema que realice esta función, o de alguna manera lograrlo por medio de la disposición física adecuada de los elementos que intervengan en el sistema de reuso de agua, sumada a una señal de control consistente con dicha disposición y proporcionada por el controlador de la lavadora.

El siguiente paso dentro del proceso de diseño consiste en generar alternativas de solución a cada una de las funciones en que se desglosó el problema. Se recomienda generar tantas como sea posible, sin tomar en cuenta por el momento qué tan factibles son técnicamente. Las distintas propuestas de solución para cada función se arreglan en una matriz llamada "carta morfológica". En cada renglón de la matriz se anotan las soluciones para cada función. La carta morfológica correspondiente al diseño del sistema de reuso de agua se presenta en la tabla 2.1.

La carta morfológica es muy útil para visualizar todas las combinaciones posibles que se pueden lograr con las distintas alternativas de solución de cada función. En este caso, las opciones escritas en letra mayúscula son las que resultaron elegidas después de realizar el siguiente análisis comparativo entre las distintas alternativas desde el punto de vista técnico y comercial:

FUNCIÓN	1	2	3	4
Almacenamiento	Bolsa de plástico	Serpentín	Manguera espiral	TANQUE
Drenaje de la tina	Gravedad	BOMBA CENTRÍFUGA	Bomba de desplazamiento positivo	
Drenaje del sistema de reuso de agua	GRAVEDAD	Bomba centrífuga	Bomba de desplazamiento positivo	
Recirculación	GRAVEDAD	BOMBA CENTRÍFUGA	Bomba de desplazamiento positivo	Capilaridad
Conducción	MANGUERA FLEXIBLE	Tubería rígida de metal	Tubería rígida de plástico	
Filtrado	Papel filtro	Filtro granular	Sedimentación por centrifugado	MALLA DE PLÁSTICO
Control de flujo	Válvula manual	VÁLVULA SOLENOIDE	Válvula servocontrolada	ARREGLO DE BOMBAS

Tabla 2.1. Carta Morfológica para el diseño del sistema de reuso de agua.

1. Si se busca tener una gran capacidad de almacenamiento de agua, como está planteado en la hipótesis, y siendo parte de la especificación de diseño, el sistema más adecuado es un tanque. La capacidad máxima de la tina de lavado es de aproximadamente 80 litros. Como no se almacenará toda el agua empleada en el proceso, se puede asignar al tanque de almacenamiento una capacidad de 60 litros, y cubrir de esta manera, en el peor de los casos (carga completa) hasta el 75% de la demanda de agua empleada en la etapa de lavado. Para cargas menores, en las que se requiere una menor cantidad de agua, se puede cubrir hasta un 90%, ya que se recomienda que al reutilizar agua al menos 10% sea agua limpia. Si se hubiera elegido un serpentín o una manguera de hule se hubiera requerido en cualquier caso que fuera de una gran longitud, lo que ocuparía demasiado espacio, ya sea dentro o fuera de la lavadora. La cantidad de material (plástico o metal) empleada en la fabricación de cualquiera

---

de estas alternativas también hubiera sido mucho mayor a la empleada para fabricar un tanque. El empleo de una bolsa de plástico para almacenar agua resulta problemático debido a que es un elemento poco robusto que puede generar problemas al interactuar con otros elementos. Esto es, si se encuentra conectada a bombas y demás elementos móviles, la falta de rigidez del hule puede provocar desgaste en zonas críticas, tales como uniones y salidas para conexiones. Si el sistema se ubica en la parte externa de la lavadora, el riesgo se incrementa, ya que la bolsa podría entrar en contacto con el usuario, quedando expuesta a golpes y movimientos accidentales.

2. Se elige realizar el drenaje de la tina empleando una bomba centrífuga principalmente porque de esta forma se realiza dicha función dentro del esquema actual de funcionamiento de la lavadora. El desagüe por gravedad involucra necesariamente al usuario dentro de la operación de la lavadora, tal como sucede en los modelos más sencillos que no cuentan con una bomba, con lo que el grado de automatización e independencia de la lavadora disminuye. Se prefieren las bombas centrífugas sobre las de desplazamiento positivo por varias razones: básicamente, porque manejan gastos volumétricos comparativamente mayores, a presiones menores, sufren un menor desgaste de sus partes, además de ser más económicas y sencillas de fabricar.
3. La alternativa más conveniente para drenar el sistema de reuso de agua consiste en hacerlo por gravedad. Esta función no se realizará frecuentemente, ni formará parte de los programas de lavado bajo el nuevo esquema de control, por lo que no es necesario contar con elementos que trabajen automáticamente para llevarla a cabo. Si se agregara una bomba exclusivamente para drenar el sistema de reuso cuando sea necesario limpiarlo, el costo de producción se incrementaría.
4. Para llevar a cabo la recirculación del agua almacenada hacia la tina se puede emplear una bomba centrífuga o incluso acomodar los elementos del sistema de modo que el agua circule por gravedad de un nivel superior a otro inferior. Ya se han comentado las desventajas de las bombas de desplazamiento positivo respecto a las centrífugas para esta aplicación, por lo que nuevamente no resultan ser una opción adecuada. La capilaridad aprovecha la tensión superficial del agua para moverla a través de conductos muy delgados sin necesidad de añadir energía al sistema. Sin embargo, en este caso no se puede aprovechar de manera práctica debido a que el gasto y la carga que podrían manejarse son muy pequeños.

5. La alternativa más conveniente para conducir el agua desde y hacia la lavadora consiste en emplear mangueras de hule similares a las que se emplean actualmente para alimentar la lavadora con agua y para drenar la tina. La principal ventaja de las mangueras de hule sobre la tubería rígida (tanto de metal como de plástico) es la elasticidad y atenuación de vibraciones por parte de los circuitos hidráulicos. Esto es, no existe dilatación térmica, los elementos tienen una mayor libertad para tener movimiento relativo entre sí, y las vibraciones generadas durante la operación de la lavadora son amortiguadas debido a la flexibilidad de las mangueras. Una ventaja adicional es la facilidad de instalación de las mangueras de hule para efectos de armado y desarmado del sistema. El acoplamiento de las mangueras al resto de los elementos se puede realizar por medio de abrazaderas o "clamps".
6. Para realizar la función de filtrado, es conveniente contar con elementos que no sea necesario reemplazar periódicamente, como sucede con el papel filtro; que no sean difíciles de limpiar, como lo son los filtros granulares, en los que se debe generar un flujo en sentido inverso a través del lecho después de un determinado tiempo de uso para eliminar las partículas que han quedado atrapadas entre el material granular; y que no requieran la adición de energía, como sucede con los sedimentadores centrífugos. La opción más viable la constituye la malla de plástico, similar a la empleada en el filtro quitapelusa que se encuentra localizado dentro del agitador de la lavadora.
7. El esquema de control automático más sencillo se puede lograr empleando válvulas solenoide y bombas centrífugas con motor independiente. Estos elementos se pueden controlar convenientemente por medio de un temporizador electromecánico o por medio de un microcontrolador simplemente al conectarlos o desconectarlos de la línea de alimentación de energía eléctrica, empleando interruptores, relevadores, triacs o cualquier otro elemento de control del tipo ENCENDIDO/APAGADO. Las válvulas manuales son más económicas que las eléctricas, pero disminuyen el grado de automatización del sistema. En esta aplicación no es necesario regular el gasto o la presión, por lo que una válvula servocontrolada resulta innecesaria, además de ser más costosa y difícil de controlar.

En la medida de lo posible se deben emplear componentes comerciales, similares a los que ya forman parte de la lavadora, de modo que exista compatibilidad de materiales, dimensiones, modos de ensamble, costos reducidos, etc.

### 2.3.2 Análisis de Arquitecturas

Una vez elegidas las alternativas que mejor cumplen con los criterios de selección, el siguiente paso dentro del proceso de diseño consiste en realizar distintos acomodos de las mismas para conformar el sistema completo. Esto permite generar y comparar distintas arquitecturas, visualizar mejor las ventajas y desventajas de cada una, y así poder elegir la más conveniente. En el caso de las funciones de drenaje y recirculación de agua es posible intercambiar o combinar las soluciones de ambas. Así, por ejemplo, se puede proponer un sistema en el que el drenaje se realice por medio de una bomba centrífuga y la recirculación por gravedad o empleando otra bomba centrífuga. A partir de este análisis conceptual surgieron las siguientes ideas:

a) *Tanque de almacenamiento colocado en la parte superior de la lavadora.* El arreglo se muestra en la figura 2.2a. El tanque de almacenamiento se coloca en la parte superior de la lavadora, con una disposición similar a la de los centros de lavado domésticos, compuestos por una lavadora y una secadora incorporadas en el mismo mueble. El agua sería drenada a partir de la tina por acción de una bomba centrífuga. La conmutación entre el desagüe y el almacenamiento se realizaría por medio de un par de válvulas solenoide. El agua quedaría almacenada dentro del tanque y regresaría a la tina por gravedad. El control de la recirculación se llevaría a cabo por medio de otra válvula solenoide colocada a la salida del tanque de almacenamiento. Un sistema de recirculación alternativo podría configurarse por medio de dos bombas conectadas ambas en la succión a la salida de la tina de lavado (figura 2.2b). La descarga de una de ellas sería conducida al tanque de almacenamiento de agua y la descarga de la otra bomba estaría conectada directamente al drenaje. Esta modificación elimina el uso de las válvulas de conmutación entre el drenaje y el tanque de almacenamiento. En este caso se mantendría únicamente la válvula de control de la descarga del tanque de almacenamiento.

*NOTA: En las figuras 2.2 a 2.5 se representan las bombas centrífugas como B1, B2, etc., y las válvulas solenoide como V1, V2, etc.*

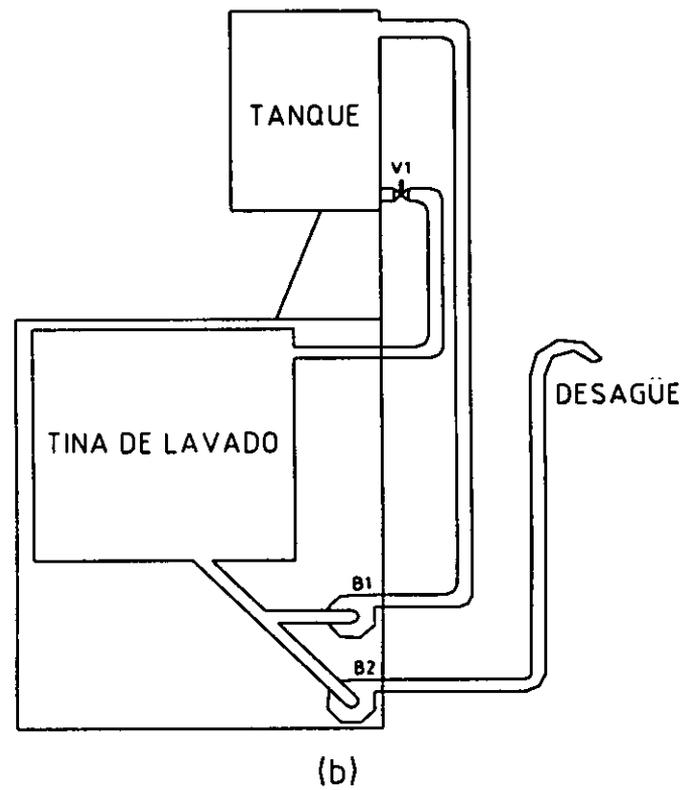
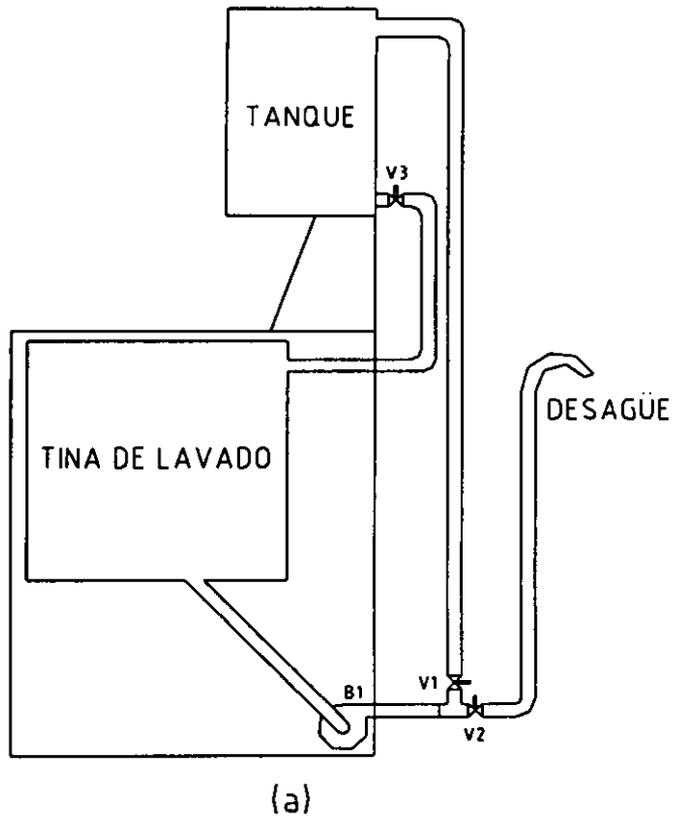


Figura 2.2. Arquitectura con tanque superior: (a) empleando válvulas, (b) empleando bombas.

b) *Tanque de almacenamiento externo a la lavadora.* Este arreglo ya es utilizado actualmente por lavadoras "suds saver". El tanque de almacenamiento se coloca cerca de la lavadora, y se comunica con la tina de lavado por medio de dos mangueras: una para conducir el agua usada de la tina de lavado a la tina externa y la otra para recircular el agua hacia la lavadora. En este caso no se emplean válvulas de control, ya que la tina de la lavadora cuenta con una sola manguera de desagüe cuya descarga se coloca ya sea en la tina de almacenamiento o en el drenaje, por lo que la conmutación es manual, y el sistema no es completamente automático. Para recircular el agua hacia la lavadora se coloca una bomba a la salida del tanque de almacenamiento, cuya descarga conduce el agua de regreso a la tina de la lavadora. Existen dos alternativas para hacer el sistema completamente automático: una de ellas consiste en añadir un par de válvulas solenoide para realizar la conmutación entre drenaje y almacenamiento, conservando las dos bombas centrífugas (una a la salida de la tina de la lavadora y la otra a la salida del tanque), como se muestra en la figura 2.3a. En la otra alternativa se pueden eliminar las válvulas de conmutación, sustituyéndolas por otra bomba centrífuga a la salida de la tina de la lavadora. De esta manera se tendrían 3 bombas: una para comunicar la tina de la lavadora con el tanque, otra para drenar la tina de la lavadora al desagüe, y una tercera para regresar el agua almacenada a la tina de la lavadora (figura 2.3b).

c) *Tanque de almacenamiento colocado en las paredes laterales del cuerpo de la lavadora.* Esta alternativa también existe ya comercialmente (la marca alemana Foron la incorpora en algunas de sus lavadoras de tambor). Una representación de esta arquitectura se muestra en la figura 2.4. Las alternativas de sistemas hidráulicos son similares a los empleados en la opción de la tina externa: se pueden emplear 2 bombas centrífugas con 2 válvulas de conmutación, ó 3 bombas centrífugas sin válvulas solenoide. Los esquemas de control son iguales a los descritos en el inciso anterior. De alguna forma, esta alternativa es una variante de la anterior (tanque externo). La diferencia radica en que, para este caso, el tanque forma parte integral del cuerpo de la lavadora, al estar sujeto de la misma, mientras que en la anterior el tanque es un elemento separado.

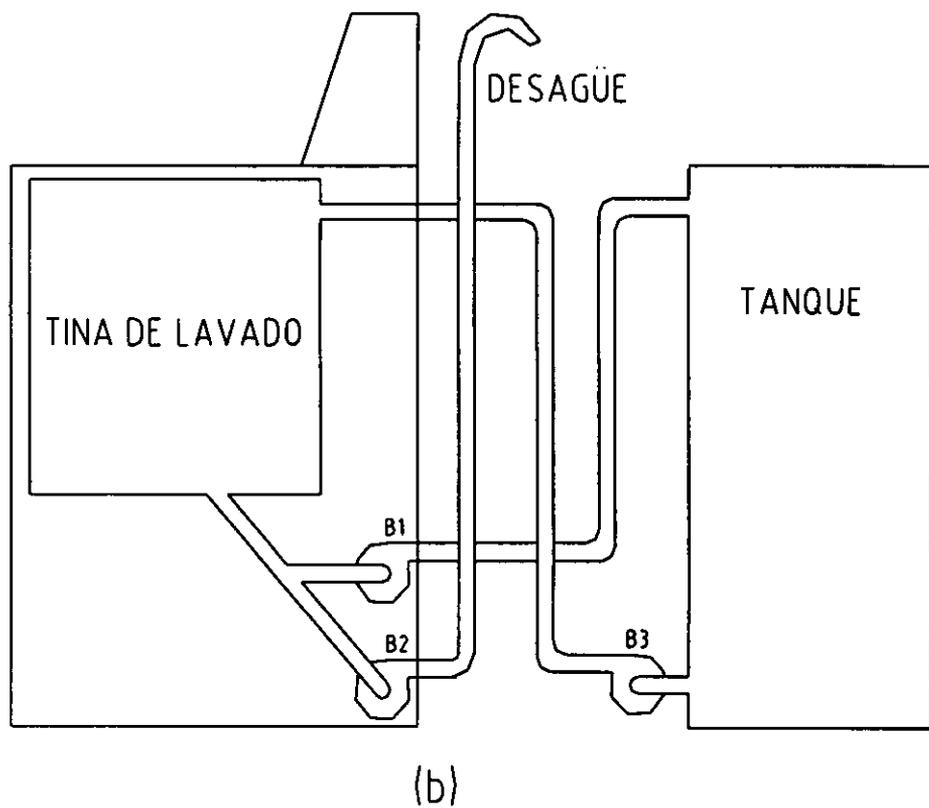
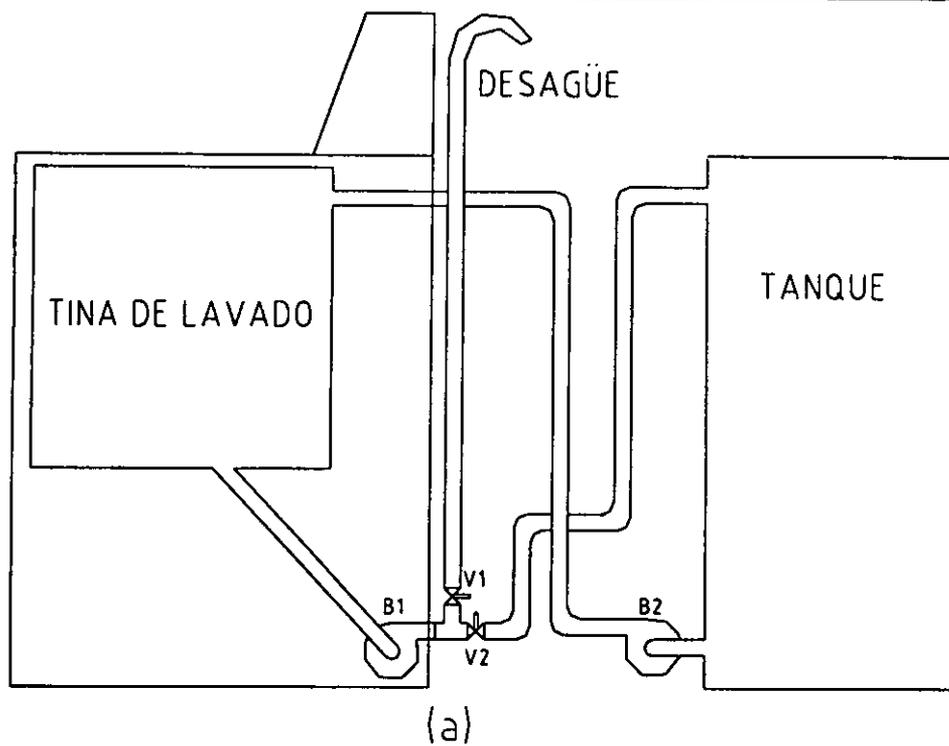


Figura 2.3. Arquitectura con tina externa: (a) empleando válvulas, (b) empleando bombas.

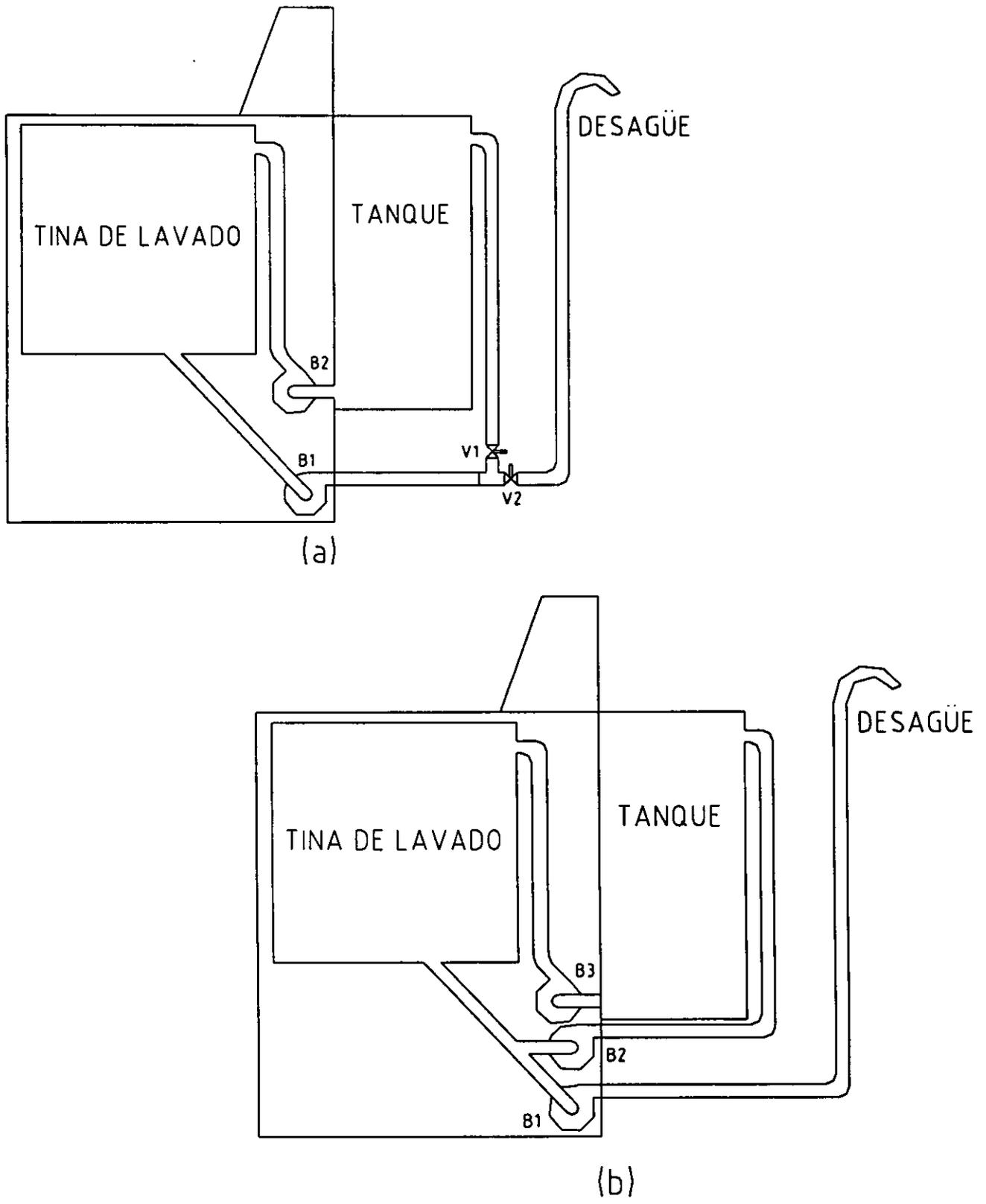


Figura 2.4. Arquitectura con tanque lateral: (a) empleando válvulas, (b) empleando bombas.

d) *Tanque de almacenamiento colocado en la parte inferior del cuerpo de la lavadora.* Esta alternativa se muestra en la figura 2.5, y consta de un tanque de almacenamiento colocado dentro de la estructura de la lavadora por debajo de la tina de lavado y del conjunto motor-transmisión. En el esquema más simple, la entrada del tanque de almacenamiento y la salida de la tina de la lavadora están conectadas entre sí y a la succión de la bomba centrífuga. Tanto la entrada del tanque como la salida de la tina cuentan con una válvula solenoide, para poder controlar el flujo entre la tina y el tanque, el flujo entre la tina y la succión de la bomba para realizar el desagüe y el flujo entre el tanque y la bomba para recircular el agua. En la descarga de la bomba se coloca otro par de válvulas solenoide, para realizar la conmutación entre la recirculación a la tina de lavado y el desagüe hacia el drenaje.

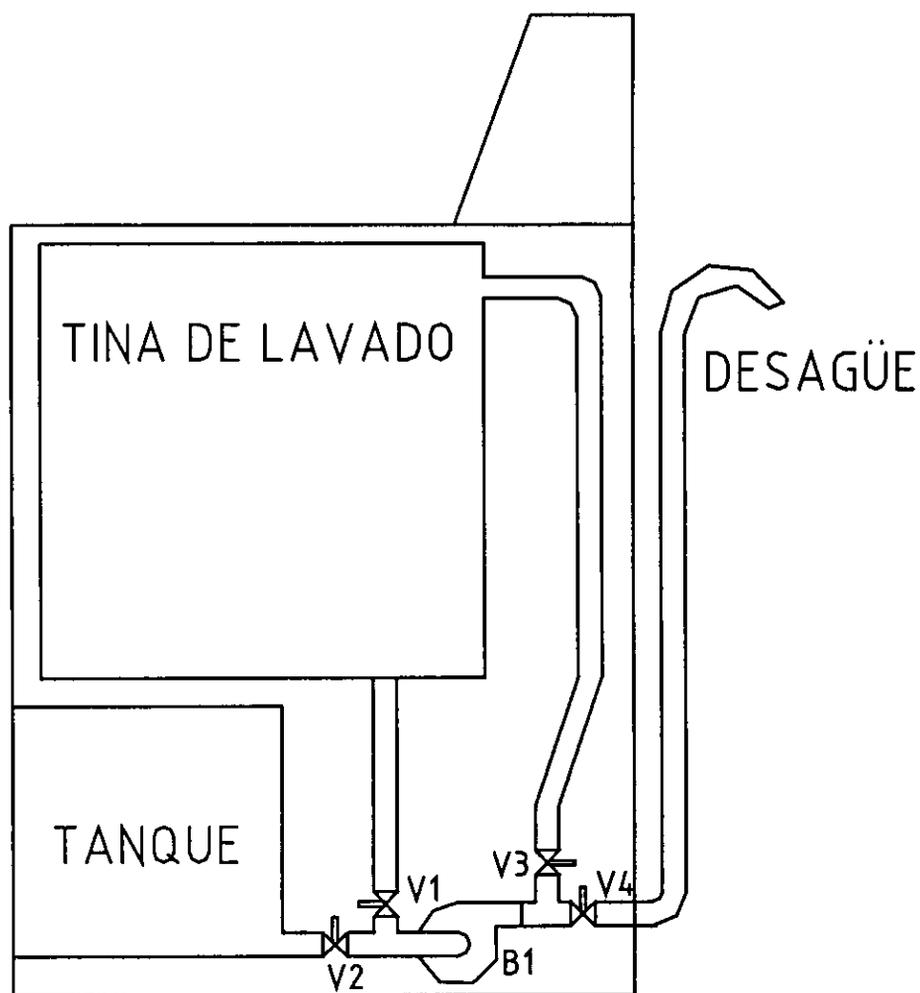


Figura 2.5. Arquitectura con tanque inferior.

Cada arquitectura presenta ventajas y desventajas debidas a diversos factores: disposición de los elementos entre sí, cargas hidráulicas, espacio ocupado externo a la lavadora, drenado manual y limpieza del tanque, etc. A continuación se presenta una tabla comparativa entre las arquitecturas propuestas, en la cual se muestran los componentes que integran cada sistema, así como las ventajas y desventajas de cada una. Los componentes listados en la tabla 2.2 son sólo aquéllos que cambian entre sistemas. Los componentes comunes a todas las arquitecturas son: tanque o tina de almacenamiento, mangueras de hule y filtros de malla de plástico.

Para llevar a cabo una comparación más objetiva de las ventajas y las desventajas de cada arquitectura, se elaboró una matriz de decisión. Esta matriz es un arreglo en el que se enumeran las arquitecturas a ser comparadas y se acomodan en renglones. En las columnas de la matriz se acomodan los distintos aspectos de evaluación, junto con los factores de ponderación correspondientes. Para cada aspecto de cada arquitectura se asigna una calificación numérica. En la última columna se muestra una calificación global del sistema, que resulta de realizar un promedio ponderado multiplicando las calificaciones por los pesos relativos y sumando los productos. Los factores de ponderación se asignan de acuerdo con la importancia de cada aspecto relativa al resto. Su determinación numérica, junto con la de las calificaciones, es subjetiva y depende de quien elabore la matriz de decisión. Sin embargo, al emplearse un mismo criterio para evaluar a todas las arquitecturas, la matriz puede ayudar como guía para decidir cuál es el sistema que mejor se apega a la especificación.

En la tabla 2.3 se presenta la matriz de decisión elaborada para la elección de la arquitectura más conveniente.

ARQUITECTURA	COMPONENTES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
a) Tanque superior (1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 bomba</li> <li>• 3 válvulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacidad</li> <li>✓ Limpieza</li> <li>✓ Drenaje manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Cambio en la apariencia de la lavadora</li> <li>✗ Requiere una estructura robusta para soportar el tanque</li> </ul>
b) Tanque superior (2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 bombas</li> <li>• 1 válvula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacidad</li> <li>✓ Limpieza</li> <li>✓ Drenaje manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Cambio en la apariencia de la lavadora</li> <li>✗ Requiere una estructura robusta para soportar el tanque</li> </ul>
c) Tanque externo (1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 bombas</li> <li>• 2 válvulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacidad</li> <li>✓ Limpieza</li> <li>✓ Drenaje manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Requiere un espacio adicional al ocupado por la lavadora en planta</li> <li>✗ Mangueras más largas</li> </ul>
d) Tanque externo (2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 bombas</li> <li>• 0 válvulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacidad</li> <li>✓ Limpieza</li> <li>✓ Drenaje manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Requiere un espacio adicional al ocupado por la lavadora en planta</li> <li>✗ Mangueras más largas</li> </ul>
e) Tanque lateral (1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 bombas</li> <li>• 2 válvulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limpieza</li> <li>✓ Drenaje manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Ocupa espacio adicional al del cuerpo de la lavadora</li> </ul>
f) Tanque lateral (2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 bombas</li> <li>• 0 válvulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limpieza</li> <li>✓ Drenaje manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Ocupa espacio adicional al del cuerpo de la lavadora</li> </ul>
g) Tanque inferior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 bomba</li> <li>• 4 válvulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No ocupa espacio externo a la lavadora</li> <li>✓ No modifica la apariencia de la lavadora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Difícil limpieza y drenaje manual</li> <li>✗ Dificulta el mantenimiento de las piezas internas al cuerpo de la lavadora</li> <li>✗ Poca capacidad</li> <li>✗ Problemas con la carga de succión a partir del tanque</li> <li>✗ Obstrucción de la descarga de la tina por la válvula de control</li> </ul>

Tabla 2.2. Comparación entre Arquitecturas.

ARQUITECTURA	1 (0.20)	2 (0.12)	3 (0.18)	4 (0.14)	5 (0.10)	6 (0.13)	7 (0.13)	TOTAL (1.00)
1. Tanque superior (1)	10 / 2.00	7 / 0.84	10 / 1.80	4 / 0.56	8 / 0.80	8 / 1.04	7 / 0.91	7.95
2. Tanque superior (2)	10 / 2.00	7 / 0.84	7 / 1.26	8 / 1.12	8 / 0.80	7 / 0.91	8 / 1.04	7.97
3. Tanque externo (1)	10 / 2.00	10 / 1.20	7 / 1.26	6 / 0.84	10 / 1.00	7 / 0.91	9 / 1.17	8.38
4. Tanque externo (2)	10 / 2.00	10 / 1.20	4 / 0.72	10 / 1.40	10 / 1.00	7 / 0.91	9 / 1.17	8.40
5. Tanque lateral (1)	8 / 1.60	8 / 0.96	7 / 1.26	6 / 0.84	10 / 1.00	7 / 0.91	7 / 0.91	7.48
6. Tanque lateral (2)	8 / 1.60	8 / 0.96	4 / 0.72	10 / 1.40	10 / 1.00	7 / 0.91	7 / 0.91	7.50
7. Tanque inferior	6 / 1.20	2 / 0.24	10 / 1.80	2 / 0.28	4 / 0.40	10 / 1.30	6 / 0.78	6.00

Aspectos considerados: (el número entre paréntesis es el factor de ponderación)

1. Capacidad máxima. Se mencionó anteriormente que el tanque debe tener una capacidad de almacenamiento de 60 litros aproximadamente. Para el tanque lateral es difícil tener esta capacidad sin que el tanque sobresalga demasiado del cuerpo de la lavadora y cause problemas de estabilidad. Para el tanque abajo, el volumen interno de la lavadora no es suficiente para acomodarlo.
2. Facilidad de limpieza y drenaje manual.
3. Número de bombas: 1 bomba = 10; 2 bombas = 7; 3 bombas = 4
4. Número de válvulas: 0 válvulas = 10; 1 válvula = 8; 2 válvulas = 6; 3 válvulas = 4; 4 válvulas = 2
5. Problemas de presión. En este aspecto se consideran problemas tales como carga de succión, de descarga y pérdidas en la descarga debidas a accesorios (válvulas).
6. Espacio ocupado externo a la lavadora, estética.
7. Facilidad de manufactura y ensamble con la lavadora.

Tabla 2.3. Matriz de decisión para la selección de arquitecturas del sistema de reuso de agua.

Las conclusiones y observaciones que pueden desprenderse del análisis de la matriz de decisión para la selección de arquitecturas son:

- Las siete alternativas tienen calificaciones del mismo orden. Esto indica que todas las propuestas tienen más o menos la misma validez como soluciones al problema, sin que ninguna convenga al 100%, de acuerdo con el criterio seleccionado para evaluarlas.
- La arquitectura que menos se apega a la especificación de diseño es aquella en la que el tanque se coloca en la parte inferior de la lavadora. A pesar de emplear una sola bomba y tener la ventaja de no ocupar espacio externo al cuerpo de la lavadora, los problemas de bombeo, de capacidad y de limpieza manual hacen que ésta sea la alternativa menos conveniente, y por tanto en este momento puede descartarse.
- Las tres primeras arquitecturas (tanque arriba, tina afuera, tanque al lado) tienen calificaciones similares, por lo que el balance entre ventajas y desventajas para los seis casos es aproximadamente igual. A pesar de que las arquitecturas con tanque lateral tienen las calificaciones más bajas de los tres tipos, no es conveniente descartarlas en este momento, debido a que presentan más o menos las mismas ventajas y desventajas que las otras dos arquitecturas. Además, al ser empleadas en modelos comerciales actuales, justifica un análisis más detallado.
- La matriz de decisión es útil como guía de comparación. En este caso, sirvió para descartar una de las alternativas, pero no ayuda a seleccionar una sola como la más adecuada. Es necesario realizar un análisis más profundo para determinar la mejor solución al problema.

#### 2.4 SISTEMA DE REUSO DE AGUA PROPUESTO

Luego de una serie de análisis más detallados en los que se consideraron nuevos aspectos (acomodo usual de las lavadoras en los hogares, estética, inestabilidad y riesgo de volcadura debida al peso) se llegó a una solución que contempla de alguna manera a las dos alternativas de arquitectura más viables: el tanque externo y el tanque superior. La propuesta consiste en diseñar un sistema de reuso de agua flexible, teniendo el usuario la posibilidad de colocarlo al nivel del piso a un costado de la lavadora o por encima del nivel superior de la

# FALTAN PAGINAS

De la: 43

A la: 51

empleando un temporizador electromecánico o un microcontrolador. Estos elementos deben tener ciertas características para poder ser incorporados a la lavadora:

- Bajo costo
- Bajo consumo de energía
- Volumen reducido, para no ocupar demasiado espacio
- Resistencia a elevadas temperaturas del agua
- Facilidad de ser acoplados hidráulica y mecánicamente con otros elementos
- Elevada resistencia mecánica al desgaste de las partes móviles, para tener vidas útiles largas
- Tener un mínimo de partes metálicas sujetas a corrosión

Básicamente, los elementos de control de flujo de agua dentro del sistema de reuso cumplen con cuatro funciones:

- a) Conducción del agua empleada en la tina durante el proceso de lavado (en las etapas de prelavado o enjuague) hacia el tanque de almacenamiento, cuando el usuario desee reutilizar dicho volumen de agua en un proceso posterior.
- b) Conducción del agua empleada en la tina durante el proceso de lavado hacia el drenaje, cuando el usuario no desee reutilizar el agua en un proceso posterior.
- c) Detección del nivel máximo de agua que se permite almacenar en el tanque, para evitar que ésta se derrame en caso de que el volumen de agua a ser almacenado exceda la capacidad máxima del tanque.
- d) Conducción del agua almacenada en el tanque hacia la tina de la lavadora

Para llevar a cabo estas funciones, se proponen dos configuraciones de circuitos hidráulicos, ilustrados en las figuras 2.9 y 2.10, y explicadas más adelante. Como ya se ha mencionado, la diferencia entre ambos sistemas consiste en la posición del tanque de almacenamiento respecto a la lavadora y el elemento de control del flujo de recirculación de agua: bomba centrífuga o válvula solenoide. Nuevamente en estas figuras las bombas están representadas como B1 y B2, las válvulas como V1, V2 y V3, y el presostato como P.

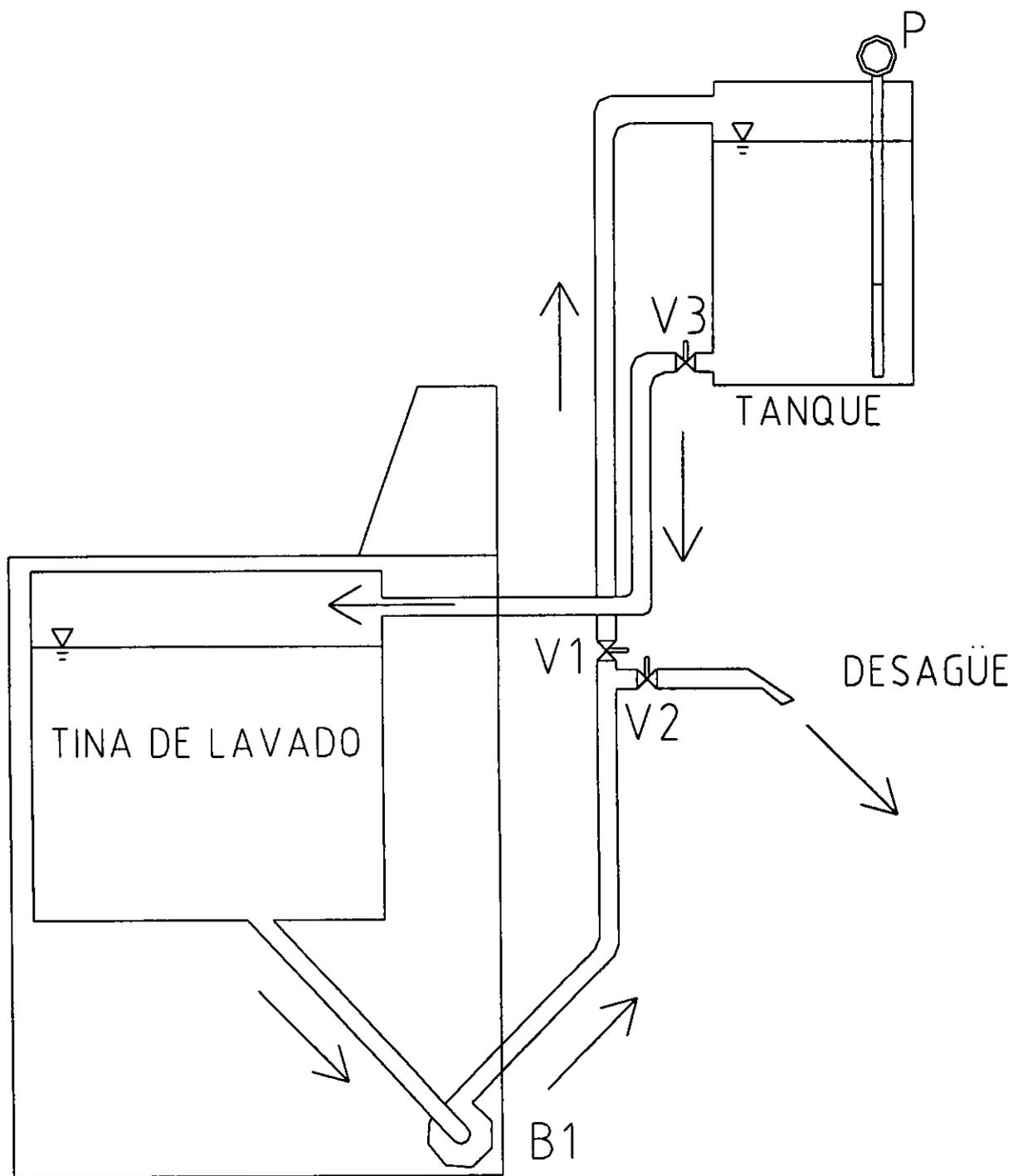


Figura 2.9. Sistema de reuso de agua empleando válvula solenoide para la recirculación.

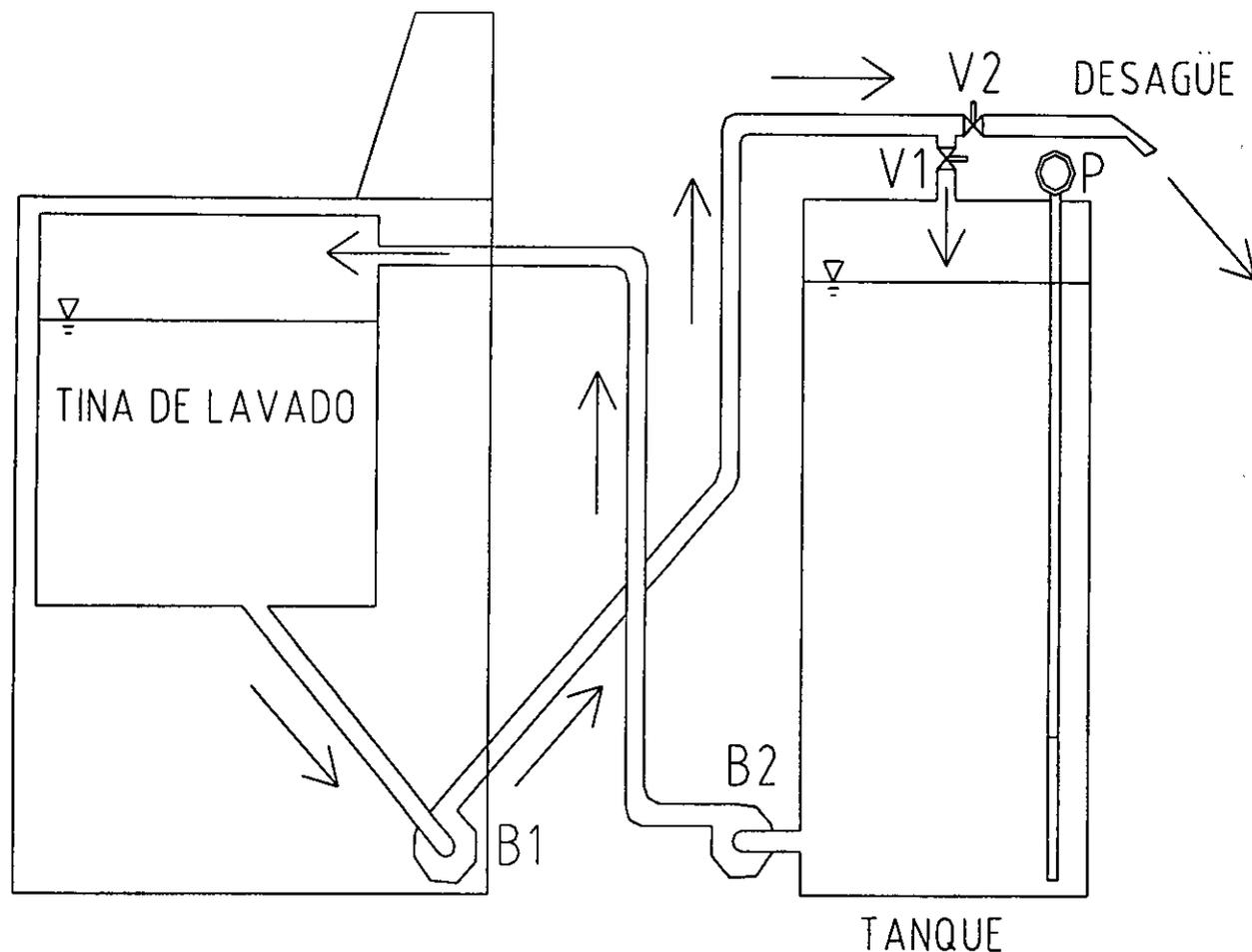


Figura 2.10. Sistema de reuso de agua empleando bomba centrífuga para la recirculación.

El funcionamiento de ambos sistemas se puede resumir en la siguiente secuencia de operaciones:

1. Si el usuario así lo desea y se lo indica a la lavadora (capítulo 3), el agua empleada en los ciclos de prelavado o de enjuague es bombeada a partir de la tina de la lavadora, empleando la bomba B1. Esta bomba es la proporcionada actualmente en la lavadora para llevar a cabo la función de desagüe hacia el drenaje. Para que el agua se almacene en el tanque, es necesario que la válvula V1 esté abierta y la válvula V2 cerrada.
2. Si el usuario no indica a la lavadora que desea reutilizar el agua empleada en el proceso de lavado, el agua de la tina es bombeada nuevamente empleando la bomba B1. Sin embargo, en este caso la válvula que se abre es V2, y V1 permanece cerrada. De esta manera, el agua es

bombeada hacia el drenaje de manera similar a como sucede en el esquema de funcionamiento actual de la lavadora. El agua empleada en la etapa de lavado invariablemente es bombeada hacia el drenaje, ya que, como se mencionó en la introducción, esta agua contiene una mayor concentración de mugre, partículas y productos químicos que la empleada en el prelavado o el enjuague.

3. El presostato consiste básicamente de un interruptor eléctrico que es actuado por un diafragma en el que se mide una presión diferencial. Uno de los lados del diafragma se encuentra a presión atmosférica, mientras que al otro se conecta una manguera proveniente del fondo del tanque. Cuando éste se encuentra vacío, la manguera está llena de aire. Conforme el tanque se llena de agua, el aire de la manguera que quedó atrapado comienza a comprimirse debido a la presión hidrostática que ejerce el agua a la entrada de la manguera. El presostato se calibra de modo que, cuando se alcance cierto nivel de agua, la presión hidrostática alcance un valor tal que el diafragma haga conmutar el interruptor eléctrico. El presostato se emplea en el Sistema de Reuso de Agua para que envíe una señal eléctrica al sistema de control de la lavadora en cuanto se alcanza el nivel máximo de agua a ser almacenada dentro del tanque. De esta manera, si el sistema está conduciendo el agua de la tina hacia el tanque y éste se llena, el sistema de control debe abrir la válvula de desagüe (V2) y cerrar la de almacenamiento (V1).

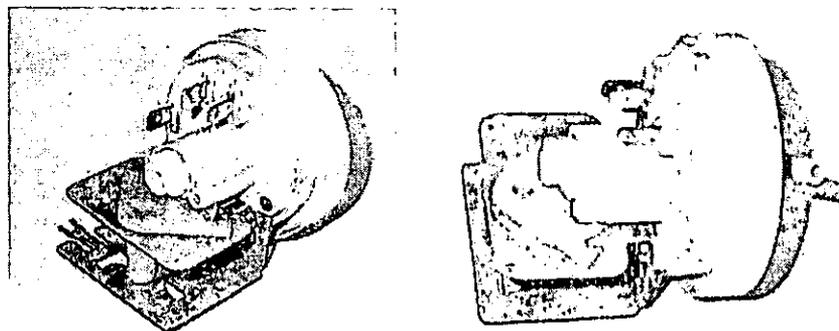


Figura 2.11. Presostato empleado en el sistema de reuso de agua.

4. El agua almacenada en el tanque puede emplearse para las etapas de prelavado o de lavado. Para el enjuague se recomienda emplear agua limpia. Nuevamente, depende de la elección del usuario el emplear o no el agua almacenada, lo que debe indicarse a la lavadora. En caso de ser reutilizada, el agua es conducida del tanque a la tina de la lavadora de dos maneras

distintas, dependiendo de la configuración elegida. Si el sistema tiene el tanque en un nivel superior al de la lavadora (figura 2.9), al abrirse la válvula V3 el agua circula del fondo del tanque hacia la tina por efecto de la gravedad. Si la arquitectura del sistema cuenta con el tanque a un lado de la lavadora (figura 2.10), es necesario bombear el agua desde el fondo del tanque para que ascienda al nivel de entrada a la tina (aproximadamente 90 cm). En este caso la bomba B2 es la que lleva a cabo la función de recirculación de agua.

Las características generales de las bombas centrífugas empleadas para el drenado de la tina y para la recirculación de agua en la arquitectura con tanque a un lado de la lavadora se presentan en la tabla 2.4. La bomba en cuestión se muestra en la figura 2.12.

Modelo:	Hanning E-W DPM 358-158
Potencia nominal (eléctrica):	105 W
Impulsor:	
◇ Material:	Polipropileno
◇ Diámetro:	4.8 cm
◇ Álabes:	5 álabes, rectos
Diámetro de la succión:	38 mm (1½")
Diámetro de la descarga:	28 mm (1.1")

Tabla 2.4. Características de la bomba centrífuga.

Las válvulas empleadas tanto para la conmutación del flujo entre desagüe y almacenamiento como para la recirculación en la arquitectura con tanque superior son del tipo "de globo". Sus características se presentan en la tabla 2.5, y se muestra en la figura 2.13.

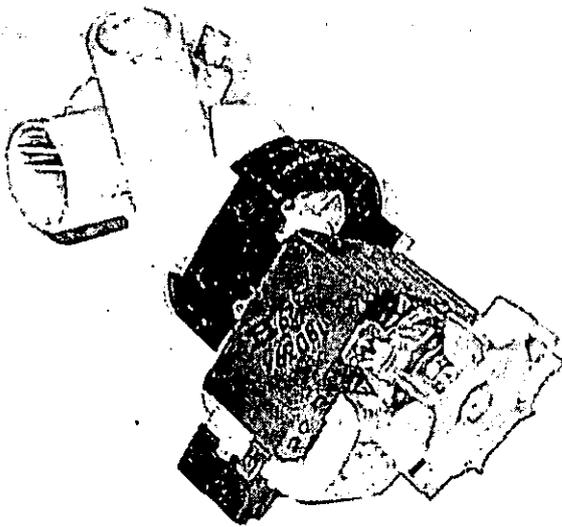
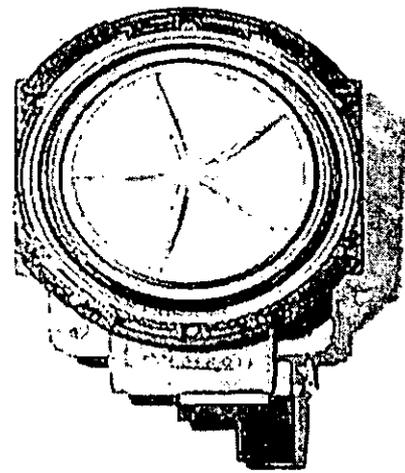
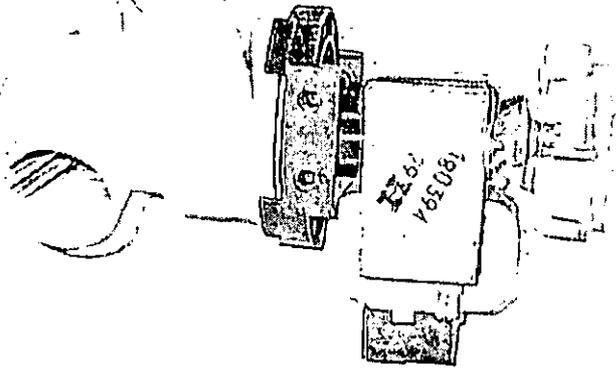


Figura 2.12. Bomba centrífuga empleada en el sistema de reuso de agua.

Modelo:	EATON S-55
Potencia nominal (eléctrica):	28 W
Material del cuerpo:	Polipropileno
Rango de presiones admisibles del agua a la entrada:	0 a 48.2 kPa (0 a 7 psi)
Temperatura máxima permisible del agua:	71°C (160°F)
Diámetro a la entrada:	17 mm (11/16")
Diámetro a la salida:	15 mm (5/8")
Coefficiente aproximado de pérdidas:	0.79

Tabla 2.5. Características de la válvula solenoide.

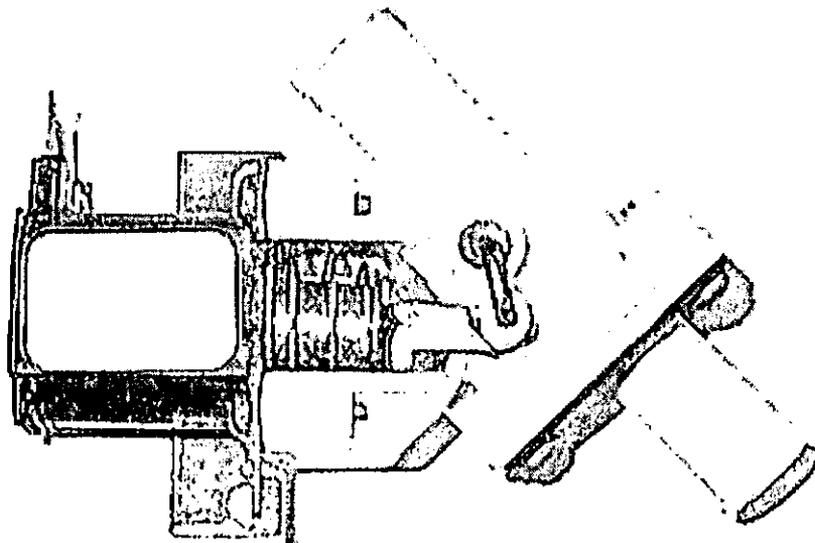


Figura 2.13. Válvula solenoide empleada en el sistema de reuso de agua.

En la mayoría de las lavadoras y otros electrodomésticos se emplean válvulas de diafragma para la entrada del agua a partir de la toma. Originalmente se probó este tipo de válvulas dentro del sistema de reuso de agua, pero el comportamiento de las mismas no fue

---

satisfactorio, ya que se presentaron problemas de pérdidas excesivas en el flujo. Las válvulas modelo S-55 de Eaton se emplean principalmente en lavatrastes domésticas y máquinas despachadoras de refresco, ya que cuentan con las siguientes características:

- Permiten flujos con gastos elevados y bajas cargas de presión
- Permiten el paso de partículas grandes en el flujo

A pesar de ser del tipo “de globo”, estas válvulas no se emplean para regular el gasto, ya que son actuadas por medio de un solenoide y un resorte, por lo que sólo funcionan en 2 posiciones: completamente abierta o completamente cerrada.

### 2.4.3 Sistemas de Filtrado

Para evitar el paso de partículas sólidas hacia la tina de lavado al hacer recircular el agua almacenada en el tanque, es necesario incorporar un filtro similar al quitapelusa con el que cuenta actualmente la lavadora dentro de la tina. Este filtro consiste de una malla de plástico con una separación entre fibras de 0.25 mm, y se coloca entre la salida del tanque y la entrada al elemento de control del flujo de recirculación (la succión de la bomba o la entrada a la válvula). La malla se monta en un elemento similar a un anillo, del diámetro indicado dependiendo si se utiliza válvula o bomba, y el filtro se coloca en la parte correspondiente del elemento de control. Periódicamente es necesario limpiar el filtro, acción que debe realizarse manualmente por parte del usuario cuando lleve a cabo la rutina de limpieza del sistema de reuso de agua (capítulo 3).

### REFERENCIAS

#### **Páginas en Internet:**

[1] Página de la Universidad de Minnesota:  
<http://dha.che.umn.edu/DHAExtension/DHAResourcePackets/1996/oct96pk.htm>

[2] Página de la ciudad de Toronto, Canadá:  
<http://www.metrotor.on.ca/works/what/water/watch/fall97/washmach.htm>

**Libros:**

- a) Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering. Treatment/Disposal/Reuse. McGraw-Hill. Estados Unidos, 1979.
- b) Rigola, M. Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales. Marcombo. España, 1989.
- c) Groover, M. Fundamentos de Manufactura Moderna. Prentice-Hall. México, 1997.

# FALTAN PAGINAS

De la: 61

A la: 62

### 3. CONTROL PARAMÉTRICO DEL PROCESO DE LAVADO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

El diseño del sistema de control de una lavadora doméstica de ropa automática es uno de los aspectos más importantes a considerar dentro de la ingeniería de dicho producto. Este sistema es el cerebro de la lavadora, ya que indica la secuencia de operaciones para activar y desactivar sensores y actuadores en los tiempos indicados para ejecutar los distintos ciclos que componen los programas de lavado [1]. Tradicionalmente, los sistemas de control de las lavadoras automáticas consisten de temporizadores electromecánicos, integrados por un motor síncrono y una serie de interruptores que son conectados y desconectados por la acción de un conjunto de levas. El usuario selecciona el programa que mejor se adecue a las condiciones de su carga de ropa y el temporizador ejecuta la secuencia de operaciones siguiendo un orden predeterminado. Por tratarse de productos de consumo popular, existe un compromiso por parte de los fabricantes por hacer los sistemas de control a la vez sencillos de operar, flexibles y económicos. La mayoría de los controladores electromecánicos de las lavadoras de ropa actuales incorporan en una sola perilla todo el rango de programas y ciclos que se pueden seleccionar. De esta manera, quedan determinadas algunas de las variables del proceso de lavado: tiempo de lavado, de enjuague y de centrifugado, así como la temperatura del agua de lavado. Existen perillas o botones adicionales por medio de los cuales se controla la cantidad de agua empleada en el lavado y enjuague, las funciones adicionales opcionales, la velocidad de agitación y, en algunos casos, la temperatura del agua de lavado y de enjuague (independientemente de la perilla principal). Existen varios inconvenientes en este tipo de esquema de control:

- a) El usuario debe saber qué temperaturas, tiempos, cantidades de agua y velocidades de lavado debe elegir dependiendo del tipo de ropa (fibra de la tela, teñido,

desprendimiento de pelusa), la cantidad de ropa y el tipo y grado de suciedad de la misma.

- b) Algunas de las funciones son dependientes entre sí. Por ejemplo, en gran parte de los controladores mecánicos en los que no existe la opción de elegir la combinación de temperaturas del agua para el lavado y para el enjuague, en caso de elegir un ciclo “largo” o “pesado” la temperatura del agua correspondiente es “caliente”. Como se verá más adelante, existen algunos tipos de tela que no conviene lavar con agua caliente, por lo que si se desea programar la máquina para que lave una carga bastante sucia de ropa hecha de alguna tela delicada, es necesario realizar ajustes o correr el programa dos veces para obtener los resultados deseados.
- c) Los temporizadores mecánicos incorporan mecanismos de trinquete para que los interruptores se conecten y desconecten en intervalos de 2 ó 3 minutos, dependiendo de cada modelo. De esta manera, si se deseara un lavado de 5 minutos por ejemplo, en un temporizador con particiones de 3 minutos se debería elegir un tiempo de 3 ó 6 minutos. En ambos casos existe una diferencia entre lo que el usuario requiere y lo que el control le proporciona.
- d) Al igual que en el caso de los tiempos de cada etapa del programa, la asignación del resto de las variables del proceso de lavado también es discreta: temperaturas (caliente, tibia o fría), niveles de agua (2, 3 ó 5 como máximo), velocidad de agitación (rápida, lenta).

En la actualidad, principalmente en Asia, Europa y Norteamérica, la incorporación de microcontroladores y componentes electrónicos en general a las lavadoras es cada vez mayor. Esto es debido a varias razones: por una parte, los fabricantes diseñan productos cada vez más flexibles, adaptables a las necesidades de los usuarios y de operación más autónoma e inteligente; por otra parte, el desarrollo tan importante de la industria de la electrónica permite que se fabriquen dispositivos cada vez más versátiles, pequeños y económicos, lo que los hace compatibles con los requisitos que deben cumplir los enseres domésticos y otros productos de consumo popular.

### 3.2 PARÁMETROS DEL PROCESO DE LAVADO

La experiencia de las compañías fabricantes de lavadoras de ropa, de los centros de investigación y de los usuarios en general, reflejada en los manuales de usuario de los aparatos y en un gran número de documentos, folletos y revistas, indica que existe un conjunto de parámetros o características de la carga de ropa que es necesario considerar al tomar decisiones sobre el programa a elegir en el controlador de las lavadoras automáticas, así como de las cantidades y tipos de productos que es necesario agregar al agua para formar el baño. Además de los tiempos de lavado, enjuague y centrifugado, dichos parámetros guían al usuario al decidir sobre el volumen y temperatura del agua, la velocidad de agitación y centrifugado (en caso de existir distintas opciones de donde elegir) y las dosis de detergente, blanqueador, suavizante de telas y demás productos. Se pueden identificar esencialmente cinco parámetros relevantes:

- Cantidad de ropa
- Tipo de ropa
- Grado de suciedad
- Tipo de suciedad
- Dureza del agua

A continuación se describe cada una de ellas: en qué consisten y cómo influyen sobre las decisiones del usuario.

#### 3.2.1 Cantidad de Ropa

Uno de los principales parámetros que se consideran al comprar una lavadora es su capacidad de carga, expresada como la cantidad de ropa seca (kg) que teóricamente cabe en la tina. La capacidad real en peso de ropa de una lavadora generalmente es alrededor del 70% de la capacidad nominal (PROFECO, 1998). Sin embargo, se recomienda evaluar el tamaño de la carga de ropa en función del volumen que ocupa dentro de la tina y no como masa de ropa seca. Un error que se comete frecuentemente es saturar la totalidad del volumen de la tina con ropa, ya que esto no permite que las

prendas se muevan con relativa facilidad dentro de ella. Cuando el nivel de agua no rebasa el de la ropa se presentan básicamente dos problemas: por una parte, no se logra el efecto de tallado necesario para desprender la mugre por acción del agua y el detergente; y por otra, la ropa sufre un desgaste excesivo debido al contacto forzado con el resto de las prendas. Por lo tanto, es claro que la cantidad de agua necesaria es proporcional al tamaño de la carga de ropa que se va a lavar. Ya que el principal consumo de energía en el proceso de lavado es causado por el calentamiento del agua, los fabricantes en general recomiendan lavar cargas completas de ropa, correspondientes al volumen máximo de prendas que pueden ocupar la tina sin saturarla, ya que esto se traduce en un menor consumo de agua. Cuando no es posible lavar cargas completas de ropa, se debe ajustar el nivel de agua de la lavadora para consumir sólo la necesaria. Algunos modelos incorporan controles "infinitos" o continuos de la cantidad de agua; para modelos con control discreto (la gran mayoría de las lavadoras automáticas) al menos se recomienda que cuenten con 3 niveles de agua. En algunos productos con tecnología de punta ya se cuenta con dispositivos y métodos de sensado automático del tamaño de la carga. En la mayoría de los modelos que incorporan este adelanto la cantidad de ropa se mide a partir de su inercia rotacional. Esto se logra de la siguiente manera: la tina de la lavadora se hace girar hasta alcanzar cierta velocidad. Entonces se apaga el motor (eléctrico, de inducción) y se mide en el mismo la fuerza electromotriz generada, la cual es directamente proporcional a la inercia rotacional del sistema. En la actualidad no son muchos los modelos que cuentan con este tipo de sistemas, pero se detectó una tendencia hacia el desarrollo e incorporación de éste y otros tipos de dispositivos de medición automática del tamaño de la carga.

### 3.2.2 Tipo de Ropa

En la industria del vestido existe una variedad prácticamente infinita de prendas, confecciones, telas y accesorios, que hacen difícil la generalización al decidir sobre los programas y las variables adecuadas en el proceso de lavado. Un consejo esencial para tener mejores resultados al lavar ropa en lavadora consiste en clasificar y agrupar la ropa según su grado de suciedad y el tipo de ropa. En este último aspecto se proponen diversas clasificaciones:

- a) *Según la fibra básica de la cual esté hecha la tela:* los fabricantes de lavadoras agrupan la ropa básicamente en tres grupos:
- Algodones y linos
  - Planchado permanente: aquí se incluye todo tipo de fibra sintética, como son el poliéster, nylon, acrílicos, rayón, acetatos, etc.
  - Delicados: tejidos de punto, lencería, lana, sedas, etc.
- b) *Según el teñido y el tono del color:* existen prendas que destiñen al ser lavadas y otras que no. Si las primeras no son tratadas adecuadamente pueden quedar manchadas y desteñidas y manchar al resto de las prendas.
- c) *Según la tendencia a dañar a otras prendas:* se deben separar las prendas hechas de telas que desprendan pelusa (algodón) de aquéllas que tiendan a recibirla (algunas fibras sintéticas). También se recomienda lavar por separado prendas con accesorios metálicos (botones, sujetadores, etc.) de las prendas delicadas que puedan resultar dañadas al contacto con estas piezas.
- d) *Artículos diversos lavables en lavadora:* pañales, sábanas, cobijas, tapetes, telas con cubierta de hule o plástico (manteles, fundas), cortinas, etc.

### 3.2.3 Grado y Tipo de Suciedad

El grado de suciedad de una prenda es el parámetro más subjetivo de todos los analizados en el proceso de lavado. Aunque existen lineamientos al realizar pruebas de eficiencia de lavadoras para medir el grado de suciedad de una prenda empleando un reflectómetro o tergotómetro, desde el punto de vista del usuario no hay un patrón que le permita decidir qué tan sucia se encuentra su ropa. Es la experiencia lo que le da con el tiempo cierta sensibilidad para determinar la temperatura del agua, el tiempo y la cantidad de detergente necesarios para tener una remoción de mugre eficiente. Un factor que contribuye en la determinación del grado de suciedad de la ropa es la causa que originó la suciedad. En este sentido, en los manuales de usuario se dan consejos sobre cómo tratar adecuadamente las manchas en función de su origen sin dañar la ropa. En general, la suciedad de la ropa se agrupa en alguno de los siguientes tipos:

- a) Proteínas: manchas de comida (huevo, leche, algunas verduras y frutas), pasto, sangre, etc.
- b) Aceites y grasas: lubricantes, comida frita en aceite o manteca, etc.
- c) Desodorante, antitranspirante, sudor
- d) Tierra, óxidos metálicos, etc.
- e) Adhesivos, pinturas, cosméticos, productos químicos similares
- f) Otros productos químicos

Para una parte de estos tipos de manchas se recomienda aplicar algún tratamiento con productos especiales. Para otros, se recomienda solamente emplear agua y detergente con la temperatura de lavado más adecuada.

Cuando se considera que la ropa está muy manchada o tiene mugre difícil de remover, se recomienda remojar las prendas antes de ser lavadas en un baño con productos especiales, para que la suciedad se desprenda posteriormente con mayor facilidad.

### 3.2.4 Dureza del Agua

La dureza del agua es una medida del contenido de minerales (principalmente iones de calcio y magnesio) en el agua [2]. El agua dura interfiere con la acción limpiadora tanto del jabón como del detergente, y puede causar la formación de residuos tanto en la ropa como en las piezas de la lavadora, los calentadores de agua y las tuberías conductoras. La dureza del agua se expresa como la concentración de minerales en el agua, generalmente en partes por millón (ppm):

- Agua suave: 0 a 60 ppm
- Agua moderadamente dura: 61 a 120 ppm
- Agua dura: 121 a 180 ppm
- Agua muy dura: 181 ó más ppm

El contenido excesivo de minerales causa una disminución en la eficiencia del lavado, provocando que la ropa no se limpie adecuadamente. Cuando el agua suministrada es de alta dureza, se recomienda tomar una o varias de las siguientes medidas:

- a) Emplear detergente y no jabón para lavar la ropa.
- b) Incrementar la cantidad de detergente empleado (respecto a las condiciones normales de dureza del agua).
- c) Instalar ablandadores de agua: existen dispositivos que contribuyen a disminuir el grado de dureza del agua. También se pueden emplear productos que al ser agregados al agua logran el mismo efecto, sin precipitar las sales disueltas.
- d) Utilizar agua con mayor temperatura.

### 3.3 SISTEMA DE CONTROL ORIGINAL DE LA LAVADORA EN ESTUDIO

La lavadora proporcionada por la empresa patrocinadora del proyecto cuenta originalmente con un sistema de control por temporizador mecánico (figura 3.1). Éste consiste en un juego de interruptores a los cuales se encuentran conectados por una parte los actuadores y sensores de la lavadora y por otra la línea de energía eléctrica. Cuenta con un pequeño motor síncrono acoplado a un eje por medio de un tren de engranes (reductor de velocidad). Sobre el eje se encuentra montado un juego de levas que cierran o abren los distintos interruptores, dependiendo de los actuadores o sensores que deban ser activados en una etapa determinada del programa de lavado. La perilla del controlador permite al usuario seleccionar el programa de lavado más adecuado a la carga de ropa. La elección de los programas se realiza con base en el tiempo de lavado o la temperatura del agua deseados, además de tener la alternativa de elegir programas con o sin etapa de centrifugado intermedio. Gracias al movimiento del motor del temporizador, la perilla gira junto con el conjunto de levas que accionan los interruptores conforme el programa avanza. Esto permite al usuario visualizar la etapa en la que se encuentra el avance del programa, aunque, como se verá más adelante, los rótulos del panel no son muy claros, por lo que el usuario debe tener ya cierta experiencia para estimar el tiempo restante de programa o la posición exacta donde es necesario colocar la perilla para realizar una etapa individual de centrifugado o asignar un tiempo de lavado determinado.

Existe otra perilla por medio de la cual se puede seleccionar el nivel de agua adecuado al tamaño de la carga de ropa que se desea lavar. Únicamente se puede elegir una de dos opciones: carga pequeña o grande. Para iniciar la operación de la lavadora es necesario jalar la perilla del temporizador mecánico; si se desea interrumpir el programa,

se debe oprimir esta misma perilla. Al finalizar el programa de lavado, el temporizador automáticamente se desconecta de la línea de energía eléctrica y su motor se detiene.

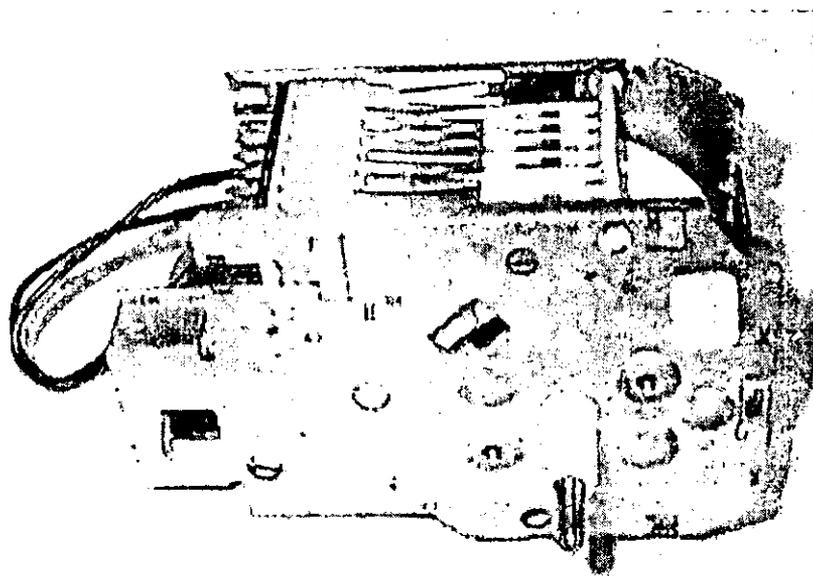
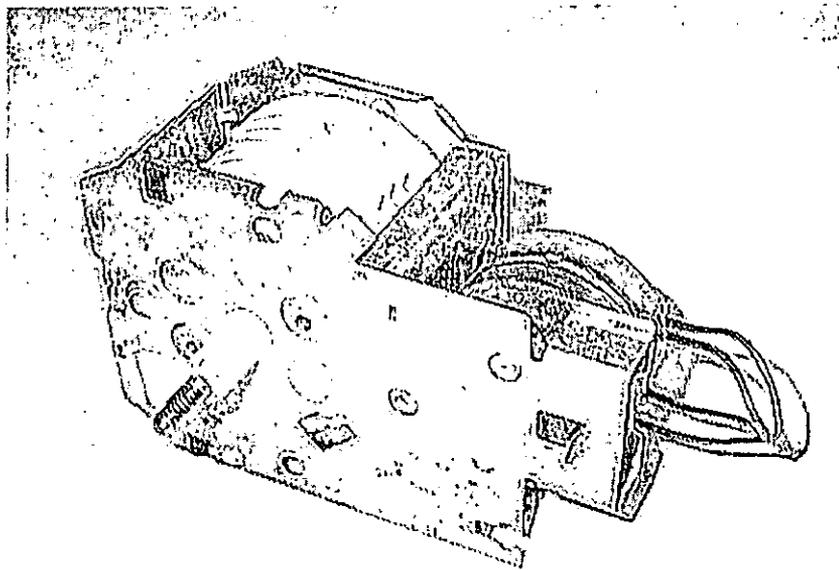


Figura 3.1. Temporizador electromecánico de la lavadora.

FALTA PAGINA

No. 71

4. Después de un lapso de tiempo determinado, se desconecta el circuito oscilador de la línea, por lo que el motor se detiene, y luego de un instante se conectan la bomba de desagüe y el solenoide de la transmisión a la línea.
5. Conforme el temporizador avanza, la bomba continúa extrayendo el agua de la tina. Al llegar el control a cierto punto, se verifica la señal del presostato. Si éste indica que la tina ya no tiene agua, comienza el ciclo de centrifugado, y la bomba continúa trabajando a lo largo del mismo. El solenoide libera el freno que detenía a la tina interna, y el motor principal comienza a girar a gran velocidad en un solo sentido. Si el sensor de presión indica que todavía existe agua en la tina, el motor principal no es conectado.
6. Durante el ciclo de centrifugado, el circuito eléctrico del motor incluye al interruptor de seguridad que está colocado en la tapa. En caso de que ésta se abra, el interruptor abre el circuito y el motor se detiene. Ésta es la única etapa del programa en que se toma en cuenta la posición del interruptor de seguridad. El centrifugado se realiza a velocidad prácticamente constante.
7. Cuando termina el ciclo de centrifugado, se desconectan el motor principal, el solenoide de la transmisión (con lo que la tina se frena) y la bomba de desagüe. El temporizador conecta nuevamente el circuito de la válvula de entrada de agua fría a la línea, para que se llene la tina con agua para la etapa de enjuague.
8. El proceso se repite para el enjuague de la misma manera que sucede para el lavado, a partir de que el agua alcanza el nivel requerido.
9. Finalmente, existe otra etapa de centrifugado en la que la secuencia de operaciones es similar a la de la primera etapa.
10. Al finalizar la etapa de centrifugado final, el temporizador alcanza una posición en la que se desconectan todos los actuadores y sensores de la línea de energía eléctrica, incluyendo a su propio motor síncrono.

Para los programas cortos, la secuencia de operaciones es prácticamente igual, salvo que no existe una etapa de centrifugado intermedio, los tiempos de lavado son más cortos y sólo hay dos opciones para elegir la temperatura del agua de lavado (tibia y fría).

El temporizador cuenta con un mecanismo de trinquete el cual provoca que, aunque el motor síncrono tiene un movimiento continuo, los cambios en las conexiones de los interruptores sólo se llevan a cabo cada 2 minutos.

### 3.3.2 Pánel de Control Original

En la figura 3.2 se muestra un esquema de la apariencia del pánel de control actual. El cuerpo está hecho de lámina de aluminio estampada y troquelada, con rótulos serigrafiados en color negro. Como elementos estructurales cuenta con dos piezas laterales de plástico negro. En la figura se puede ver que cuenta únicamente con dos perillas: la del temporizador, empleada para seleccionar el programa de lavado deseado, y la del selector de tamaño de la carga de ropa que permite asignar el nivel de agua. Ambas están hechas de plástico y también son negras.

Al realizar la auditoría tecnológica a la lavadora, una de las áreas de oportunidad detectadas para mejorar el producto la constituye el pánel de control, tanto por cuestiones estéticas como de comunicación con el usuario. Específicamente, el pánel presenta las siguientes desventajas en relación con los enseres con tecnología de punta:

- ✘ Los colores del pánel (plateado y negro) contrastan con los del cuerpo de la lavadora (blanco). Esta combinación de materiales y colores es opuesta al estilo de los enseres domésticos con tecnología de punta que tienden a ser monocromáticos y de apariencia integral. En este modelo, el pánel de control o “copete” se percibe como un elemento ajeno al resto del cuerpo de la lavadora.
- ✘ La perilla cuenta con una flecha que indica la elección del programa seleccionado por el usuario. También puede servir para indicar en qué etapa del programa de lavado se encuentra la lavadora. Sin embargo, debido a la disposición de los rótulos en torno a la perilla no se pueden visualizar muy claramente dichas etapas.
- ✘ Sólo cuenta con 2 opciones para elegir el tamaño de la carga de ropa. En varios modelos se cuenta hasta con 5 opciones para elegir el nivel de agua, e incluso en algunas lavadoras el control es “continuo” o “infinito”; esto es, se puede elegir cualquier nivel de agua entre el mínimo (tina vacía) y el máximo (tina llena).

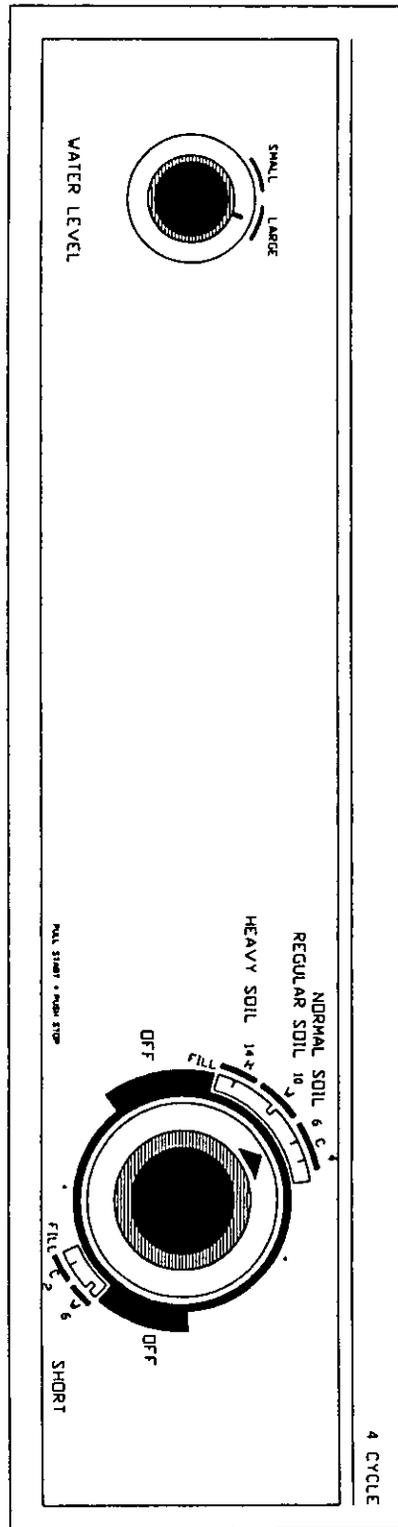


Figura 3.2. Apariencia del pánel de control original.

- ✘ Los rótulos no son completamente explícitos, por lo que el usuario que no esté familiarizado con la lavadora puede confundirse al elegir el programa deseado.
- ✘ Todos los rótulos se encuentran escritos en inglés. Como la lavadora se vende en el mercado mexicano esto puede representar un problema en el aspecto de normatividad.

### 3.3.3 Diagrama de Conexiones de Actuadores y Sensores

Las conexiones originales de los actuadores y sensores de la lavadora se muestran esquemáticamente en la figura 3.3. Como ya se ha mencionado, el control se lleva a cabo por medio del temporizador electromecánico al cual se encuentran conectados todos los componentes eléctricos de la lavadora. Prácticamente todos estos componentes se controlan por medio de interruptores (ENCENDIDO/APAGADO), excepto el motor principal en su modalidad de agitación. En este caso, el control del movimiento de la flecha del motor se lleva a cabo por medio de un circuito oscilador que envía señales pulsantes a ambos embobinados del motor, para así tener un movimiento angular alternativo. El circuito oscilador es conectado durante las etapas de lavado y enjuague, y también es activado por medio del temporizador. La entrada de agua a través de las válvulas es controlada por el presostato. Durante la etapa de llenado de agua, el temporizador conecta el circuito de las válvulas al presostato, de modo que, cuando se alcance el nivel deseado de agua en la tina, el interruptor del presostato conmute, desconectando así a las válvulas de la alimentación de energía eléctrica y conectando el motor del temporizador para que la secuencia de operaciones continúe. Asimismo, durante la etapa de centrifugado, el temporizador conecta el interruptor de seguridad de la tapa al circuito eléctrico del motor principal, el solenoide de la transmisión y la bomba de desagüe, de manera que, si la tapa es abierta, la lavadora se detiene por completo, y sólo reinicia su operación en cuanto se cierra nuevamente la tapa.

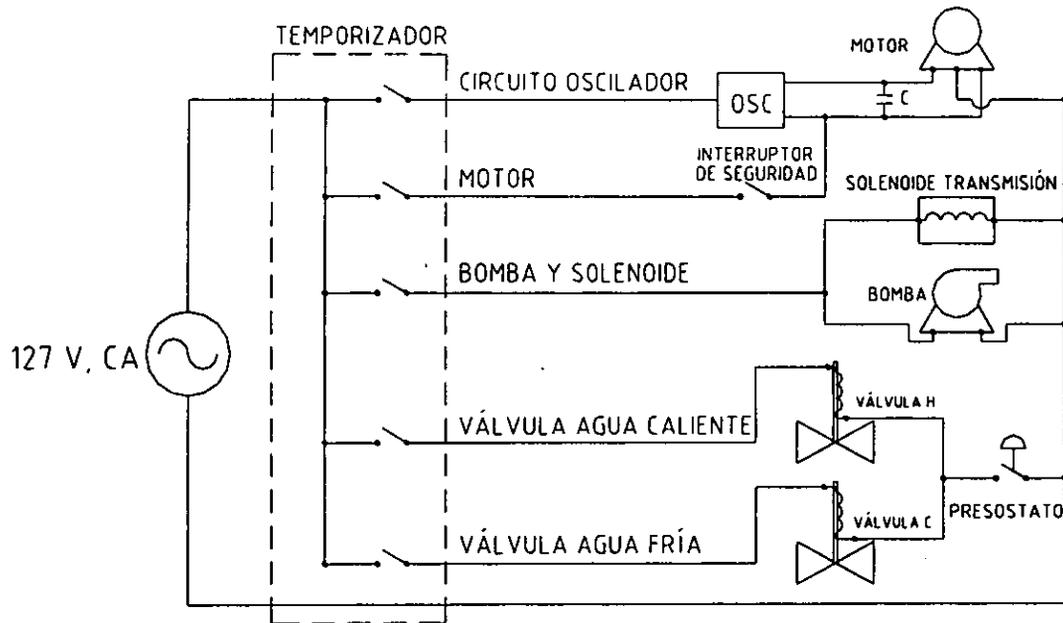


Figura 3.3. Diagrama original de conexiones de la lavadora (simplificado).

### 3.3.4 Programas de Lavado

Como se pudo apreciar en la figura 3.2, es posible seleccionar diversos programas de lavado en el temporizador que actualmente tiene la lavadora. Los distintos programas tienen varias etapas en común, existiendo diferencias entre unos y otros básicamente en función de los tiempos de lavado y la temperatura del agua empleada para el primer llenado de la tina. La diferencia principal entre los programas largos y los cortos radica en la etapa de centrifugado intermedio. Desde luego, si el usuario realiza cambios en el temporizador durante la operación de la lavadora, la secuencia de operaciones programada puede modificarse. De esta manera se pueden alargar o acortar los tiempos de las etapas de lavado, enjuague y/o centrifugado, u omitir alguna de ellas. En la tabla 3.1 se presenta una descripción de los distintos programas de lavado que es posible elegir empleando el sistema de control original de la lavadora.

Programa	$\theta L$	$\theta E$	tL (min)	tC1 (min)	tE (min)	tC2 (min)	tB (min)
HEAVY	H	C	14	4	4	6	10
HEAVY	H	C	12	4	4	6	10
REGULAR	W	C	10	4	4	6	10
REGULAR	W	C	8	4	4	6	10
NORMAL	C	C	6	4	4	6	10
NORMAL	C	C	4	4	4	6	10
SHORT	W	C	6	0	4	4	6
SHORT	W	C	4	0	4	4	6
SHORT	C	C	2	0	4	4	6

Claves:

$\theta L$ : temperatura del agua de lavado

$\theta E$ : temperatura del agua de enjuague

\* Las temperaturas se expresan tal como están indicadas en el pánel de control:

H = caliente, W = tibia, C = fría

tL: tiempo de lavado

tC1: tiempo de centrifugado intermedio

tE: tiempo de enjuague

tC2: tiempo de centrifugado final

tB: tiempo de bombeo previo a cada etapa de centrifugado

Tabla 3.1. Programas de lavado del sistema de control original.

### 3.4 HIPÓTESIS

Con base en las tendencias observadas en las lavadoras de ropa con tecnología de punta hacia la incorporación de sistemas electrónicos de control, sistemas expertos que trabajan por medio de lógica difusa (fuzzy logic) y esquemas de control que brinden mayor flexibilidad al usuario, es posible diseñar un nuevo sistema de control empleando un microcontrolador para ser adaptado a la lavadora proporcionada, o a cualquier otro modelo similar. La idea central consiste en modificar el esquema original en el que el usuario debe adaptarse a alguno de los ciclos preestablecidos en el control de la lavadora, por un esquema en el que la lavadora adapte sus parámetros de operación a las condiciones de la carga de ropa que se desea lavar.

El nuevo control debe cumplir con las siguientes especificaciones y características:

- La secuencia de operaciones de los actuadores y sensores debe ser similar a la original, considerando que se incorporará en lavadoras que cuenten con sistemas de función primaria y de funciones secundarias muy similares a los de la lavadora en estudio.
- Capacidad para controlar de manera más precisa todos los sensores y actuadores de la lavadora.
- Incorporación del control de los nuevos sistemas de funciones secundarias adaptados a la lavadora como parte de este proyecto: sistema de reuso de agua y dosificador de detergente.
- Incorporación de nuevas funciones en el proceso de lavado, como por ejemplo: prelavado, enjuague extra, centrifugado extra y alarma audible.
- Sencillez de operación.
- Claridad de comunicación con el usuario, en ambas direcciones del flujo de información.
- Mayor flexibilidad en la operación de actuadores y sensores.
- Bajo costo.
- Alta confiabilidad.
- Estética acorde con el tipo de producto al que será incorporado.
- Facilidad de manufactura e instalación en la lavadora.

### 3.5 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

Ya se ha hablado sobre los parámetros relevantes en el proceso de lavado, y la influencia que tienen sobre la elección de los valores de las variables del mismo. La gran mayoría de los sistemas de control de las lavadoras domésticas de ropa dan al usuario la opción de elegir los tiempos, velocidades, temperaturas y nivel de agua, para adecuar la operación de la lavadora a las condiciones y características de la ropa que se va a lavar. Sin embargo, en los manuales de usuario se hacen recomendaciones sobre la elección de dichas variables con base en los parámetros descritos en la sección 3.2. En el diseño del nuevo sistema de control se propone simplificar la toma de estas decisiones por parte del

usuario de la siguiente manera: en lugar de que el usuario identifique las características y condiciones de la carga de ropa y asigne los valores correspondientes a las variables del proceso de lavado basado en su experiencia y las recomendaciones del manual de la lavadora, el usuario sólo debe seleccionar en el nuevo panel de control las opciones adecuadas de los parámetros de lavado: tipo de ropa, cantidad de ropa y grado de suciedad. En otras palabras, en lugar de que el usuario elija alguno de los ciclos predeterminados en el control de la lavadora o que elija los tiempos, velocidades, temperaturas y nivel de agua, ahora debe indicar a la lavadora el tamaño de la carga de ropa sucia, el tipo de ropa que la compone (tela y color), y qué tan sucia se encuentra. Dentro de la hipótesis se menciona la importancia de mantener sencilla la operación del sistema de control. Por esta razón, para evitar confusiones en el usuario al tener demasiadas opciones de dónde elegir, dentro del parámetro "grado de suciedad" se incluye también el tipo de suciedad. Asimismo, se omite el parámetro "dureza del agua" como parte del sistema de control debido a que es un problema que depende del suministro del agua en cada localidad, y no de las características o condiciones de la carga de ropa. En caso de existir problemas por la dureza del agua se sugiere que el usuario los solucione de la misma manera en que los ha solucionado hasta el momento.

Otra aportación del sistema de control propuesto la constituyen las funciones adicionales opcionales. En los modelos de lavadoras con tecnología de punta, se incluyen opciones para complementar los programas de lavado, como lo son el prelavado y el enjuague extra. En el diseño del nuevo sistema se proponen 4 funciones adicionales opcionales: prelavado, enjuague extra profundo, enjuague extra por rocío y centrifugado extra.

Debido a la incorporación de los nuevos sistemas de funciones secundarias (dosificador de detergente en polvo, sistema de reuso de agua), el nuevo sistema contempla el control de nuevos actuadores y sensores. Estos sistemas también tendrán interacción con el usuario, por lo que es necesario incluir dentro del panel de control elementos que permitan al usuario comunicarse de manera más fácil con la lavadora para hacer uso adecuado de ellos.

Finalmente, se incorpora a la lavadora un elemento que ya existe en las lavadoras con tecnología de punta: una alarma audible que indique al usuario la finalización de las etapas de los ciclos de lavado, así como la existencia de irregularidades o problemas en la

operación normal de la lavadora. Dentro del panel de control se incluye un interruptor que permite conectar o desconectar la alarma audible, según lo elija el usuario.

En las siguientes secciones se describe con mayor detalle cada uno de los aspectos que conforman el sistema de control propuesto.

### 3.5.1 Panel de Control Propuesto

Al proponerse el diseño de un nuevo sistema de control semi-inteligente, el uso de perillas por parte del usuario resulta innecesario, ya que se modifica el esquema de control con temporizador mecánico en el que se elige cierto programa de lavado. Como la elección del nivel de agua no depende ya del usuario, la perilla del selector del tamaño de la carga de ropa también se puede eliminar.

Anteriormente se mencionó que en el nuevo esquema de control de la lavadora, el usuario únicamente debe indicar a la lavadora las condiciones y características de la carga de ropa: tipo de ropa, cantidad de ropa y grado de suciedad. Asimismo, se mencionó la inclusión de funciones adicionales opcionales (prelavado, enjuague extra profundo, enjuague extra por rocío, centrifugado extra y alarma audible), así como la incorporación del sistema de reuso de agua. El nuevo panel de control contempla todo esto, y por tanto está compuesto por los siguientes elementos (figura 3.4):

- a) *Botón INICIO/PAUSA*. Al presionar este botón, una vez que las opciones han sido seleccionadas, la lavadora comienza el programa de lavado. Si el usuario desea detener la operación de la lavadora por algún motivo, este botón también sirve para interrumpir momentáneamente el programa de lavado. En caso de que el usuario desee modificar las opciones elegidas como parámetros de lavado, también se debe presionar este botón antes de realizar los cambios.
- b) *Selector del Tipo de Ropa*. El usuario elige en esta parte el tipo de tela y teñido de la ropa que conforma la mayor parte de la carga. Para cada tipo de tela, se hace una distinción

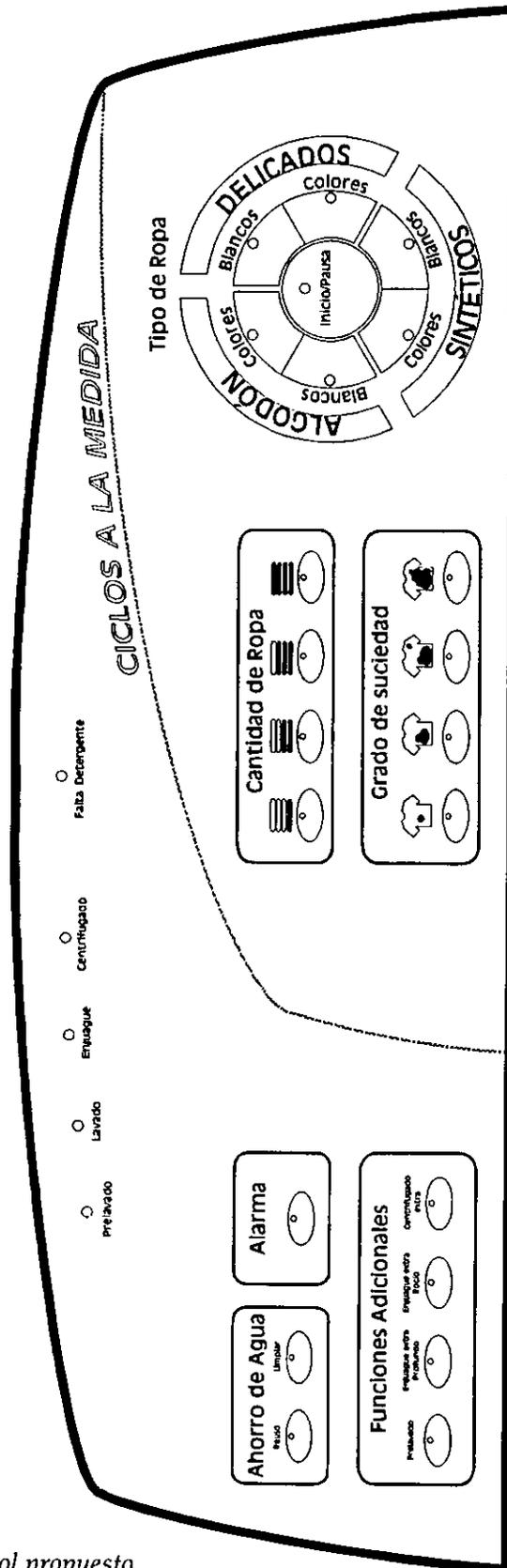


Figura 3.4. Pánel de control propuesto.

entre la ropa blanca y de colores claros (blancos) y la de colores más oscuros que puedan desteñirse con facilidad (colores).

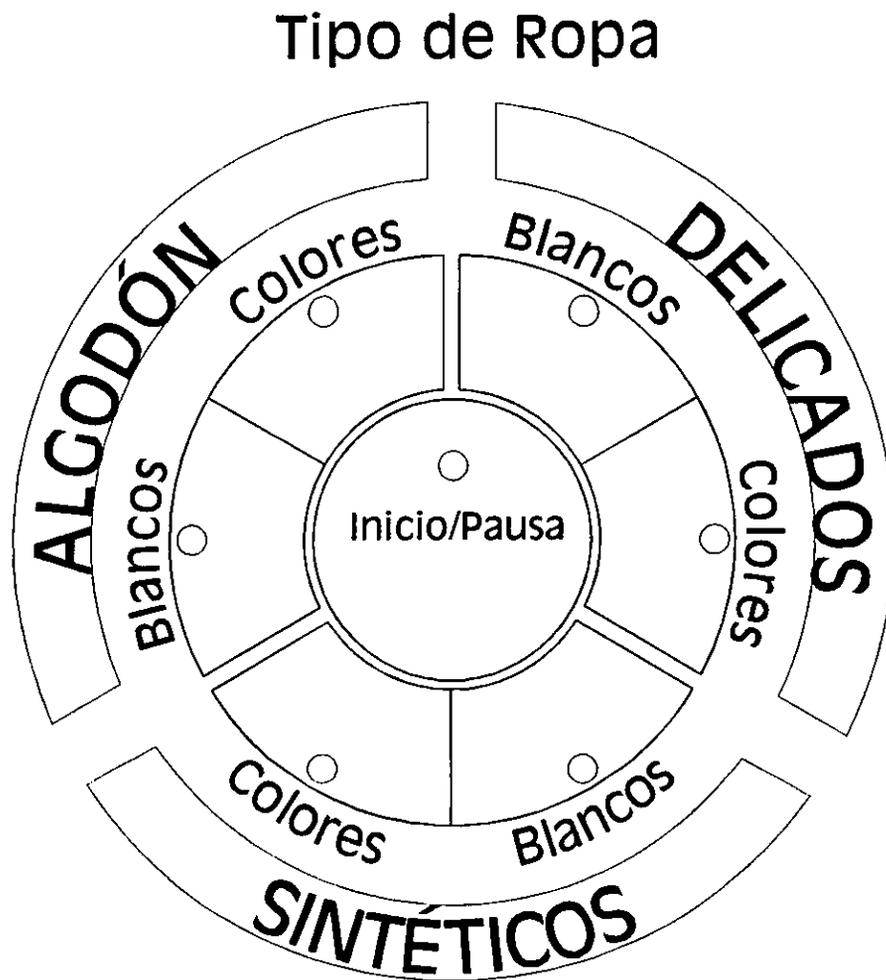


Figura 3.5. Selector del Tipo de Ropa y Botón INICIO/PAUSA.

- a) *Selector de la Cantidad de Ropa.* En sustitución de la perilla para asignar el nivel de agua en el pánel de control anterior, en el nuevo esquema se cuenta con un selector discreto de la cantidad de ropa de 4 niveles. Como se verá más adelante, no existe una relación biunívoca entre la cantidad de ropa y el nivel de agua; esto es, la cantidad de ropa influye en la elección de otros parámetros de lavado además del nivel de agua, y éste último depende de la cantidad de ropa y de otros factores.



Figura 3.6. Selector de la Cantidad de Ropa.

- b) *Selector del Grado de Suciedad.* En este caso también se dan 4 opciones al usuario para elegir el grado de suciedad de la carga de ropa. Este parámetro es subjetivo, y su elección depende básicamente del juicio del usuario, tal y como se realiza hasta este momento en los controladores actuales de la mayoría de las lavadoras.

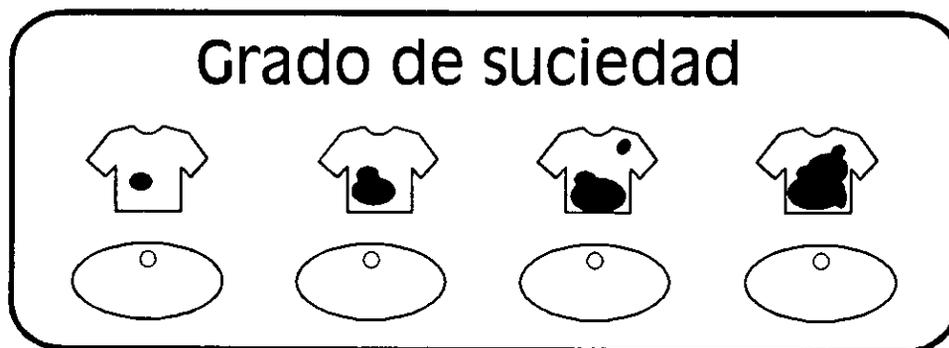


Figura 3.7. Selector del Grado de Suciedad.

- c) *Bloque de Funciones Adicionales Opcionales.* En este espacio se incluyen botones para que el usuario seleccione las funciones adicionales que desee que complementen el programa de lavado básico: prelavado, enjuague extra profundo, enjuague extra por rocío y centrifugado extra.



Figura 3.8. Bloque de Funciones Adicionales Opcionales.

- d) *Bloque de "Ahorro de Agua"*. Para controlar la operación del sistema de reuso de agua el panel de control cuenta con dos botones: *REUSO* y *LIMPIAR*. El primero sirve para activar el sistema de reuso a lo largo del programa de lavado. Esto es, si se encuentra encendido, la lavadora tomará agua del tanque de almacenamiento cuando sea necesario a lo largo de las distintas etapas y almacenará el agua empleada en la tina para ser utilizada posteriormente. El botón *LIMPIAR* se utiliza cuando se desea drenar el tanque cuando el agua almacenada está lo suficientemente sucia, para limpiar los filtros y para eliminar los residuos sólidos de su interior.



Figura 3.9. Bloque de Ahorro de Agua.

- e) *Botón de Alarma*. La activación de la alarma por parte del usuario es opcional. Por medio de este botón se puede conectar o desconectar la alarma del circuito del microcontrolador, de modo que suene o no suene según la elección del usuario.

- f) *Bloque de LEDs indicadores.* Como el panel ya no cuenta con una perilla que gira a medida que se desarrolla el programa de lavado, es necesario incluir elementos que permitan al usuario visualizar el avance de las etapas. Existen para este fin 4 LEDs indicadores de color verde de las distintas etapas del programa: prelavado, lavado, enjuague y centrifugado. Adicionalmente existe otro LED que indica al usuario la falta de detergente cuando se termina el que se coloca en el dosificador.

El panel de control es el elemento que sirve para establecer la comunicación entre el usuario y la máquina en ambas direcciones. Como componentes del panel de control se pueden identificar básicamente dos modos de comunicación usuario-máquina: por una parte, la transferencia de información por parte del usuario sobre los parámetros de lavado y las funciones adicionales que se desean incorporar al ciclo básico; y por otra, el monitoreo por parte del usuario sobre la etapa en que se encuentra el desarrollo del programa de lavado. Existen muchas formas de comunicar el estado de un producto a un ser humano (Ullman, 1992). Generalmente, la comunicación es visual, aunque en ciertos casos también puede ser audible o táctil. Para que el usuario pueda comunicar a la máquina su elección de los parámetros de lavado y funciones adicionales existen varias alternativas, muchas de las cuales se han empleado en aparatos electrodomésticos a lo largo del tiempo: botones, perillas, manivelas, selectores deslizantes lineales, interruptores y palancas, entre otros. En el diseño del panel de control propuesto se decidió utilizar un solo tipo de estos dispositivos para evitar confusiones en el usuario y tener una apariencia más uniforme y estética. Después de realizar un análisis se eligieron los botones como mejor alternativa, por las siguientes razones:

- ✓ Al diseñar un panel de control con botones se tiene gran flexibilidad en la elección de la forma, el color, el tamaño y la disposición de los mismos.
- ✓ Son elementos que permiten tener comunicación tanto visual como táctil con el usuario.
- ✓ Requieren poca fuerza para ser accionados, lo que representa comodidad para el usuario.
- ✓ Se prestan a que se les incorporen elementos que hagan más clara la comunicación visual con el usuario: cambio de color, cambio de nivel, luz, etc.

Los botones del panel de control diseñado cuentan con las siguientes características:

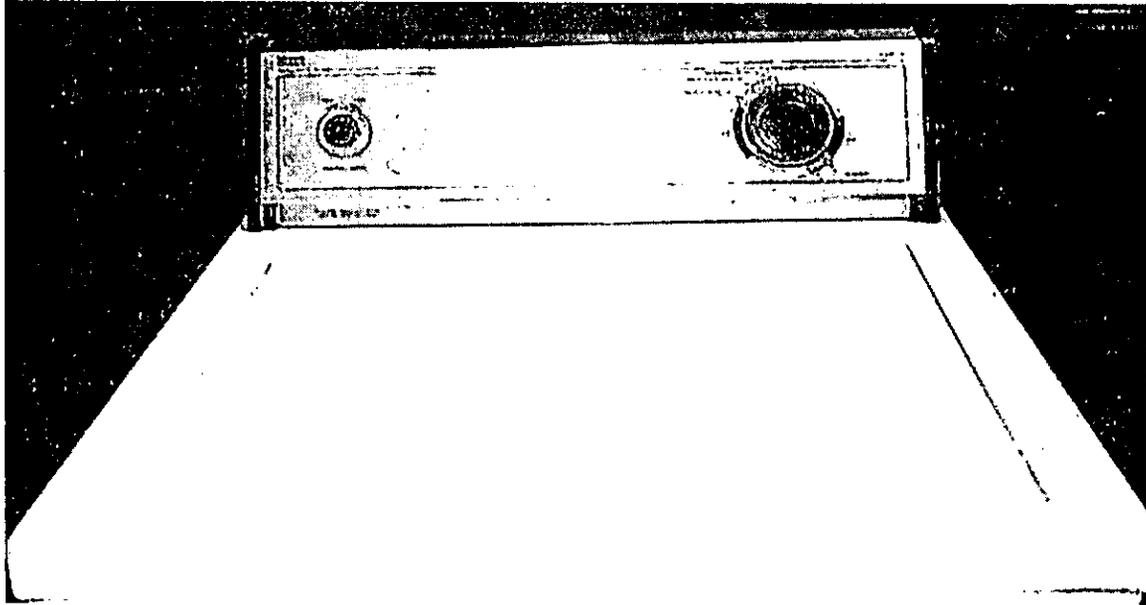
- a) *Forma*: la mayoría de los botones son ovalados, para ser congruentes con la forma curvada del cuerpo del panel de control. Los botones que componen el selector del tipo de ropa están dispuestos de modo que forman un anillo. En el centro de éste se encuentra el botón INICIO/PAUSA, de forma redonda y mayor tamaño que el resto de los botones.
- b) *Color*: el color de todos los botones es blanco, al igual que el cuerpo del panel de la lavadora, exceptuando al botón INICIO/PAUSA, el cual es de color verde.
- c) *Luz*: cada uno de los botones cuenta con un LED color verde, el cual se enciende cuando la opción se encuentra seleccionada.
- d) *Movimiento*: todos los botones son del tipo "push-button". Esto es, cuando el usuario los presiona, éste siente un "click", lo que le asegura que el botón elegido efectivamente ha sido presionado. Esta realimentación táctil e incluso audible no la tienen los tableros de botones sensibles al tacto, en los que simplemente con colocar el dedo sobre ellos la opción queda seleccionada. Además de este inconveniente, estos tableros o "keypads" presentan la desventaja de ser susceptibles a ser presionados por accidente, además de su rápido desgaste y vida útil corta.

La forma del contorno del nuevo diseño del panel de control difiere visiblemente de la del panel anterior. En la figura 3.10 se muestra la lavadora con el panel original y el panel nuevo.

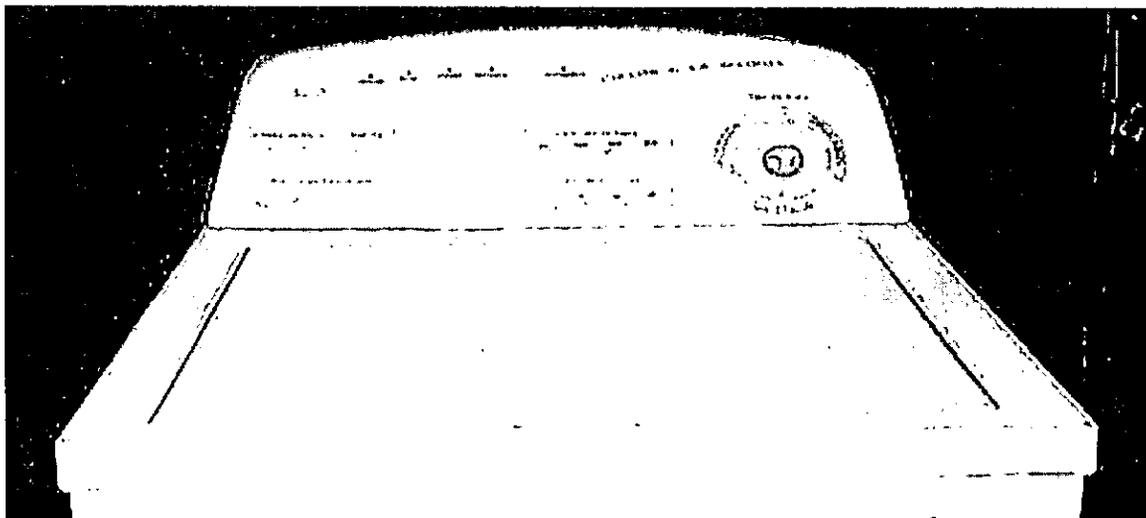
Contrastando con las formas rectas del primero, el nuevo panel es redondeado en las esquinas, en la sección transversal a lo largo de toda su extensión, en las esquinas de los recuadros de los rótulos e incluso en la tipografía empleada para los mismos.

En la sección derecha del panel se localizan los selectores para el tipo de ropa, la cantidad de ropa y el grado de suciedad, así como el botón INICIO/PAUSA. Aquí, el tablero tiene una protuberancia o desnivel. La intención de este cambio de plano es resaltar los bloques de botones antes mencionados, y enviar al usuario el mensaje de que éstos tienen un nivel mayor de importancia para programar la lavadora. La figura 3.11 muestra el prototipo funcional del panel de control construido para el proyecto.

El prototipo fue construido por termoformado de lámina de poliestireno, lijado, barrenado y pintado. Los botones se hicieron de resina poliéster vaciada en moldes de silicón. Sin embargo, pensando en la producción en serie, se propone el proceso de inyección de plástico para fabricar tanto el panel como los botones, en materiales como el polipropileno o el polietileno de alta densidad reforzado. El tablero también puede ser fabricado con materiales compuestos, por ejemplo fibra de vidrio en resina poliéster.



(a)



(b)

Figura 3.10. La lavadora en estudio: a) con el panel de control original y b) con el nuevo diseño.

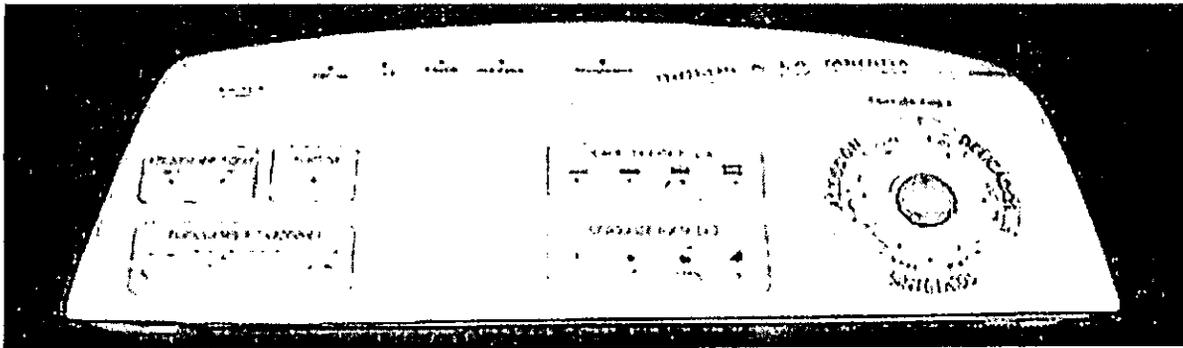


Figura 3.11. Prototipo funcional del pánel de control.

Los rótulos del pánel son negros en su mayoría, a excepción de los sectores circulares que sirven como fondo a los rótulos del tipo de ropa. Para estas secciones se eligieron tres colores que contrastaran entre sí, pero de tonos claros para evitar que resalten demasiado respecto al resto del pánel de control. Estos colores son: amarillo, lila y anaranjado.

### 3.5.2 Circuito Electrónico de Control

Bajo el esquema original de control, los actuadores y sensores son controlados prácticamente todos por control ENCENDIDO/APAGADO, a excepción del motor en su modalidad de agitación, en la que es controlado por un circuito que genera dos señales pulsantes que se conectan a los dos embobinados del motor. El diseño del nuevo sistema de control involucra el uso de un microprocesador, con todos los elementos adicionales necesarios para su operación, interacción con el usuario y con los sistemas de la lavadora.

Un microcontrolador es un sistema integrado por un microprocesador, elementos de comunicación de entrada y salida, memoria y periféricos. Algunas de las ventajas que proporciona un microcontrolador respecto a otras formas de control o procesamiento son, de acuerdo con Bradley (Bradley *et.al.*, 1991), las siguientes:

- ✓ *Almacenamiento del programa de control.* Un microprocesador es básicamente un sistema computacional capaz de ejecutar instrucciones a partir de un programa almacenado en memoria a una elevada velocidad. El programa es una secuencia lógica de operaciones

determinística y repetible, y es ideal para la implementación de funciones de control y procesamiento de señales basadas en algoritmos matemáticos o lógicos.

- ✓ *Procesamiento digital.* La información en un sistema de microprocesador es representada por números binarios. Éstos no se ven afectados por ruido analógico y pueden tener una resolución variable, elegida según las necesidades de la aplicación.
- ✓ *Velocidad de operación.* A pesar de que un microprocesador típico está limitado a ejecutar las instrucciones en un orden secuencial, la velocidad a la que lo realiza generalmente le permite realizar muchas funciones secuenciales en tiempos muy cortos. Por tanto, para el tiempo de respuesta del observador aparentemente las funciones se realizan de manera concurrente. El observador puede ser una máquina, dispositivo o sistema que el microprocesador controle.
- ✓ *Flexibilidad de diseño.* Un sistema de microprocesador ofrece al diseñador una solución de sistema muy flexible, ya que los mismos elementos físicos pueden configurarse para desempeñar un gran número de funciones distintas. Esto es posible al modificar simplemente el programa grabado en la memoria. Más importante aún es la posibilidad de que el microcontrolador ejecute programas de forma condicional, lo que le da flexibilidad operacional al sistema. La capacidad de comunicarse con otros sistemas de microprocesador y con usuarios humanos permiten a los microcontroladores ser comparados con formas básicas de inteligencia, y por lo tanto a los sistemas controlados por estos dispositivos en ocasiones se les denomina como "inteligentes".
- ✓ *Integración.* La integración es una gran ventaja de los sistemas microelectrónicos en cualquier aplicación de mecatrónica, donde el espacio físico y la alimentación de energía pueden estar restringidas. Con las técnicas de integración a muy grande escala (VLSI), un sistema microcontrolador completo puede colocarse en un solo "chip" o circuito integrado de tamaño reducido.
- ✓ *Costo.* Una consideración comercial extremadamente importante es el costo del microprocesador, el cual, ayudado por las técnicas de integración VLSI ha continuado disminuyendo hasta un nivel tal que ahora es viable aplicar la tecnología de los microprocesadores a una amplia gama de aplicaciones de bajo costo.

La flexibilidad en la operación de los sistemas de la lavadora que se propone en este trabajo no podría conseguirse empleando un sistema de control electromecánico como el temporizador. La incorporación de las funciones adicionales al ciclo básico, la operación del dosificador de detergente en polvo y del sistema de reuso de agua harían mucho más complicado el diseño del programa del temporizador, tanto lógica como físicamente. Para el microcontrolador, esto sólo representa agregar rutinas al programa y realizar la conexión adecuada de los actuadores y sensores que intervienen en la operación de dichos sistemas, pero los elementos físicos ("hardware") son prácticamente los mismos que se utilizarían si no se incorporaran dichas funciones.

En las siguientes secciones se describe cada una de las partes que integran físicamente el nuevo sistema de control: microcontrolador, etapa de potencia y alimentación de energía. En la figura 3.12 se muestra esquemáticamente la interacción entre las partes que componen el circuito de control, el panel de control y los sistemas de la lavadora.

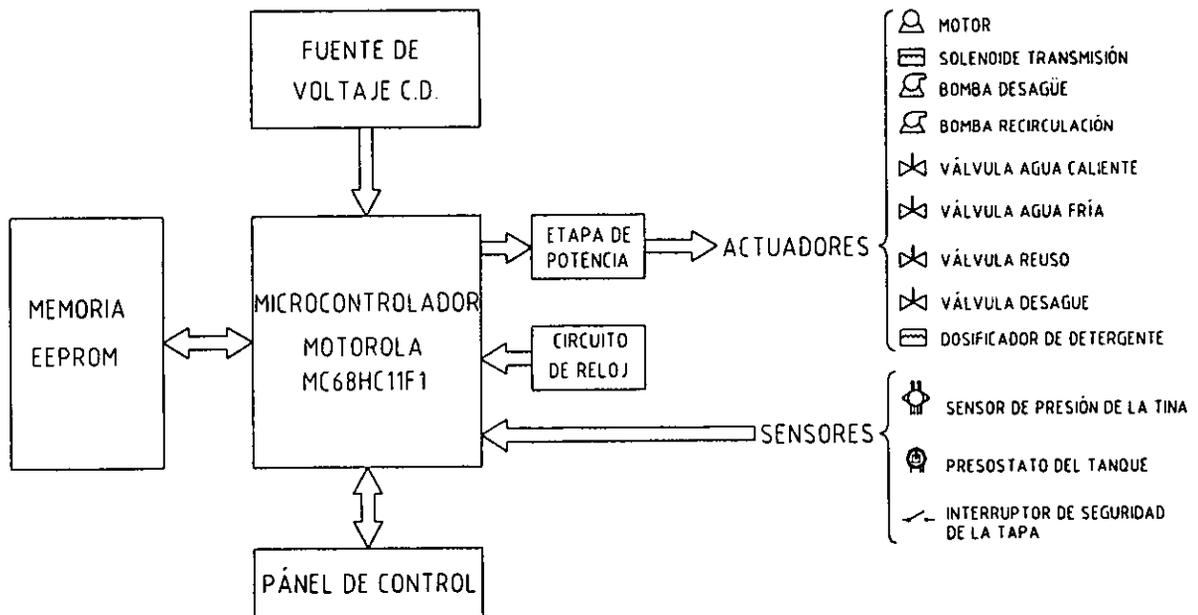


Figura 3.12. Elementos del nuevo sistema de control.

### 3.5.2.1 Microcontrolador

A lo largo del tiempo, los microcontroladores han evolucionado de ser dispositivos de propósito general a ser productos más orientados hacia aplicaciones particulares (Bradley *et.al.*, 1991). Para aplicaciones en aparatos electrodomésticos, lo ideal es tener microcontroladores de muy bajo costo e inmunes al ruido eléctrico. Para la aplicación particular del sistema de control de la lavadora existen varias opciones de microcontroladores comerciales que integran en un solo "chip" el microprocesador, la memoria y los elementos necesarios para establecer una comunicación bidireccional con los elementos que controla.

Para construir el prototipo funcional del sistema de control se decidió emplear la unidad microcontroladora MC68HC11F1 de Motorola, principalmente porque ya se contaba con la infraestructura necesaria para desarrollar el proyecto, como es: el circuito microcontrolador en sí, manuales de programación, compiladores, programas de comunicación con la computadora para programación a través del puerto serial, además de la experiencia de haber trabajado con él en proyectos previos. Las características generales de este microcontrolador son (Motorola, 1993):

- Unidad Central de Procesamiento M68HC11
- Modos STOP y WAIT para ahorro de energía
- 512 Bytes de Memoria Exclusiva de Lectura Programable y Borrable Eléctricamente (EEPROM)
- 1024 Bytes de Memoria de Acceso Aleatorio (RAM)
- Buses de datos y direcciones no-multiplexados
- Temporizador de 16 bits
- Acumulador de 8 bits
- Circuito de interrupción de tiempo real
- Vigilante de operación correcta de la computadora (Watchdog)
- Interface serial periférica síncrona
- Convertidor analógico/digital (A/D) de 8 bits
- 4 salidas para señal de selección de circuitos integrados
- 7 puertos de comunicación (A, B, C, D, E, F, G)

La memoria programable interna del microcontrolador no tiene capacidad suficiente para grabar el programa de control del proceso de lavado, por lo que es necesario agregar un circuito adicional de memoria. Durante las pruebas se empleó una

memoria RAM 6264 y comunicación con la computadora a través del puerto serial de la misma, para poder programar fácilmente el microcontrolador y realizar las modificaciones y ajustes necesarios. Una vez que el programa se depuró, se conectó un circuito de memoria programable eléctricamente (EEPROM) para que el microcontrolador realice la lectura del programa. La adición de la memoria reduce el número de terminales de los puertos disponibles para realizar la comunicación hacia y desde el panel de control, así como el control de actuadores y sensores. Por esta razón es necesario agregar al circuito del microcontrolador elementos adicionales de control de señales, como multiplexores, decodificadores y compuertas ("latches"). Un multiplexor es un dispositivo que permite compartir un solo canal de datos entre varias fuentes (Bradley *et.al.*, 1991). Un decodificador es un dispositivo empleado para habilitar diferentes circuitos a partir de un número binario de 2 ó más bits. Un "latch" es un circuito que permite encender y apagar señales lógicas (en este caso, las señales de control de los actuadores) a partir de señales lógicas de menor duración. El diagrama de conexiones del microcontrolador con el resto de los circuitos de control se presenta en la figura 3.13.

Como puede apreciarse en el diagrama, prácticamente todas las terminales de los 7 puertos del microcontrolador se encuentran ocupados. En la tabla 3.2 se presenta la asignación de las terminales (pins) de los puertos.

El microcontrolador MC68HC11F1 utilizado en el prototipo del sistema de control de la lavadora presenta ciertas características que lo hacen inadecuado para ser aplicado de manera comercial en lavadoras domésticas de ropa. Dichas características son:

- ✘ La memoria integrada en el microprocesador es insuficiente para grabar y correr los programas que contienen la secuencia de operaciones del proceso de lavado, por lo que es necesario agregar memoria externa programable (EEPROM).
- ✘ Las conexiones con los circuitos de memoria ocupan espacio en los puertos de entrada y salida, por lo que es necesario agregar circuitos integrados adicionales (multiplexores, decodificadores, latches) para aprovechar las terminales de los puertos disponibles al máximo.
- ✘ El costo del módulo completo del microcontrolador se incrementa significativamente al añadir estos circuitos.

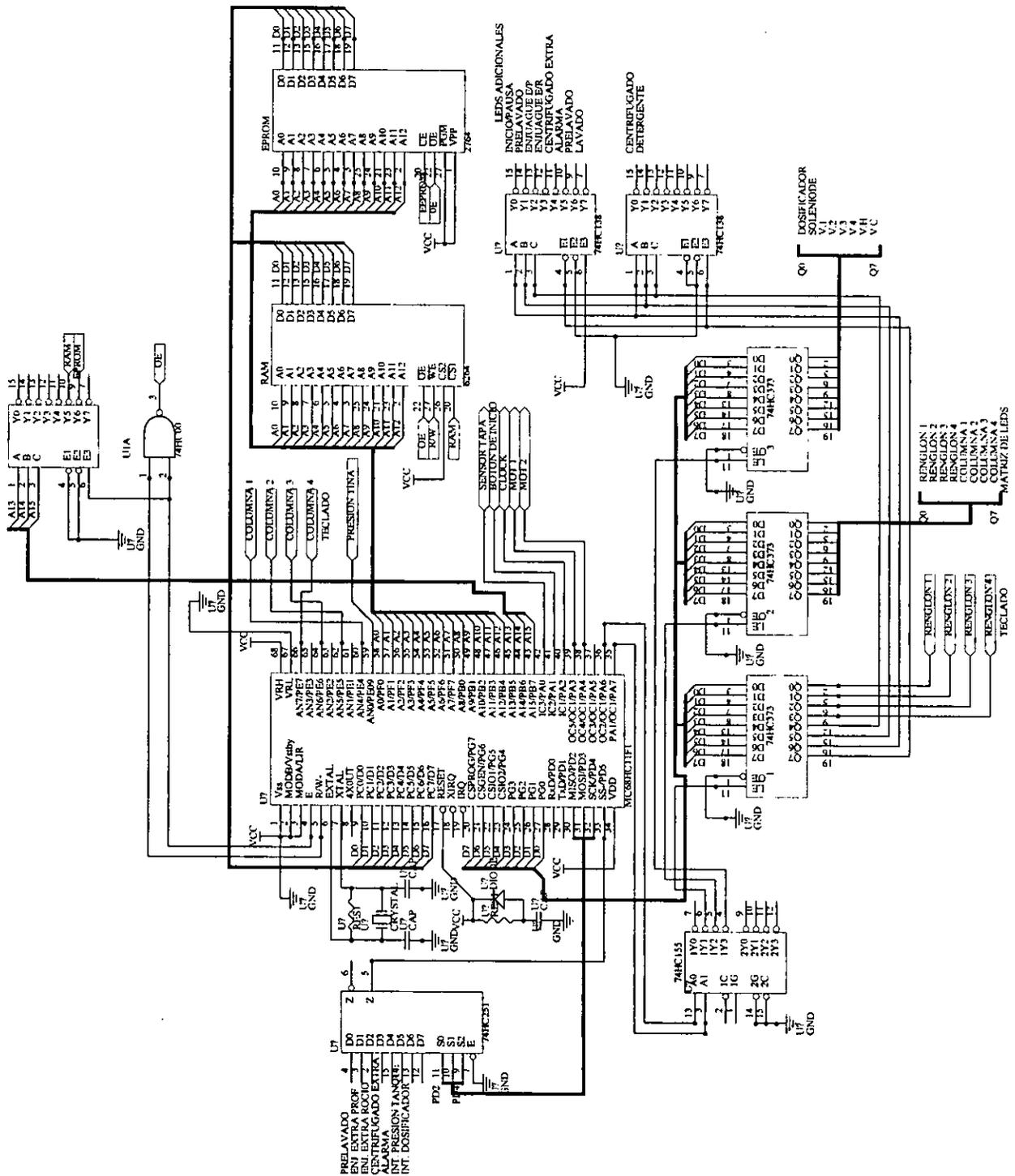


Figura 3.13. Circuito del microcontrolador.

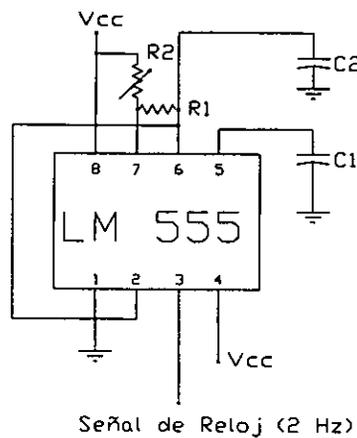
PUERTO	TERMINALES	CONEXIÓN
A	0 1 2 3, 4 6, 7	Sensor de la tapa Botón INICIO/PAUSA Señal de reloj externo Embobinados del motor Direccionamiento del decodificador 2 X 4
B	0 - 4 5 - 7	Bus de direcciones de la memoria Decodificador 3 X 8 para las memorias
C	0 - 7	Bus de datos de la memoria
D	6 - 7 2 - 4 5	Comunicación serial con la PC (programación) Direccionamiento del multiplexor Lectura del multiplexor
E	0 4 - 7	Lectura del sensor de presión (entrada al convertidor A/D) Lectura del teclado
F	0 - 7	Bus de direcciones de la memoria
G	0 - 7	Uso múltiple (salida a los latches)

Tabla 3.2. Asignación de las terminales de los puertos del microcontrolador.

- ✘ La familia de microcontroladores MC68HC11 son de propósito general, por lo que tienen una gran cantidad de características e instrucciones que exceden los requerimientos para esta aplicación en particular.
- ✘ No maneja una corriente muy elevada, por lo que las señales de control de displays y pantallas (en caso de ser incorporadas) deben ser amplificadas para evitar problemas en la operación del microcontrolador.

Como parte del circuito del microcontrolador se decidió incorporar un reloj que generara una señal pulsante con una frecuencia de 2 Hz (período de 0.5 s). Esto se hace

con la finalidad de simplificar el programa del microprocesador y evitar que se ocupe demasiada memoria al ejecutar rutinas de conteo de tiempo. Como se describe más adelante, la mayoría de las operaciones que debe realizar el microprocesador para controlar actuadores, sensores y pánel de control involucran al tiempo como variable principal. Es por esto que se incorpora un reloj externo, independiente del reloj que requiere el microprocesador para trabajar. El reloj se conecta a una terminal de interrupción. La señal de 2 Hz se genera empleando el circuito integrado temporizador 555 en su modo astable. El diagrama de conexiones del circuito se presenta en la figura 3.14.



$V_{cc}$ : 5 V, corriente directa

R1: 1 k $\Omega$

R2: 10 k $\Omega$

C1: 0.1  $\mu$ F

C2: 47  $\mu$ F

Figura 3.14. Circuito del reloj externo empleando el temporizador 555.

### 3.5.2.2 Alimentación de Energía

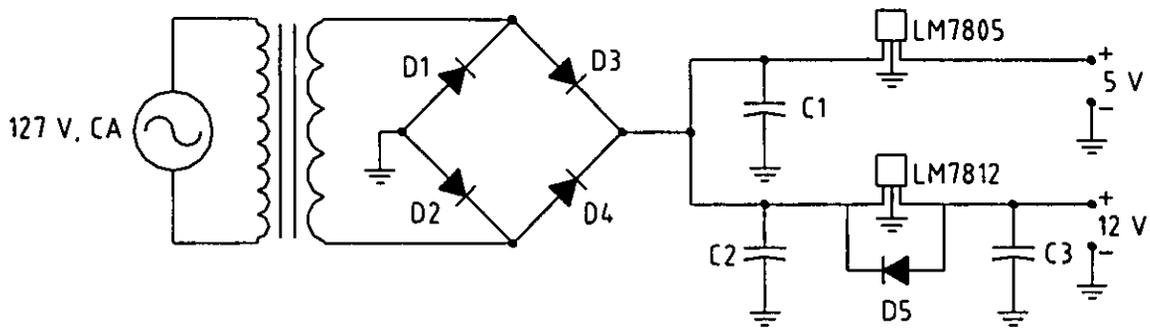
La lavadora, al igual que todos los enseres domésticos, se debe conectar a la línea de alimentación de energía eléctrica (127 V, corriente alterna) para trabajar adecuadamente. Todos los actuadores (motor, bombas, válvulas, solenoides) trabajan con este voltaje, y esto permite controlarlos fácilmente por medio del temporizador electromecánico, que simplemente los conecta o desconecta a la línea por medio de interruptores mecánicos. Sin embargo, la mayoría de los circuitos electrónicos que forman parte del microcontrolador y la etapa de potencia necesitan ser alimentados con un voltaje

de 5 V de corriente directa. Como se explica más adelante, el circuito del sensor de presión que se utiliza para controlar el nivel de agua de la tina de la lavadora necesita un voltaje de corriente directa de 12 V para poder funcionar correctamente. Por tanto, es necesario tener una fuente de alimentación de voltaje en la que se convierta el voltaje de corriente alterna de 127 V en voltajes de corriente directa de 5 y de 12 V.

Una fuente de alimentación de voltaje regulado está compuesta por los siguientes elementos, de acuerdo con Boylestad y Nashelsky (Boylestad y Nashelsky, 1994):

1. *Transformador.* El voltaje de corriente alterna (127 V) debe conectarse en primera instancia a un transformador, para elevar o (más comúnmente) reducir el voltaje a un nivel cercano al de corriente directa deseado.
2. *Rectificador.* Por medio de diodos se puede hacer un arreglo que transforme la señal de corriente alterna en una de corriente directa variable (voltaje rectificado de onda completa).
3. *Filtro.* La señal rectificada pasa a través de un filtro de capacitor simple para generar una señal de corriente directa continua. El voltaje resultante tiene cierta variación (voltaje de rizo).
4. *Regulador.* Generalmente se emplean circuitos integrados para realizar la regulación del voltaje de corriente directa. El voltaje suministrado por el regulador conserva el mismo valor de corriente directa aunque la entrada de voltaje sufra variaciones o la carga conectada al voltaje de salida cambie. Además, el voltaje regulado tiene un voltaje de rizo menor que el de entrada. Existen circuitos reguladores de voltaje fijos y variables.

El circuito de la fuente de alimentación de voltaje regulado se presenta en la figura 3.15.



D1, D2, D3, D4:	1N4004	C1:	4700 $\mu\text{F}$
D5:	1N4001	C2:	1000 $\mu\text{F}$
		C3:	0.1 $\mu\text{F}$

Figura 3.15. Fuente de alimentación de voltaje de corriente directa.

El transformador reduce el voltaje de entrada de un valor de 127 V a uno de 17 V. El puente de diodos (D1-D4) realiza la rectificación de onda completa de la señal de corriente alterna de 17 V. El valor de los capacitores que realizan el filtrado se calcula a partir del nivel de voltaje de rizo deseado por medio de la siguiente ecuación:

$$C = 2.4 I_{cd} / V_r$$

C: valor del capacitor que debe conectarse en paralelo a la señal de c.d. [ $\mu\text{F}$ ]  
 $I_{cd}$ : corriente consumida por la carga [mA]  
 $V_r$ : voltaje de rizo (rms) deseado [V]

Para la señal de voltaje de 5 V, el consumo de corriente es mucho mayor que para la señal de 12 V, ya que la primera alimenta a todos los circuitos del microcontrolador (microprocesador, memorias, multiplexores, decodificador, latches, reloj) y a los de la etapa de potencia (compuertas lógicas, optoacopladores), mientras que la segunda sólo se

emplea para alimentar los amplificadores operacionales del circuito del sensor de presión. En el primer caso, estimando un consumo de corriente de 1 A, y asignando al voltaje de rizo un valor de 500 mV, el capacitor correspondiente debería tener un valor de 4800  $\mu\text{F}$ . El valor comercial más cercano es 4700  $\mu\text{F}$ . Para la señal de 12 V, la corriente estimada es de 200 mA, y para tener un voltaje de rizo también de 500 mV, el valor del capacitor correspondiente sería 960  $\mu\text{F}$ . En este caso, el valor de capacitancia comercial más cercano es 1000  $\mu\text{F}$ . Los circuitos empleados como reguladores a 5 y 12 V son, respectivamente, el LM7805 y el LM7812.

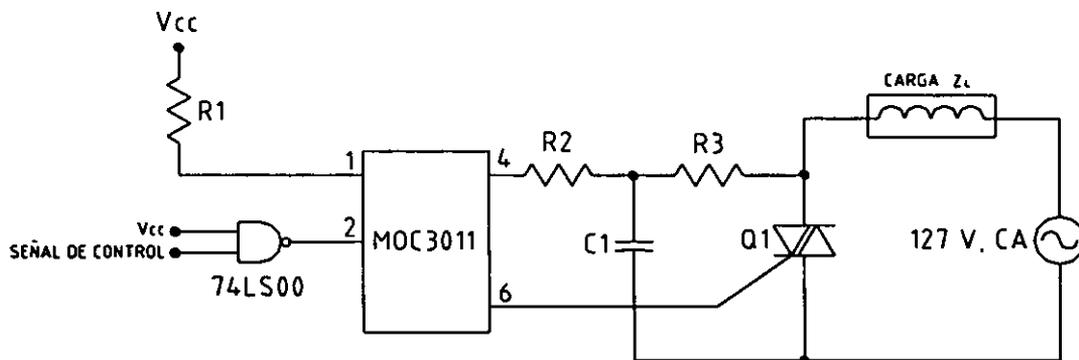
### 3.5.2.3 Etapa de Potencia

Para poder controlar electrónicamente los actuadores de la lavadora que trabajan con 127 V de corriente alterna, es necesario contar con elementos que permitan conectarlos y desconectarlos de la línea de alimentación de voltaje empleando señales lógicas provenientes del microcontrolador. Para llevar a cabo esta acción existen básicamente dos opciones: emplear relevadores o utilizar circuitos integrados. Los relevadores son esencialmente interruptores electromecánicos que son accionados al aplicar voltaje entre un par de sus terminales. Esto provoca que circule una corriente a través de un pequeño solenoide, el cual, por efecto magnético, junta las terminales del relevador a las que están conectadas por una parte la carga y por la otra la alimentación de voltaje. Los relevadores tienen dos desventajas principalmente: en general ocupan un mayor espacio que los circuitos integrados, y para aplicaciones donde es necesario conectar y desconectar constantemente la carga a la alimentación de voltaje, eventualmente puede existir un desgaste de sus componentes mecánicos, tanto por fricción como por generación de arco eléctrico. Dentro de la variedad de circuitos integrados adecuados para controlar el paso de corriente alterna hacia la carga, una opción la constituyen los triacs. Éstos son componentes electrónicos formados por varias capas de material semiconductor similares a los transistores que permiten el paso de corriente alterna a través de sus terminales (ánodo 1 y ánodo 2) cuando recibe una señal de corriente directa en su tercera terminal, conocida como "compuerta".

Como medida de protección a los circuitos del microcontrolador, dentro de la etapa de potencia se incluyen optoacopladores (también conocidos como optoaisladores)

que permiten controlar la señal de disparo de los triacs sin que exista una conexión eléctrica entre los circuitos de carga y los circuitos integrados de control. Los optoacopladores son dispositivos compuestos por uno o más paquetes conteniendo cada uno un LED infrarrojo y un fotodetector que trabaja de manera similar a como lo hace un transistor (Boylestad y Nashelsky, 1994). En este caso, el LED infrarrojo funciona como la base del transistor, ya que cuando se hace circular corriente a través de él, la corriente pasa a través de las otras terminales del optoacoplador (colector y emisor del transistor). La respuesta de longitud de onda del LED infrarrojo y el fotodetector se ajusta para que sea lo más idéntica posible y permitir así un mejor acoplamiento.

En la figura 3.16 se presenta un esquema del circuito correspondiente a la etapa de potencia de cada actuador de la lavadora. En el esquema se muestra que la señal proveniente del microcontrolador es acondicionada antes de llegar al optoacoplador (MOC3011) al hacerla pasar por una compuerta lógica NAND (74LS00). El triac es el componente representado por Q1, y como medida de protección se eligió un modelo que soporta el paso de una corriente de hasta 15 A.



$V_{cc}$ : 5 V, corriente directa  
 R1: 220  $\Omega$   
 R2: 180  $\Omega$

R3: 2.4 k $\Omega$   
 C1: 0.1  $\mu$ F  
 Q1: 2N6343

Figura 3.16. Circuito de potencia para los actuadores de la lavadora.

### 3.5.3 Lógica del Programa

El fundamento de la lógica del programa del control paramétrico propuesto en este trabajo se basa en la relación existente entre los parámetros del proceso de lavado, característicos de la carga de ropa, y las variables del proceso. Un ciclo típico de lavado completo consta de las siguientes etapas:

- 1) Prelavado
- 2) Lavado
- 3) Centrifugado intermedio
- 4) Enjuague
- 5) Centrifugado final

Las variables más importantes que intervienen en este ciclo de lavado se presentan en la tabla 3.3, donde se muestran también los parámetros que tienen relación con cada una de ellas. La nomenclatura que se emplea de aquí en adelante para los parámetros de lavado es:

- Tipo de ropa: R
- Grado de suciedad: G
- Cantidad de ropa: C

VARIABLE	NOMENCLATURA [UNIDADES]	PARAMETROS RELACIONADOS
Cantidad de agua (nivel en la tina)	A [cm]	R, C
Temperatura de prelavado	$\theta_P$ [°C]	R, G
Tiempo de prelavado	TP [min]	R, G
Temperatura de lavado	$\theta_L$ [°C]	R, G
Tiempo de lavado	TL [min]	R, G, C
Cantidad de detergente	D [g]	G, A, $\theta_L$
Velocidad de lavado	FA, FB [osc/min]	G, R, A
Par relativo de agitación	P [%]	R
Tiempo de enjuague	TE [min]	R, G
Tiempo de centrifugado	TC [min]	R, C
Velocidad de centrifugado	VC [rpm]	R

Tabla 3.3. Variables del proceso de lavado y su relación con los parámetros de lavado.

Las relaciones encontradas entre las variables y los parámetros de lavado son producto de la investigación y la experiencia de los fabricantes de lavadoras y centros especializados de investigación. Algunos ejemplos de las “reglas” generales, mencionadas en la mayoría de los documentos relacionados y los manuales de usuario de las lavadoras para lavar la ropa adecuadamente son (Manuales de Usuario, [2]):

- Utilizar más detergente para agua dura, agua fría empleada en el lavado, prendas muy sucias o impregnadas de grasa y grandes cargas de ropa.
- La ropa fina debe tener períodos de lavado cortos.
- La ropa muy sucia debe lavarse durante tiempos más largos.
- Las prendas de algodón y lino deben lavarse durante tiempos más largos y a elevada velocidad de agitación.
- Se deben lavar en agua caliente prendas de algodón, prendas muy sucias y/o manchadas con grasa o aceite, prendas impregnadas de desodorante y pañales.
- Se deben lavar en agua tibia la mayoría de las prendas (planchado permanente, algunas prendas tejidas, la mayoría del resto de las telas).
- El lavado en agua fría sólo se recomienda para prendas de lana lavables, prendas de color que puedan desteñirse y ropa manchada por leche, frutas o sangre (manchas de proteína).
- La ropa delicada y de fibras sintéticas debe ser centrifugada a menor velocidad y durante menos tiempo que la ropa de algodón.
- La ropa de planchado permanente (fibras sintéticas) requieren un nivel de agua mayor que la ropa normal.

Los rangos de valores que se asignan a las variables de lavado son muy variados, dependiendo del tipo de lavadora, la marca e incluso el país de origen del producto. Haciendo un estudio de los valores de las variables del proceso de lavado tomando como referencia los manuales de usuario de lavadoras principalmente de agitador, con capacidad para 7 kg de ropa seca, se encontraron los siguientes intervalos de valores para las variables antes mencionadas:

- |                                         |                              |
|-----------------------------------------|------------------------------|
| • Tiempo de prelavado:                  | 9 - 120 min                  |
| • Tiempo de lavado:                     | 3 - 14 min                   |
| • Tiempo de enjuague:                   | 2.5 - 4 min                  |
| • Tiempo de centrifugado:               | 4 - 7 min                    |
| • Velocidad de lavado:                  | 20 - 75 golpes/min (osc/min) |
| • Velocidad de centrifugado:            | 300 - 780 rpm                |
| • Temperatura caliente:                 | 50 - 70 °C                   |
| • Temperatura tibia:                    | 30 - 50 °C                   |
| • Temperatura fría:                     | 15 - 30 °C                   |
| • Cantidad de detergente (recomendada): | 1.6 g/litro de agua          |

La relación múltiple entre las variables y los parámetros del proceso de lavado implica que las reglas para la asignación de valores de las primeras a partir del conocimiento de los segundos no sean biunívocas. En otras palabras, para la mayoría de las variables se requiere el conocimiento de dos o más parámetros (o incluso de otras variables) para poder asignarles valores adecuados. Esto llevó a considerar la posibilidad de implementar un control por lógica difusa (fuzzy logic) para realizar la asignación de dichos valores. La lógica difusa parte de la lógica y teoría de conjuntos tradicionales en los que las decisiones y valores de verdad sólo pueden tomar dos valores (verdadero o falso), para tener rangos de valores de verdad dentro del intervalo  $[0,1]$  para las variables y los conjuntos. La característica principal de la lógica difusa es su habilidad para expresar la cantidad de ambigüedad en el pensamiento humano (Terano *et.al.*, 1987). Los controladores difusos para lavadoras son una propuesta para automatizar más el proceso de lavado, sensando los parámetros de lavado y decidiendo los valores que deben asignarse a las variables de lavado, en lugar de que el usuario utilice su experiencia personal [3]. En el proyecto que aquí se presenta, los “valores” de los parámetros son ingresados a la lavadora directamente por acción del usuario. Se propone una forma paramétrica para el cálculo de los valores que deben tomar las variables del proceso de lavado a partir de los valores asignados por el usuario para cada parámetro de la carga de ropa. Esto es, el usuario selecciona en el panel de control la opción que mejor se adecue a las condiciones de su carga de ropa sucia (tipo de ropa, cantidad de ropa y grado de suciedad) y el microcontrolador, que tiene asignado para cada opción un valor numérico, detecta la opción elegida. Los valores que se asignan a los distintos tipos de ropa y niveles de cantidad de ropa y grado de suciedad se presentan en la tabla 3.4.

Para el tipo de ropa se asignan dos valores de variables distintas (R1 y R2). La primera corresponde al tipo de fibra que compone las prendas y la segunda al teñido de las prendas (blancos o de colores). El grado de suciedad varía de 0 a 1 en intervalos iguales, correspondiendo a los 4 botones valores de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  y 1. Para la cantidad de ropa, el primer valor representa una carga que ocupe  $\frac{1}{2}$  tina, ya que no se recomienda lavar una carga de menor tamaño que éste y tampoco se recomienda lavar ropa con un nivel de agua inferior a la mitad de la tina, ya que la ropa puede sufrir ruptura y daños por

desgaste. El máximo valor es 1, y los dos valores intermedios dividen el intervalo de  $\frac{1}{2}$  a 1 en partes iguales.

LECTURA DEL PANEL DE CONTROL	ASIGNACIÓN DE VALORES	
Tipo de ropa:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algodón colores (AC)</li> <li>• Algodón blancos (AB)</li> <li>• Sintéticos colores (SC)</li> <li>• Sintéticos blancos (SB)</li> <li>• Delicados colores (DC)</li> <li>• Delicados blancos (DB)</li> </ul>	R1 = 5	R2 = 0
	R1 = 5	R2 = 1
	R1 = 1	R2 = 0
	R1 = 1	R2 = 1
	R1 = 2	R2 = 0
	R1 = 2	R2 = 1
Grado de suciedad:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poco sucia</li> <li>• Regular sucia</li> <li>• Muy sucia</li> <li>• Extra sucia</li> </ul>	G = 0.25	
	G = 0.50	
	G = 0.75	
	G = 1.00	
Cantidad de ropa:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca</li> <li>• Regular</li> <li>• Mucha</li> <li>• Llena</li> </ul>	C = 0.50	
	C = 0.67	
	C = 0.83	
	C = 1.00	

Tabla 3.4. Asignación de valores de las variables del proceso de lavado a partir de la elección del usuario en el panel de control.

El usuario sólo puede elegir una de las opciones de cada uno de los parámetros. Esto es, debe elegir una opción de las 6 posibles para el tipo de ropa, uno de los 4 niveles para la cantidad de ropa y una de las 4 opciones para el grado de suciedad. Una vez que el microcontrolador registra los valores de la elección del usuario, realiza una serie de cálculos por medio de ecuaciones paramétricas para determinar el valor de las variables del proceso de lavado. Las ecuaciones para las 12 variables del proceso de lavado que intervienen en el sistema de control propuesto se presentan a continuación:

1) Nivel de agua de la tina de la lavadora [cm]:

$$A = \text{MIN} (40, (3.333 * C * (17 - R1)))$$

2) Temperatura del agua de lavado [°C]:

$$\theta_L = \text{MAX} (20, (28 * R2 + 7 * (G + R1) - 10.5))$$

3) Cantidad de detergente [g]:

$$D = A*(0.534*G - 0.0096*\theta L + 2.69)$$

4) Tiempo de prelavado [min]:

$$TP = \text{MAX} (20, (20*G*R1))$$

5) Tiempo de lavado [min]:

$$TL = \text{MAX} (3, (2*(G+0.5)*(C+1)*\{\text{ABS}(R1-2.75)\}))$$

6) Tiempo de enjuague [min]:

$$TE = \text{MAX} (2, (2*(G+0.3)*\{\text{ABS}(R1-3)\}))$$

7) Tiempo de centrifugado [min]:

$$TC = \text{MAX} (2, (3*(C+0.16)*[\text{ABS}\{\text{ABS}(R1-1.5) - 1.7\}]))$$

8) Frecuencia alta de agitación [osc/min]:

$$FA = 816*(G+5)*\{\text{ABS}(R1-2.8)\}/(A+120)$$

9) Frecuencia baja de agitación [osc/min]:

$$FB = 0.64*FA$$

10) Par relativo de agitación [%]:

$$P = 45.4545*\{\text{ABS}(R1-2.8)\}$$

11) Velocidad de centrifugado [rpm]:

$$VC = 400+100*\{\text{ABS}(R1-1.4)\}$$

Estas ecuaciones se basan en las relaciones antes mencionadas entre los parámetros y las variables, así como en las reglas generales del proceso de lavado. Tomando en cuenta los intervalos de valores máximos y mínimos, así como las recomendaciones generales y los valores más típicos que adquieren las variables en controladores de lavadoras comerciales, las ecuaciones se diseñaron de modo que, al introducir los distintos valores

de los parámetros de lavado se obtengan valores congruentes de las variables, y que se cumplan lo mejor posible las reglas generales. Las ecuaciones arriba listadas son simplificaciones de las primeras obtenidas al realizar ajustes y manipulaciones algebraicas. Las operaciones empleadas en ellas son:

- Suma: +
- Resta: -
- Multiplicación: \*
- División: /
- Máximo: MAX
- Mínimo: MIN
- Valor absoluto: ABS

Al tener 6 opciones para el tipo de ropa, 4 para la cantidad de ropa y 4 para el grado de suciedad, existen 96 combinaciones posibles. En el Apéndice A se presentan los valores de las variables obtenidos al sustituir las 96 combinaciones de valores de los parámetros en las ecuaciones.

En la siguiente sección se describe el funcionamiento de los distintos actuadores y sensores de la lavadora, y cómo se utilizan los valores de las variables calculados en las ecuaciones para llevar a cabo el control de cada uno de ellos.

### 3.5.4 Control de los Sensores y Actuadores de la Lavadora

Como se puede apreciar en la figura 3.12, bajo el nuevo esquema de control la lavadora cuenta con 3 sensores y 9 actuadores para llevar a cabo las funciones de los sistemas de función primaria, de funciones secundarias y de control. A diferencia del esquema de control anterior en el que los sensores (interruptor de la tapa, presostato de la tina) eran conectados directamente a los circuitos eléctricos correspondientes para interrumpir el paso de corriente eléctrica en caso de ser necesario, en el nuevo esquema los 3 sensores empleados están conectados directamente al microcontrolador.

En primer lugar se describen los sensores del sistema de control, así como las funciones que realizan. Posteriormente se describen los actuadores, las funciones que realiza cada uno y la manera de controlarlos empleando el microcontrolador.

#### 3.5.4.1 Interruptor de la Tapa

En el esquema original de control de la lavadora, el interruptor de seguridad de la tapa cumple con una sola función: durante la etapa de centrifugado, el interruptor es conectado por el temporizador al circuito eléctrico que alimenta al motor principal, al solenoide de la transmisión y a la bomba de desagüe. Si la tapa permanece cerrada, el interruptor también permanece cerrado y la etapa se lleva a cabo de manera normal. Si la tapa es abierta, el interruptor se abre y desconecta los sistemas de la lavadora de la línea de alimentación de energía eléctrica. Esto es una medida de protección para el usuario, ya que en la etapa de centrifugado la tina gira a gran velocidad (aproximadamente 760 rpm). Si el usuario accidental o intencionalmente introduce objetos o partes de su cuerpo dentro de ella puede sufrir serios daños.

En el nuevo esquema de control, el interruptor seguirá cumpliendo con esta función de protección y adicionalmente servirá como detector para que inicie la ejecución del programa del microcontrolador. Cuando el proceso de lavado completo concluye, el microcontrolador queda en un modo de espera ("standby") en el que no ejecuta ninguna operación y tiene un consumo mínimo de energía (despreciable). Cuando el usuario desea utilizar la lavadora nuevamente deberá abrir y/o cerrar la tapa de la lavadora para introducir su ropa. En este momento, al detectar el microcontrolador un cambio en el estado del interruptor de la tapa (abierto a cerrado o cerrado a abierto), el programa da inicio al encender en el panel de control los LEDs de los botones correspondientes a la última selección del usuario (sección 3.5.5). El interruptor de la tapa está conectado a una terminal del microcontrolador correspondiente a una interrupción, lo que resulta conveniente para las dos funciones que debe ejecutar. En cualquier caso, la detección del cambio de estado del interruptor implica un cambio en la operación del microcontrolador hasta ese momento: del modo de espera debe comenzar a correr el programa desde el inicio o, durante el centrifugado, debe detener la secuencia de operaciones hasta que la tapa se vuelva a cerrar.

### 3.5.4.2 Sensor de Presión de la Tina

Una de las modificaciones más importantes en el sistema de control es la incorporación de un sensor piezoeléctrico de presión para sustituir al presostato empleado anteriormente como selector del nivel de agua deseado. El sensor se muestra en la figura 3.17. Cuenta con 2 entradas, que sirven para conectar mangueras y así medir diferencias de presión entre ambos conductos. Para la medición del nivel de agua de la tina sólo se conecta la entrada "positiva" al fondo de la tina antes de que ésta se llene con agua, de modo que, al igual que con el presostato del tanque, se genere un domo de presión dentro de la manguera y el aire que permanece dentro sea comprimido a una presión igual a la hidrostática en el fondo de la tina. La otra entrada del sensor de presión se deja abierta a la presión atmosférica, para que únicamente se mida la presión manométrica (relativa) provocada por la columna de agua.

La razón para sustituir el presostato empleado originalmente es la forma de asignación del nivel de agua bajo el nuevo esquema de control. Anteriormente, el usuario seleccionaba de manera manual a través de una perilla el nivel de agua que deseaba emplear para el ciclo de lavado en función directa al tamaño de la carga de ropa. En el sistema propuesto la asignación del nivel de agua la realiza el microcontrolador. Al contar con un elemento que traduce la señal del nivel de agua (presión hidrostática) en voltaje, resulta más sencillo controlar la cantidad de agua que ingresa a la tina de la lavadora.



*Figura 3.17. Sensor de presión Motorola MPX2010DP.*

El sensor MPX2010DP puede medir presiones en el rango de valores de 0 a 10 kPa, con una sensibilidad de hasta  $\pm 0.01$  kPa con un acondicionamiento adecuado de la señal eléctrica de salida. Si se considera que el nivel máximo de agua que puede tenerse en la

tina para una carga completa de ropa es aproximadamente de 40 cm, la máxima presión hidrostática a medirse es:

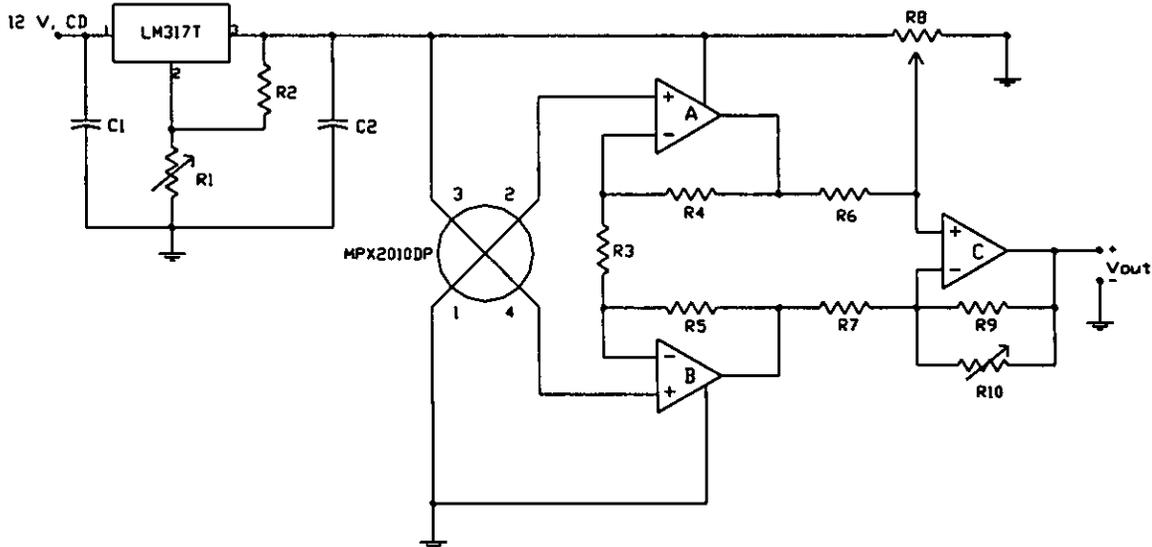
$$P = \rho g h = (1000 \text{ kg/m}^3) (9.81 \text{ m/s}^2) (0.4 \text{ m}) = 3924 \text{ [Pa]} = 3.924 \text{ [kPa]}$$

La respuesta del sensor es lineal; esto es, debidamente alimentado con un voltaje de entrada, aporta una señal de voltaje directamente proporcional a la diferencia de presión que mide entre sus terminales. Para la medición del nivel de agua de la tina es necesario que su señal de salida sea acondicionada antes de ser enviada al convertidor analógico/digital (A/D) del microcontrolador. El acondicionamiento consiste en la eliminación del voltaje de "offset" (corrimiento del cero cuando el sensor se encuentra en vacío) y la amplificación de la señal de modo que las pequeñas diferencias de voltaje generadas en el sensor sean detectadas fácilmente por el microcontrolador, y así el control del nivel de agua sea más preciso. El circuito de acondicionamiento de la señal del sensor de presión se presenta en la figura 3.18. Está compuesto por los siguientes elementos:

- *Regulador de voltaje.* El circuito integrado LM317T es un regulador de voltaje variable cuya salida se ajusta a un valor de 6 V, CD. Este voltaje se emplea tanto para alimentar al sensor de presión (que puede ser alimentado hasta con 8 V) y los amplificadores operacionales. Éstos se encuentran en un solo circuito integrado (LM324), que es alimentado con +6 V y 0 V.
- *Amplificación de las señales de salida.* Los amplificadores "A" y "B" se emplean para dar una ganancia a las señales de salida positiva (pin 2) y negativa (pin 4) del sensor de presión. Las señales amplificadas son enviadas al amplificador diferencial "C", que genera una señal de salida proporcional (amplificada nuevamente) a la diferencia entre las dos señales de entrada.
- *Eliminación del voltaje de offset.* La terminal positiva del amplificador "C" se encuentra conectada al potenciómetro R8, el cual es un divisor de voltaje que se emplea para dar al amplificador la referencia de voltaje para eliminar el "offset" y poder calibrar adecuadamente el sensor.

Después de realizar pruebas y ajustes con el sensor de presión y el circuito de acondicionamiento, el sistema se calibró de manera que cuando no existe agua en la tina ( $h = 0$ ) la señal que llega al microcontrolador ( $V_{out}$ ) es de 475 mV, y cuando la tina está llena ( $h = 40$  cm) el voltaje de la señal es de 4.6 V. La señal de salida del circuito es enviada al convertidor A/D del microcontrolador (pin 0 del puerto E), donde es procesada para

poder ser utilizada en el programa. El convertidor A/D es de 8 bits, lo que da la posibilidad de dividir el rango analógico de valores en 256 números digitales. Es necesario conectar la terminal de referencia de voltaje del convertidor A/D del microcontrolador a una señal cuyo valor de voltaje sea el máximo que se puede generar en la señal de entrada. En otras palabras, la terminal de referencia debe ser conectada a un voltaje de 4.6 V. De esta manera, el valor máximo de voltaje de la señal del circuito del sensor (4.6 V) toma el valor 255 al pasar por el convertidor A/D. El valor registrado en el convertidor A/D se graba en una localidad de la memoria del microcontrolador, para poder ser leída posteriormente por el programa. El valor grabado se actualiza cada determinado tiempo. Este valor es convertido posteriormente en el programa para poder compararlo con el valor previamente calculado que debe tomar el nivel de agua en la tina, y así realizar el llenado de la misma de manera adecuada.



C1:	0.1 $\mu$ F	R5:	100 k $\Omega$
C2:	0.01 $\mu$ F	R6:	10 k $\Omega$
R1:	10 k $\Omega$ (variable)	R7:	10 k $\Omega$
R2:	270 $\Omega$	R8:	10 k $\Omega$ (variable)
R3:	650 $\Omega$	R9:	100 k $\Omega$
R4:	100 k $\Omega$	R10:	100 k $\Omega$ (variable)

Figura 3.18. Circuito de acondicionamiento de la señal eléctrica generada por el sensor de presión.

### 3.5.4.3 Presostato del Tanque de Almacenamiento

Para detectar el nivel de agua en el tanque de almacenamiento del sistema de reuso de agua explicado en el capítulo anterior, se emplea un presostato similar al empleado originalmente para detectar el nivel en la tina. El funcionamiento de este sensor se describe en la sección 2.4.3. Después de realizar algunas pruebas de llenado y vaciado del tanque de agua se observó un comportamiento lineal del nivel detectado de agua con respecto al desplazamiento del vástago por medio del cual se asigna el nivel. En la figura 3.19 se presenta una gráfica que representa este comportamiento. Adicionalmente, en la misma gráfica se puede observar que el comportamiento del presostato presenta histéresis. Esto es, para una misma posición del vástago del sensor existe un nivel de agua al que se cierra el interruptor durante el llenado del tanque y, una vez que el interruptor está cerrado, al vaciar el agua del tanque el interruptor se abre cuando se alcanza un nivel de agua menor al correspondiente a la conmutación durante el llenado.

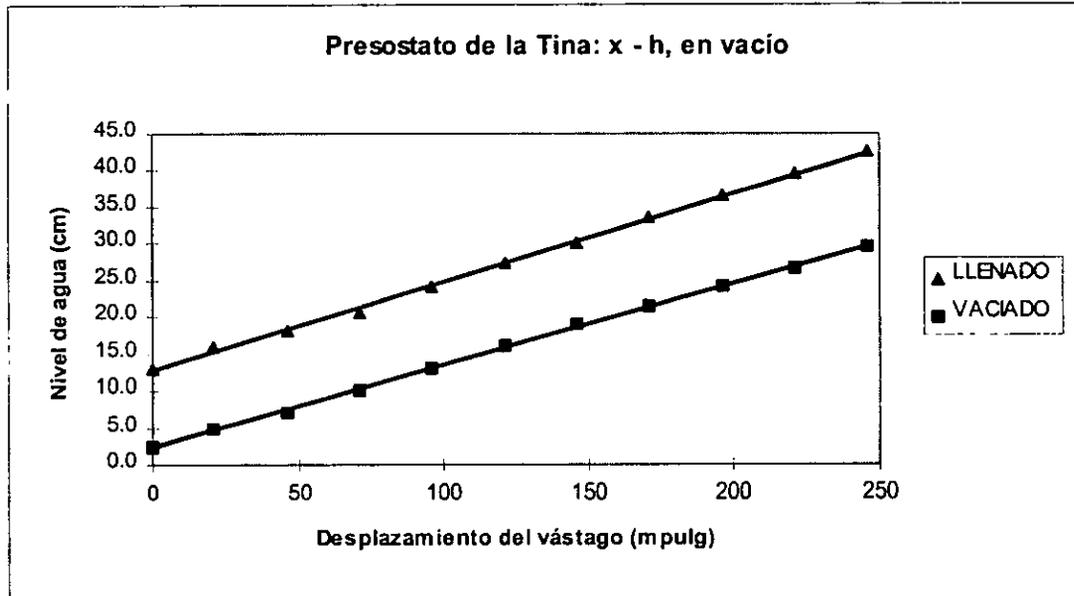


Figura 3.19. Gráfica de comportamiento del presostato.

Para la aplicación particular en el tanque de almacenamiento no se requiere variar la posición del vástago para ajustar el nivel de referencia del agua al que se desea que

cierre el interruptor, por lo que se ajusta sólo una vez de manera que, al llenarse el tanque, el agua alcance un nivel muy cercano a la tapa superior, de modo que se aproveche al máximo la capacidad de almacenamiento. Como puede apreciarse en la figura 3.19, la diferencia entre la curva de llenado y la de vaciado para un nivel de agua superior a los 45 cm de altura es de más de 15 cm, lo que favorece el control del nivel por medio del microcontrolador. Cuando se encuentra vacío el tanque, el interruptor se encuentra abierto, por lo que envía una señal lógica "0" al microcontrolador, hasta que se llena de agua y se alcanza el nivel máximo. Entonces, el interruptor cambia su estado lógico a "1", y permanece así hasta que, durante el vaciado, el nivel del agua alcanza una altura 15 cm menor a la de máxima capacidad. Esto indica al microcontrolador que el tanque se está vaciando efectivamente, y a partir de este punto puede contar un lapso de tiempo determinado para permitir que siga vaciándose el tanque antes de apagar el elemento de control de flujo (válvula o bomba) que permite la salida del agua. Como es de suponerse, lo ideal sería contar con un presostato con la ventana de histéresis más amplia, de modo que pudiera ajustarse a un nivel máximo para que el interruptor se cerrara, y permaneciera en este estado hasta que el tanque se vaciara completamente.

#### 3.5.4.4 Dosificador de Detergente en Polvo

A pesar de que al momento de terminar los proyectos resumidos en la presente tesis el diseño del dosificador de detergente no había concluido, algunos de los aspectos básicos necesarios para el control de dicho dispositivo ya estaban bien definidos. Básicamente, el dosificador de detergente propuesto consiste de una especie de revólver con 8 cavidades en las que se almacena el producto en polvo para ser dosificadas hacia la tina de la lavadora discretamente al hacer pasar agua a través de ellas, de manera individual y secuencial. El dosificador cuenta con un solenoide ayudado por un mecanismo de trinquete que provoca el giro del revólver de modo que "avance" un espacio cada vez que se le envía un pulso eléctrico al actuador. Como se describe más adelante, el microcontrolador lleva un conteo de los cartuchos que ya se han dosificado y, por tanto, puede indicar al usuario el momento en el que es necesario recargarlo con detergente. En la sección 3.5.6 se presenta la secuencia de operaciones que deben ejecutarse para que el dosificador lleve a cabo su función y controle el número de

cartuchos disponibles para ser dosificados. Para poder realizar esto, es necesario que el usuario llene todas las cavidades del revólver de modo que el microcontrolador pueda asumir esta condición sin necesidad de sensar la presencia del producto.

#### 3.5.4.5 Motor Principal

El motor principal de la lavadora se emplea en las rutinas de prelavado, lavado, enjuague y centrifugado. En las tres primeras se utiliza en el modo de agitación, y en la última en el modo de rotación continua. El motor utilizado es del tipo de inducción, jaula de ardilla, de  $\frac{1}{4}$  hp de potencia nominal, con dos embobinados que le permiten girar en ambos sentidos y un capacitor de arranque de  $45 \mu\text{F}$  conectado en paralelo entre ambos embobinados. El motor se encuentra acoplado al eje del agitador por medio de un juego de banda y poleas, con una reducción de velocidad de 5.3 a 1. La polea del agitador también se encuentra acoplada a la tina metálica interna de la lavadora, y por medio de un freno de banda (accionado por el solenoide de la transmisión) y un engranaje planetario, se permite el giro de esta tina durante la etapa de centrifugado únicamente. El control del motor en las dos modalidades de operación se explica a continuación.

a) *Modo de Agitación.* Durante las etapas de lavado y enjuague, el motor ejecuta un movimiento oscilatorio rotacional continuo a alta y baja frecuencia, mientras que en la etapa de prelavado el movimiento es esporádico, con pausas largas entre cada oscilación. Este movimiento se logra al enviar una señal pulsante alternada a ambos embobinados del motor (MTR1 y MTR2), como la mostrada en la figura 3.20.

Originalmente, el circuito oscilador que generaba la señal de control para las etapas de lavado y enjuague trabajaba a una frecuencia fija de 67 osc/min, con una señal "cuadrada". Esto es, el tiempo de conexión de cada embobinado a la línea de energía eléctrica  $t_{\text{encend}}$  es igual al tiempo de apagado intermedio de ambos embobinados  $t_{\text{apag}}$  (figura 3.21). Este circuito contaba además con una terminal denominada "RATE" la cual, al ser conectada a la línea de alimentación de voltaje, provocaba que la frecuencia de oscilación de la señal disminuyera al 64% de la velocidad "normal" de operación (aproximadamente 43 osc/min). Cabe aclarar que este cambio de velocidad no se podía realizar en la lavadora proporcionada. El circuito empleado en esta lavadora debe ser el

mismo que se incorpora en lavadoras en las que se puede seleccionar la velocidad de lavado desde el panel de control.

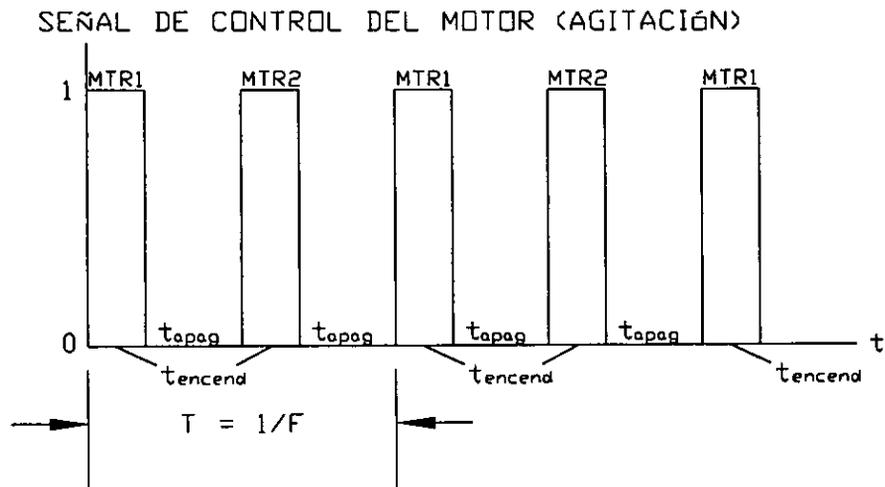


Figura 3.20. Señal de control del motor (agitación).

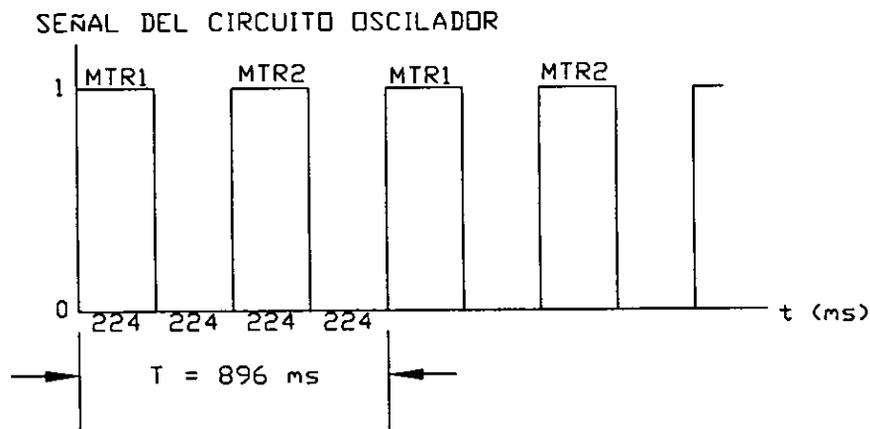


Figura 3.21. Señal original de control del motor (agitación).

Al realizar pruebas con el motor en vacío, variando la duración de los lapsos de tiempo  $t_{\text{encend}}$  y  $t_{\text{apag}}$ , se observó un comportamiento peculiar con respecto al consumo de corriente de arranque. La forma de la señal de corriente de uno de los embobinados generada al hacer pasar una señal pulsante a ambos embobinados del motor se muestra en la figura 3.22.

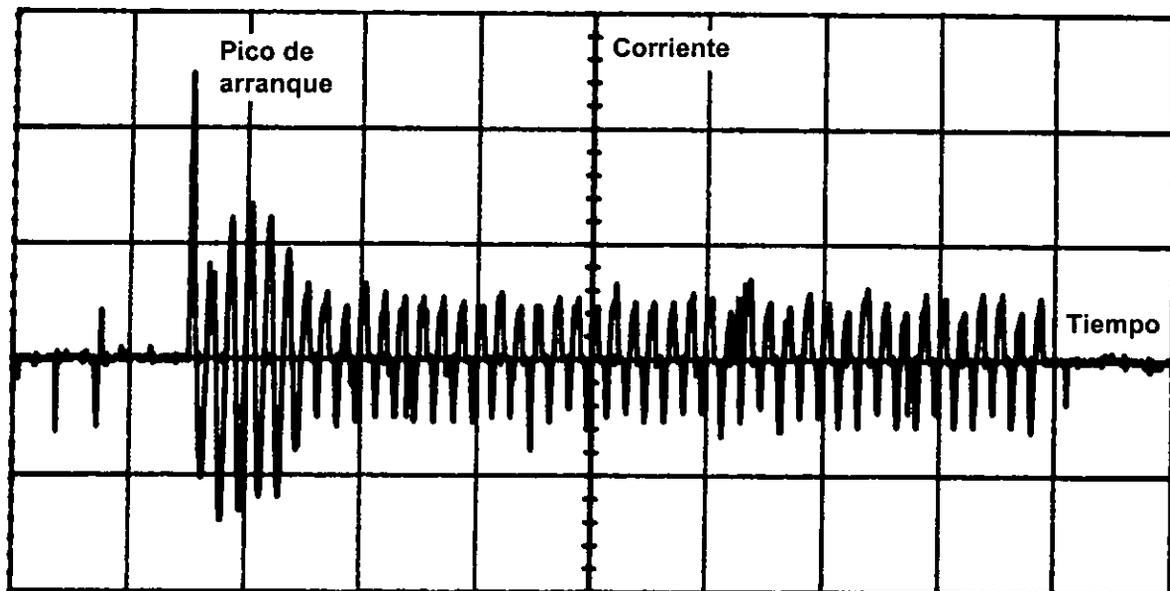


Figura 3.22. Forma de la señal de la corriente en un embobinado del motor (modo de agitación).

Como se puede apreciar, cuando inicia el pulso se presenta un pico de corriente, que coincide con el cambio en el sentido de giro del movimiento de la flecha del motor. Al probar el motor a distintas frecuencias de operación se observó un comportamiento uniforme, sin grandes variaciones en la forma de la señal ni en el valor del pico de corriente de arranque. Sin embargo, para un valor particular de tiempo de apagado de los embobinados (aproximadamente 68 ms), el pico se incrementaba considerablemente. Esta especie de "pico de resonancia" se presentó para todos los valores de tiempo de encendido, lo que indica que es independiente de la frecuencia de oscilación del motor. En la figura 3.23 se presenta una gráfica que representa el comportamiento del motor durante las pruebas en vacío realizadas. En ella se muestra la variación del pico de corriente de arranque respecto al valor del tiempo de apagado de los embobinados.

En las máquinas eléctricas en general el consumo de corriente eléctrica está asociada al par mecánico que aporta (si se trata de un motor) o requiere (si se trata de un generador) la máquina en su movimiento. Los motores de inducción no son la excepción, y de hecho para este tipo de máquinas el par mecánico varía en relación directamente proporcional al cuadrado de la corriente de carga, a la resistencia de carga e inversamente proporcional a la velocidad angular del rotor (Pérez Amador, 1992). Existen dificultades técnicas para medir directamente el par de arranque en un motor de inducción de manera

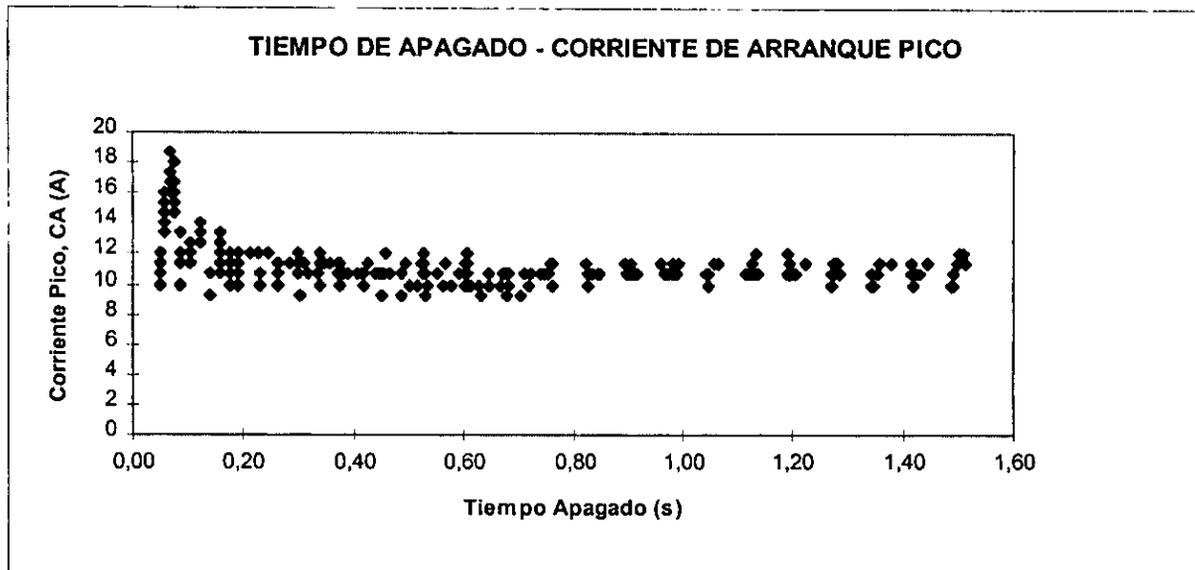


Figura 3.23. Comportamiento del motor de inducción en vacío. Variación de la corriente máxima de arranque (pico) respecto al tiempo de apagado de los embobinados.

directa. Lo que se hace generalmente es medir las variables eléctricas voltaje y corriente y la variable mecánica velocidad angular para obtener a través de manejo matemático el valor del par durante el movimiento. En el caso de las pruebas al motor se puede asociar el incremento en el pico de corriente de arranque a un incremento en el par provisto por la flecha del motor en el instante en que el sentido del movimiento se invierte. Por tanto, se puede asumir que el motor aportará un par de valor máximo para un tiempo de apagado de 68 ms, y al trabajar a valores cada vez más lejanos de este pico, el valor del par disminuirá de manera similar al comportamiento observado en la figura 3.23. En la sección 3.5.6 en la parte correspondiente a las rutinas de agitación de alta y baja frecuencia se presentan las ecuaciones para el cálculo de los tiempos de encendido y apagado de los embobinados del motor basadas en las observaciones de las pruebas al motor en vacío.

#### b) Modo de Rotación Continua

Para llevar a cabo el centrifugado de la ropa por medio del movimiento giratorio continuo de la tina metálica de la lavadora, se conecta uno de los embobinados del motor a la alimentación de energía eléctrica, de modo que el giro es constante y en un solo sentido durante cierto lapso de tiempo. Posteriormente, el primer embobinado es

desconectado hasta que la tina se detiene, y se conecta el otro embobinado del motor a la línea para realizar el giro en sentido contrario durante el mismo periodo de tiempo.

En la sección 3.5.3 se presentó la ecuación para el cálculo de la velocidad de centrifugado más adecuada según el tipo de ropa que compone la carga (ecuación 12). Existen varias formas de regular la velocidad en un motor de inducción: variando la frecuencia del estator, cambiando el número de polos, modificando el valor del voltaje terminal aplicado, entre otras. Una manera económica de variar el voltaje rms aplicado al motor consiste en controlar el ángulo de disparo de los triacs de modo que la señal de corriente alterna sea interrumpida. Para el caso del motor de la lavadora esto no es posible, ya que el capacitor de arranque provoca que la señal no se corte. El resto de los métodos implican modificaciones en la construcción del motor o resultan demasiado costosos para ser incorporados en una lavadora doméstica de ropa. Por esta razón se decidió que la lavadora trabaje a una sola velocidad de centrifugado durante los programas de lavado independientemente del tipo de ropa seleccionado. Para poder trabajar con varias velocidades es necesario contar con un modelo distinto de motor en el que físicamente se puedan modificar las conexiones a los embobinados para tener un número distinto de polos.

#### 3.5.4.6 Solenoide de la Transmisión

Como ya se ha mencionado anteriormente, para ejecutar el movimiento del agitador y el de la tina de centrifugado se emplea el mismo motor, acoplado por medio de una banda y poleas al eje común de ambos elementos. Sin embargo, antes de llegar a la tina, el eje está acoplado a un engranaje planetario. En este elemento se restringe el movimiento de la tina de la siguiente forma: la corona (o engrane anular externo) del engranaje planetario es detenida por la parte exterior por medio de un freno de banda sujeto por un resorte durante la etapa de agitación. Cuando se alcanza la etapa de centrifugado, el solenoide de la transmisión es conectado a la línea de modo que su vástago se desplaza hacia adentro. Como este elemento está conectado al freno de banda y al resorte que detienen a la corona, cuando se conecta el solenoide el freno libera a dicho engrane y el movimiento del motor se transmite a la tina a través del engranaje planetario. Cuando termina el centrifugado, el solenoide es apagado y el resorte regresa a su posición

inicial, provocando que el freno sujete nuevamente a la corona del tren planetario. Originalmente, el solenoide se conectaba junto con la bomba de desagüe a la línea por medio del temporizador electromecánico en cuanto terminaban las etapas de lavado y de enjuague y comenzaba el drenado de la tina. Ambos elementos se quedaban conectados a la línea durante la etapa de centrifugado completa. Bajo el nuevo esquema de control, el solenoide y la bomba tienen conexiones independientes. El control del solenoide simplemente consiste ahora en conectarlo a la línea de alimentación de voltaje justo antes de que comience el movimiento de la tina, y no desde que comienza el drenado de la tina, para evitar un gasto de energía innecesario. Cuando termina el movimiento de centrifugado, el nuevo sistema de control espera 10 s antes de desconectar el solenoide para evitar que el freno detenga la corona cuando la tina todavía se encuentra en movimiento. Esto provoca que el desgaste en la balata del freno sea menor.

#### 3.5.4.7 Bomba de Desagüe/Reuso

La bomba empleada para realizar el drenado de la tina hacia el tanque de almacenamiento o hacia el desagüe es la misma que se emplea originalmente en la lavadora, y cuyas características se describen en la sección 2.4.2. La bomba se conecta a la línea de energía eléctrica y permanece en operación con gasto constante hasta que se desconecta. Se emplea en las siguientes etapas durante el programa de lavado:

- a) En la rutina "LIMPIEZA DEL SISTEMA DE REUSO DE AGUA" se utiliza para desplazar el agua caliente que ingresa a la tina de la lavadora hacia el tanque de almacenamiento.
- b) Al finalizar las etapas de prelavado, lavado y enjuague la bomba drena la tina y desplaza el agua hacia el desagüe o hacia el tanque dependiendo de la elección del usuario y el consiguiente arreglo de apertura y cierre de válvulas.
- c) Durante las dos etapas de centrifugado la bomba permanece encendida para poder drenar el agua que se extrae de las prendas hacia el desagüe.

#### 3.5.4.8 Válvulas de Admisión de Agua

Las válvulas empleadas para llenar la tina de agua en las etapas de prelavado, lavado, enjuague y la rutina de limpieza del sistema de reuso de agua son del tipo de diafragma actuadas por solenoides. La lavadora originalmente cuenta con un elemento que contiene las dos válvulas, con entradas individuales para conectarse por medio de mangueras de hule a las tomas de agua caliente y de agua fría, y una sola salida conectada al difusor en la entrada de la tina de la lavadora. Estas mismas válvulas se emplean en el nuevo sistema de control, pero ahora su operación es un poco distinta. Anteriormente, el temporizador conectaba una o ambas válvulas a la línea durante el llenado de la tina, dependiendo de la temperatura elegida por el usuario para la etapa de lavado (caliente, tibia o fría). Para realizar el enjuague, invariablemente se abría la válvula de agua fría. Bajo el nuevo esquema de control, el microprocesador calcula la temperatura de prelavado y de lavado más adecuadas, según las ecuaciones (2) y (3) mostradas en la sección 3.5.3. Para obtener la temperatura deseada del agua se hace una mezcla con agua caliente y fría en proporciones adecuadas. Para calcular las proporciones necesarias se supone que, en promedio, el agua fría se encuentra a 20°C y el agua caliente a 70°C. Éstos son los valores mínimo y máximo de temperatura del agua que se podrían obtener si se abriera solamente la válvula de agua fría o la de agua caliente, respectivamente. Cualquier valor de temperatura que se encuentre dentro del intervalo (20,70) se puede obtener (idealmente) al mezclar agua proveniente de las dos válvulas. Otra suposición válida es que el agua de ambas tomas se encuentra a la misma presión. Como las dos válvulas son iguales, al abrirse permiten el paso de caudales iguales sólo en caso de tener la misma presión de agua.

El control de la temperatura se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Si la temperatura calculada es 20°C ó 70°C únicamente se abre la válvula de agua fría o de agua caliente, respectivamente.
- El punto medio entre 20 y 70°C es 45°C. Esta temperatura se considera como "tibia" y se obtiene al abrir durante un mismo intervalo de tiempo la válvula de agua caliente y la de agua fría.

- Si la temperatura del agua se encuentra entre 20 y 45°C, la válvula de agua fría permanece abierta durante todo el tiempo de llenado, mientras que la de agua caliente abre y cierra alternadamente. Durante el llenado de la tina se ejecutan rutinas de apertura y cierre con duración de 30 s. La válvula permanece abierta durante un tiempo  $t_{\text{caliente}}$  y cerrada el resto del tiempo hasta completar los 30 s (figura 3.24). El tiempo de apertura de la válvula ( $t_{\text{caliente}}$ ) se calcula a partir de la temperatura de lavado por medio de la siguiente ecuación:

$$t_{\text{caliente}} = \text{MIN}(30, (1.2\theta L - 24)) \text{ [s]}$$

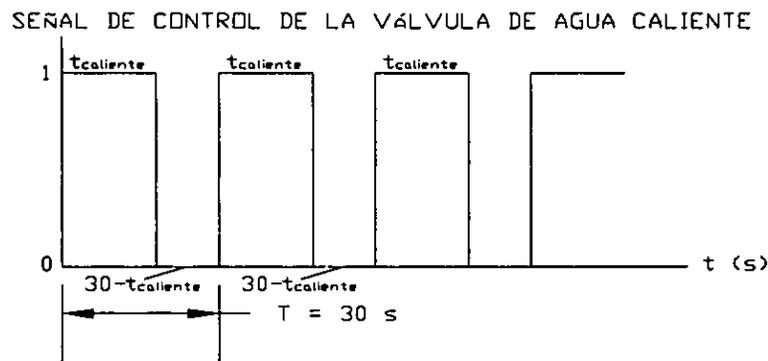


Figura 3.24. Control de apertura y cierre de la válvula de agua caliente.

- Si la temperatura del agua se encuentra entre 45 y 70°C la válvula de agua caliente permanece abierta durante todo el tiempo de llenado, mientras que la de agua fría abre y cierra alternadamente. Durante el llenado de la tina se ejecutan rutinas de apertura y cierre con duración de 30 s. La válvula permanece abierta durante un tiempo  $t_{\text{fría}}$  y cerrada el resto del tiempo hasta completar los 30 s, de la misma manera como se controla la de agua caliente para temperaturas entre 20 y 45°C. El agua empleada para el lavado es la única que puede tener valores superiores a los 45°C, por lo que el tiempo de apertura de la válvula de agua fría ( $t_{\text{fría}}$ ) se calcula sólo para esta etapa a partir de la temperatura de lavado por medio de la siguiente ecuación:

$$t_{\text{fría}} = \text{MIN}(30, (84 - 1.2\theta L)) \text{ [s]}$$

#### 3.5.4.9 Válvulas de Conmutación Desagüe/Reuso del Sistema de Reuso de Agua

La operación y las características de las válvulas de conmutación para conducir el flujo del agua de la tina hacia el desagüe o hacia el tanque de almacenamiento fueron descritas en la sección 2.4.3. Al ser válvulas solenoide, la forma de controlarlas consiste simplemente en conectarlas y desconectarlas de la línea de energía eléctrica para realizar su apertura o cierre respectivamente (control PASA/NO PASA).

#### 3.5.4.10 Elemento de Control de Flujo del Tanque de Almacenamiento (Válvula o Bomba)

En el capítulo 2 se describió el Sistema de Reuso de Agua propuesto, y se mencionó que, para permitir el flujo de agua del tanque hacia la tina de la lavadora el sistema puede contar con una válvula solenoide o con una bomba centrífuga. Ambos elementos se pueden controlar de la misma manera, por lo que desde el punto de vista del nuevo sistema de control no hay diferencia si se utiliza uno u otro elemento. Esto no afecta al circuito de etapa de potencia ni al programa del microprocesador. El agua almacenada en el tanque se puede utilizar en las etapas de prelavado y de lavado, ya que, como se ha mencionado anteriormente, para el enjuague se recomienda utilizar agua limpia. Cuando se desee reutilizar agua del tanque, ésta se considera como agua fría, ya que, en general, el agua se almacenará durante períodos de tiempo suficientemente largos para que alcance la temperatura ambiental. Por esta razón, el flujo de agua del tanque se controla de manera similar a como se realiza la mezcla de agua caliente y fría (sección 3.5.4.8). Para que la temperatura de la mezcla no se altere cuando se utiliza agua del tanque, el caudal de agua proveniente de éste también debe ser del orden del que circula a través de las válvulas de entrada de agua limpia. En la etapa de prelavado la temperatura del agua es menor a 45°C, por lo que, en caso de utilizarse el agua almacenada, el elemento de control de flujo (válvula o bomba) permanece conectado durante todo el tiempo de llenado de la tina. Para dosificar el agua del tanque cuando la temperatura del agua es mayor a 45°C, el esquema de control de la válvula o la bomba es igual al de las válvulas de admisión de agua (figura 3.25), por lo que se utiliza la misma ecuación para calcular los tiempos de apertura y cierre:

$$t_{fria} = \text{MIN}(30, (84 - 1.2\theta L)) \text{ [s]}$$

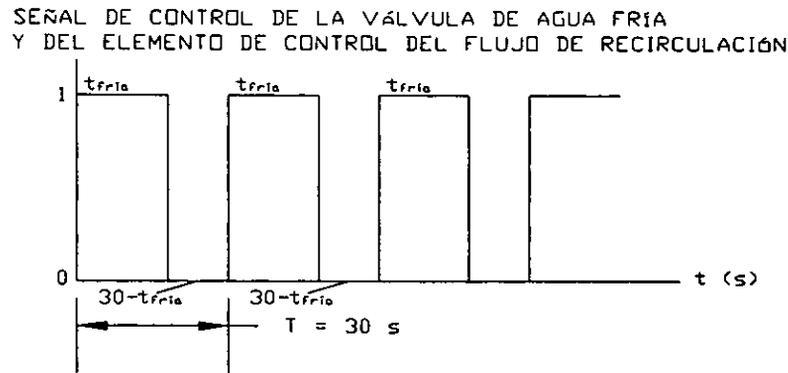


Figura 3.25. Control de apertura y cierre de la válvula o bomba de recirculación.

### 3.5.5 Funciones Opcionales

En esta sección se describe cada una de las funciones opcionales que no forman parte del programa básico de lavado. Las 5 funciones opcionales se pueden elegir simultáneamente, ya que la elección de una de ellas no interfiere con el desempeño del resto de las demás en el programa de lavado. La secuencia de operaciones que las conforman se presentan en la sección 3.5.6, junto con el resto de las operaciones del programa de lavado.

#### 3.5.5.1 Alarma Audible

El circuito electrónico cuenta con una pequeña bocina conectada a una de las terminales del microcontrolador para generar una señal audible de alarma en los siguientes casos:

- *Fin de etapa:* conforme el programa de lavado avanza, se hace sonar la alarma cuando finaliza cada una de las etapas que lo conforman, tanto básicas como opcionales: prelavado, lavado, centrifugado intermedio, enjuague y centrifugado final. El sonido

de la alarma es complementado con el parpadeo del LED indicador del panel de control correspondiente a la etapa que acaba de finalizar.

- *Problemas en la rutina de limpieza del sistema de reuso de agua:* para que se lleve a cabo esta rutina, es necesario que tanto el tanque de almacenamiento como la tina de la lavadora se encuentren vacíos. Si el sistema de control detecta la presencia de agua en cualquiera de los dos recipientes, el sistema de reuso de agua trata de enviar el agua hacia el drenaje (ver sección 3.5.6). En caso de no poder vaciar por completo el tanque o la tina después de que transcurran 10 minutos, el microcontrolador hace sonar la alarma y envía el programa al inicio.
- *Falta de detergente en el dosificador:* el microcontrolador lleva un registro de los cartuchos de detergente disponibles para ser dosificados. Cuando detecta que no son suficientes para completar la cantidad de detergente que debe dosificar a la carga de ropa, la alarma suena y el LED del panel de control que indica la falta de detergente parpadea, para comunicar al usuario que es necesario llenar nuevamente el dosificador con producto.

Dentro del panel de control existe un botón que permite al usuario activar o desactivar la alarma según su elección, simplemente conectando o desconectando físicamente la bocina del circuito del microcontrolador.

#### 3.5.5.2 Prelavado

La etapa de prelavado no forma parte del ciclo básico del programa de la lavadora, por lo que el usuario debe presionar el botón correspondiente dentro del bloque de funciones adicionales opcionales para que la lavadora la incluya en la secuencia de operaciones. Durante el prelavado la ropa permanece remojándose en agua con el detergente dosificado y los productos especiales que el usuario añada al baño durante un período de tiempo relativamente largo (asignado por el control de la lavadora). Durante este tiempo, el agitador realiza movimientos de agitación esporádicos, como se describe en la sección 3.5.6. La temperatura del agua que se admite en la tina para llevar a cabo el prelavado es la misma que se calcula como temperatura de lavado ( $\theta_L$ ) y que se utiliza para el lavado si el usuario decide no incorporar el prelavado en el programa.

### 3.5.5.3 Enjuague Extra por Rocío

El enjuague extra por rocío consiste en la aplicación de una serie de chorros de agua limpia (fría) a la ropa durante la etapa de centrifugado final. Algunos modelos de lavadoras con tecnología de punta incorporan esta función con el fin de evitar la acumulación de residuos de detergente en polvo y otras partículas sólidas en la ropa una vez que ha finalizado el programa de lavado. La efectividad de esta función adicional sólo puede probarse experimentalmente, lo que queda fuera del alcance de este trabajo.

### 3.5.5.4 Enjuague Extra Profundo

El nombre “enjuague profundo” es una traducción literal del término “deep rinse” empleado en otras lavadoras de ropa, y consiste simplemente en vaciar el agua empleada en la etapa de enjuague de la tina para volverla a llenar con agua limpia y realizar un segundo enjuague. Para evitar un consumo excesivo de agua y tiempo, la función incorporada a la lavadora en estudio consiste en vaciar la tina sólo hasta la mitad del nivel inicial después de terminar la etapa de enjuague, para volverla a llenar hasta el nivel original con agua limpia. Las rutinas de agitación de alta y baja frecuencia se repiten sólo durante un período de 30 s cada una, y no durante el tiempo de enjuague completo nuevamente. Posteriormente, el programa continúa con la etapa de centrifugado final de manera normal.

### 3.5.5.5 Centrifugado Extra

Esta función consiste en prolongar el tiempo de centrifugado final un 50% más de la duración normal de dicha etapa. Como se detalla en la sección 3.5.6, el centrifugado consiste normalmente de dos etapas de movimiento de la tina: la mitad del tiempo gira en un sentido, se detiene, y gira en sentido contrario el resto del tiempo. Si el usuario elige la función de centrifugado extra, la tina gira nuevamente en el primer sentido de giro durante la mitad del tiempo de centrifugado asignado según la ecuación correspondiente.

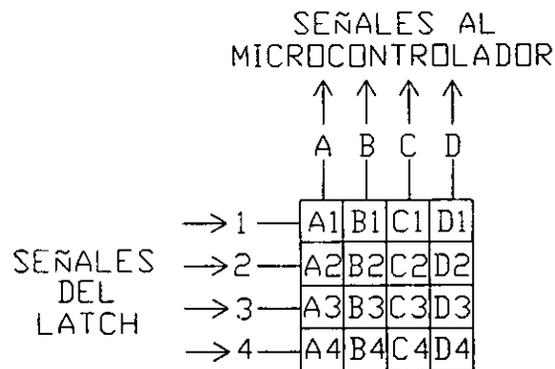
### 3.5.6 Rutinas del Programa de la Lavadora

En esta última sección se presenta la secuencia de operaciones que conforma el programa de lavado del control electrónico. En primer lugar se presenta el esquema general de control (programa básico) y posteriormente se detalla cada una de las rutinas y subrutinas que lo componen. Para cada caso se presenta un diagrama de flujo incluyendo todas las acciones, rutinas y decisiones, así como una breve explicación de algunos de los puntos donde ésta se requiere. Existen algunas acciones que no se detallan en la secuencia de operaciones y que forman parte de la operación del microcontrolador:

- *Encendido del pánel de control:* cuando la lavadora se encuentra en estado de “espera” y el usuario abre la tapa para introducir la ropa a la tina o la cierra en caso de que estuviera abierta previamente, los LEDs correspondientes a la última selecci3n del usuario tanto de parámetros básicos como de funciones adicionales opcionales y sistema de reuso de agua se encienden, para que entonces el usuario pueda realizar las modificaciones correspondientes o iniciar la operaci3n de la lavadora, ya sea con la rutina de limpieza del sistema de reuso de agua o con el programa de lavado.
- *Lectura del teclado del pánel de control:* una parte de los botones que componen el pánel de control están conectados de manera que forman una matriz cuadrada de 4 X 4 elementos. Los botones están conectados entre sí por columnas y renglones (figura 3.26). La lectura se realiza de la siguiente manera: el circuito latch #1 tiene conectados sus 4 primeros pins a los renglones de la matriz, mientras que las columnas están conectadas a los 4 últimos pins del puerto E del microcontrolador. A través del latch se envía una señal secuencialmente a cada rengl3n del teclado, y simultáneamente al envío de cada una de las señales se leen las señales de las 4 columnas, de modo que se hace un rastreo del teclado. El microcontrolador, al detectar el paso de corriente en una columna, teniendo activada la señal de cierto rengl3n, puede determinar las coordenadas del interruptor que se encuentra presionado y, por tanto, saber cuál de las opciones fue elegida por el usuario. En cuanto lo sabe, enciende el LED correspondiente al bot3n que fue presionado. Este barrido del teclado se realiza cada 20

ms, por lo que para el usuario prácticamente al presionar el botón se enciende el LED y el microcontrolador asigna dentro de su memoria la opción seleccionada.

- *Grabado en memoria de la última selección:* una vez que la lavadora termina el programa de lavado, antes de apagar todos los sistemas guarda en la memoria no volátil (EEPROM) la selección del usuario de las opciones del panel de control, de modo que pueda desplegarlas la siguiente vez que el usuario desee utilizar la lavadora.
- *Grabado en memoria del avance del programa de lavado:* conforme avanzan las etapas del programa de lavado, el microcontrolador registra la finalización de dichas etapas. Esto se realiza con el fin de restablecer el programa en caso de que el suministro de energía eléctrica falle o la lavadora se desconecte accidentalmente. Si el usuario enciende nuevamente la lavadora y no realiza cambios en su selección, la operación del



A1: Cantidad de Ropa 1	B1: Cantidad de Ropa 2	C1: Cantidad de Ropa 3	D1: Cantidad de Ropa 4
A2: Grado de Suciedad 1	B2: Grado de Suciedad 2	C2: Grado de Suciedad 3	D2: Grado de Suciedad 4
A3: Algodón Blancos	B3: Algodón Colores	C3: Delicados Blancos	D3: Delicados Colores
A4: Sintéticos Blancos	B4: Sintéticos Colores	C4: Ahorro de Agua Reuso	D4: Ahorro de Agua Limpiar

*Figura 3.26. Teclado del panel de control.*

programa continúa en la etapa siguiente a la última que se registró como finalizada. Si el usuario realiza cambios el programa comienza nuevamente desde el principio.

- *Apagado automático:* en ciertos casos la lavadora apaga automáticamente todos sus sistemas, incluyendo el panel de control. Esto se hace con el fin de evitar que el microcontrolador quede estancado en cierta operación que por algún motivo no puede realizarse y también para evitar un consumo innecesario de energía eléctrica en caso de descuido o negligencia por parte del usuario.

Cabe mencionar que dentro de la secuencia de operaciones descrita a continuación se incluye la rutina de control correspondiente al dosificador de detergente. Ésta es una primera propuesta de acuerdo con el diseño preliminar de dicho sistema, pero aún es necesario modificarla para que el sistema funcione adecuadamente.

Para cada rutina se muestra primero el diagrama de flujo correspondiente y después la lista de acciones, decisiones y subrutinas que se llevan a cabo.

FALTAN PAGINAS

De la: 127

A la: 151

## REFERENCIAS

### **Páginas en Internet:**

[1] Página de la revista Popular Mechanics:  
<http://popularmechanics.com/popmech/homei/9402HIHWAM.html>

[2] Página de la Universidad de Florida:  
<http://hammock.ifas.ufl.edu/txt/fairs/>

[3] Página de FuzzyNet Online:  
<http://www.aptronix.com/fuzzynet/applnote/wash.htm>

### **Libros, revistas y tesis:**

- a) Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO). Revista del Consumidor. Marzo de 1998.
- b) Ullman, D. The Mechanical Design Process. McGraw-Hill. Estados Unidos, 1992.
- c) Bradley, D., *et.al.* Mechatronics. Electronics in Products and Processes. Chapman and Hall. Reino Unido, 1991.
- d) Motorola, Inc. MC68HC11F1 Technical Data. Motorola, Inc. Estados Unidos, 1993.
- e) Boylestad, R. y Nashelsky, L. Electrónica. Teoría de Circuitos. Prentice Hall. México, 1994.
- f) Terano, T., *et.al.* Fuzzy Systems Theory and its Applications. Academic Press. Estados Unidos, 1987.
- g) Pérez Amador Barrón, V. Generadores, Motores y Transformadores Eléctricos. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 1992.

### **Manuales de usuario de lavadoras de las siguientes marcas:**

- 1) Whirlpool
- 2) Acros
- 3) Crolls
- 4) Easy
- 5) General Electric
- 6) Hotpoint
- 7) Maytag
- 8) Hoover

# FALTAN PAGINAS

De la: 153

A la: 154

## **4. FUNCIONAMIENTO Y DESEMPEÑO DE LOS SISTEMAS DE REUSO DE AGUA Y DE CONTROL ELECTRÓNICO**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Luego de describir las partes que componen a cada uno de los sistemas propuestos en este trabajo, los objetivos de este capítulo son, por una parte, describir brevemente el funcionamiento de la lavadora con los dos sistemas desarrollados en este trabajo (sistema de reuso de agua y control electrónico), y por otra, comparar el desempeño y las características generales de la máquina respecto al esquema anterior de funcionamiento y control. Finalmente, en la última sección se presentan los comentarios y opiniones de las personas responsables del desarrollo de los proyectos por parte de la empresa. Al ser ellos quienes patrocinaron los proyectos, también son las personas más adecuadas para evaluarlos, comentarlos y criticarlos.

### **4.2 FUNCIONAMIENTO DE LA LAVADORA CON LOS NUEVOS SISTEMAS INCORPORADOS**

Al agregar a la lavadora dos sistemas adicionales (dosificador de detergente, sistema de reuso de agua) y modificar el de control, el funcionamiento de la misma necesariamente se ve alterado (ver figuras 3.3 y 3.12). En la sección 3.3 se describieron los aspectos más importantes del sistema de control original de la lavadora: el temporizador electromecánico, la secuencia de operaciones que ejecuta, los valores de las variables de cada ciclo de lavado y el panel de control. En esta sección se hace una descripción de la operación de la lavadora con el nuevo sistema de control, sin entrar en detalles del panel, los circuitos y otros aspectos que ya fueron tratados en el capítulo 3.

#### 4.2.1 Secuencia de Operaciones de la Lavadora con los Nuevos Sistemas Incorporados

Las operaciones que realizan tanto el usuario como la lavadora desde el principio hasta el final del proceso de lavado son:

1. La lavadora inicialmente se encuentra en estado de “espera”, con la tapa cerrada (o, abierta), lista para que el microcontrolador comience a correr el programa en cuanto detecte el cambio de posición en el interruptor de la tapa.
2. Una vez que el usuario cambia la posición de la tapa (cerrada a abierta o viceversa) se encienden los LEDs de los botones correspondientes a la última elección del usuario del tipo de ropa, cantidad de ropa, grado de suciedad, funciones adicionales opcionales, alarma y uso del sistema de ahorro de agua. En este momento el usuario tiene la posibilidad de cambiar su elección de cualquiera de los parámetros básicos o del resto de las opciones, para iniciar el programa de lavado. La lavadora permanece en espera de cambios en el teclado durante 5 minutos. Si al finalizar este tiempo el usuario no presiona el botón INICIO/PAUSA para dar comienzo al programa o el botón LIMPIAR del bloque “Ahorro de Agua”, el microcontrolador automáticamente graba en memoria las opciones seleccionadas en última instancia y apaga los LEDs del panel de control, para quedar nuevamente en modo de “espera”.
3. La rutina de limpieza del sistema de reuso de agua sólo puede seleccionarse durante la primera etapa de la operación de la lavadora, antes de comenzar el programa de lavado. Si se selecciona dicha opción, el usuario debe drenar manualmente el tanque de almacenamiento por el conducto inferior que no se esté utilizando (salida para la bomba o para la válvula), quitando el tapón de hule, o por el conducto que sí se utiliza en caso de que el filtro también requiera limpieza. Si el usuario no drena manualmente el tanque, la lavadora lo hace automáticamente, haciendo pasar el agua del tanque a la tina de la lavadora y bombeándola desde este sitio hacia el drenaje. El sistema de control tiene una protección para que, en caso de que el tanque y/o la tina no puedan ser drenados completamente en un lapso de 10 minutos, el programa no se quede “atrapado” indefinidamente en la rutina, sino que regrese al inicio del programa, haciendo sonar la alarma para manifestar que existe algún problema.

4. Para que el programa de lavado comience, el usuario debe presionar el botón INICIO/PAUSA. Una vez que el programa inicia, los parámetros básicos ya no se pueden modificar mientras esté en operación el programa. Si se desean realizar cambios es necesario presionar primero el botón INICIO/PAUSA para que la lavadora se detenga, y entonces realizar los cambios que se deseen. Si el microcontrolador detecta algún cambio en los parámetros básicos, el programa inicia desde el principio en cuanto se presiona nuevamente el botón INICIO/PAUSA. Si no se realiza ningún cambio en los parámetros básicos, el programa continúa en la etapa donde se quedó al realizarse la pausa. Las funciones adicionales, la alarma y la opción de habilitación del sistema de reuso de agua se pueden activar y desactivar a lo largo del curso del programa, en la etapa previa al inicio y durante las pausas. Los LEDs de los botones del panel de control permanecen encendidos con las opciones seleccionadas durante la etapa de espera y mientras la lavadora está trabajando. Si la lavadora se encuentra en "espera" con los LEDs del panel apagados, y se desea comenzar un programa de lavado, se puede presionar directamente el botón INICIO/PAUSA para dar comienzo al programa de lavado, sin necesidad de cambiar la posición de la tapa para que el panel de control se encienda.
5. Una vez que comienza el programa de lavado al presionar el botón INICIO/PAUSA, la primera acción que realiza el microcontrolador consiste en leer las opciones seleccionadas en el teclado, tanto de los parámetros básicos como del resto de las funciones. Con la elección del usuario, se asigna a los parámetros R1, R2, C y G los valores correspondientes dependiendo de los botones que se encuentren activados en este momento (ver sección 3.5.3).
6. Luego de asignar los valores de los parámetros según la lectura del teclado, el microcontrolador calcula por medio de las ecuaciones correspondientes los valores de las variables del proceso de lavado. Los valores calculados se guardan en la memoria interna para ser utilizados a lo largo del desarrollo del programa.
7. La siguiente acción consiste en la preparación del baño de lavado. La tina de la lavadora se llena con agua limpia proveniente de la toma doméstica (o limpia y de reuso, si el usuario decide utilizar el agua almacenada en el tanque) con la temperatura correspondiente  $\theta_L$  (entre 20 y 60°C). El agua limpia puede provenir de la válvula de agua caliente y/o de la de agua fría, dependiendo de la temperatura de

lavado calculada. Para permitir el flujo de agua limpia hacia la tina se envía una señal de control a la válvula correspondiente, de modo que el solenoide contraiga su vástago y el diafragma se mueva. Si se desea utilizar el agua del tanque también es necesario enviar una señal de control a la válvula o bomba colocada a la salida del recipiente. Las señales de control en este caso para las válvulas de agua caliente y fría, así como para el actuador del sistema de reuso de agua, pueden ser pulsantes o continuas, dependiendo de la temperatura del agua (ver sección 3.5.4.8). El nivel de agua puede variar entre 20 y 40 cm (media tina a tina completa) en función de la cantidad de ropa y el tipo de ropa. El nivel de agua en la tina es detectado por el sensor de presión piezoeléctrico. Éste envía una señal eléctrica debidamente acondicionada al microcontrolador, donde es comparada con el valor del nivel deseado, calculado previamente a partir de las ecuaciones. En cuanto la señal del sensor alcanza dicho valor, el microcontrolador cierra las válvulas de alimentación de agua y comienza la etapa de prelavado o de lavado.

8. A medida que la tina se llena de agua, el dosificador agrega detergente al flujo de entrada, de manera que se disuelva lo mejor posible antes de llegar a la tina de lavado y así evitar desperdicio de producto debido a la formación de grumos o a la acumulación en la superficie de las prendas. La cantidad de detergente a ser dosificado idealmente varía entre 46 y 121 gramos; sin embargo, debido al diseño del dosificador que sólo permite utilizar cantidades discretas en divisiones de 25 g, se pueden dosificar de 2 a 5 cartuchos (50 a 125 g) por carga de ropa. Si el microcontrolador calcula el número de cartuchos que se requiere dosificar y el número de cartuchos disponibles es menor, avisa al usuario por medio de la alarma y haciendo parpadear el LED correspondiente, para indicarle que es necesario extraer el dosificador, llenarlo con detergente y volverlo a colocar en su lugar, para que el programa continúe de manera normal.
9. Si el usuario decide que el programa de lavado incluya una etapa de prelavado, debe presionar el botón correspondiente del bloque de funciones adicionales antes de que comience el programa. La etapa de prelavado puede tener una duración de 20 a 100 minutos, dependiendo del valor calculado en la ecuación correspondiente a partir de los valores de los parámetros indicados en el teclado. Durante este tiempo, el agitador realiza un movimiento alternativo esporádico, una vez cada 30 segundos. Al finalizar

la etapa de prelavado, la lavadora comienza la etapa de lavado, descrita más adelante. La dosificación de detergente desde el momento de llenar la tina con agua se realiza para que el producto pueda actuar más efectivamente, al tener un mayor tiempo de contacto con la ropa sucia. Como el agua empleada para el prelavado no es drenada, el detergente permanece en el baño durante la etapa de lavado. Este tiempo de exposición prolongado ayuda a que el detergente disuelva mejor la mugre, y, debido a que contiene agentes antirredespositantes, la suciedad desprendida durante la etapa de prelavado permanece en el baño sin ensuciar la ropa durante los períodos de agitación correspondientes al lavado. El usuario puede agregar otros productos de limpieza que ayuden al proceso de lavado, tales como blanqueadores y suavizantes de tela, ya sea durante la etapa de prelavado o la de lavado. Al igual que en el esquema original, esta adición se debe realizar manualmente. Si no se desea un prelavado, el programa comienza directamente con la etapa de lavado.

10. De manera similar al esquema original de funcionamiento de la lavadora, durante la etapa de lavado el agitador realiza un movimiento angular alternativo, a una frecuencia determinada y con una duración de los tiempos de encendido y apagado de los embobinados del motor calculados a partir de las ecuaciones correspondientes. Sin embargo, ahora la agitación se lleva a cabo a frecuencia alta durante 30 segundos y frecuencia baja durante otros 30 segundos, repitiéndose esta secuencia a lo largo del tiempo de lavado. La frecuencia baja equivale aproximadamente a un 64% de la frecuencia alta. El tiempo de lavado puede variar entre 3.0 y 13.5 minutos, dependiendo de los valores de los parámetros de lavado indicados por el usuario.
11. Al finalizar la etapa de lavado la bomba drena la tina, pero en este caso no existe la posibilidad de almacenar el agua empleada durante esta etapa, debido a que contiene una alta concentración de productos químicos (detergente, blanqueador, suavizante, etc.) y de mugre disuelta y/o en suspensión. El microcontrolador envía la señal de control para abrir la válvula de desagüe durante esta operación de bombeo de la tina.
12. Una vez que el sensor de presión detecta que la tina se ha vaciado completamente, se activa el solenoide de la transmisión y se conecta uno de los embobinados del motor, para llevar a cabo la etapa de centrifugado intermedio. Durante la mitad del tiempo de centrifugado calculado el motor gira en un sentido, y durante el resto del tiempo gira en sentido contrario. El tiempo de centrifugado puede variar entre 2.4 y 6.3

- minutos. Durante esta etapa la bomba continúa trabajando para drenar el agua extraída de la ropa, y el microcontrolador monitorea constantemente la posición del interruptor de la tapa. Si detecta que ésta se abre, inmediatamente apaga todos los sistemas, y sólo reanuda su operación cuando la tapa se cierra nuevamente. Si transcurren 5 minutos y la tapa no se ha cerrado, la lavadora se apaga automáticamente y el programa de lavado concluye. Al finalizar el centrifugado intermedio, la bomba, el solenoide y el motor se apagan, para continuar con la etapa de enjuague.
13. Una vez más, la tina de lavado se llena con agua para el enjuague, pero en este caso solamente se alimenta con agua limpia proveniente de la toma (válvula de agua fría). La etapa de enjuague es similar a la de lavado, pero ya no se dosifica detergente y el tiempo de agitación es menor (puede variar entre 2.0 y 5.2 minutos). Si el usuario elige la opción de realizar un enjuague extra profundo, al finalizar la etapa normal de enjuague, la bomba drena la mitad del agua contenida en la tina y la envía al drenaje o al tanque de almacenamiento, dependiendo de la elección del usuario. La tina se llena nuevamente con agua limpia hasta el nivel asignado originalmente y realiza un ciclo de agitación de alta frecuencia y uno de baja frecuencia con una duración de 30 segundos cada uno, para después drenar completamente la tina, enviando el agua al desagüe o al tanque según elija el usuario.
  14. Cuando el sensor de presión detecta que la tina se encuentra vacía, se realiza la etapa de centrifugado final. La secuencia de operaciones es idéntica a la del centrifugado intermedio, pero con dos diferencias: a) existe la opción de llevar a cabo un enjuague extra por rocío, que consiste en permitir el paso de pequeños chorros de agua fría limpia a la tina, de modo que se eliminen los residuos de detergente y otras partículas que hayan quedado en las prendas después del enjuague; b) se puede realizar un centrifugado extra opcional, que consiste en prolongar un 50% la duración de la etapa de centrifugado, al hacer girar el motor en un sentido durante la mitad del tiempo original asignado para esta etapa, después de que ha girado en uno y otro sentido durante el tiempo TC.
  15. Por último, cuando termina la etapa de centrifugado final, el microcontrolador apaga todos los sistemas (motor, válvulas, bombas, solenoides, pánel de control) y queda

nuevamente en estado de “espera”, para volver a comenzar en cuanto se detecte el cambio de estado en el interruptor de la tapa o se presione el botón INICIO/PAUSA.

### 4.3 COMPARACIÓN CON EL ESQUEMA ANTERIOR DE FUNCIONAMIENTO

En la sección anterior se describieron brevemente los aspectos más importantes del funcionamiento de la lavadora con los nuevos sistemas incorporados. En esta sección se hace una comparación cualitativa de las ventajas y desventajas que presenta la incorporación de los sistemas propuestos en este trabajo respecto al esquema original de funcionamiento, y una comparación cuantitativa en aspectos fácilmente medibles tales como tiempos, número de componentes, etc.

Las comparaciones entre sistemas se pueden hacer desde distintos puntos de vista. En este caso, los aspectos a considerar para realizar la comparación cualitativa y cuantitativa entre los sistemas son:

- 1) Ergonomía y comodidad para el usuario
- 2) Confiabilidad
- 3) Desempeño general y funcionalidad
- 4) Flexibilidad
- 5) Consumo de energía y recursos materiales
- 6) Manufactura
- 7) Normatividad

#### 4.3.1 Ergonomía y Comodidad para el Usuario

La ergonomía se ocupa de estudiar la interacción entre los seres humanos y los productos diseñados y utilizados por ellos mismos. Esta interacción se puede llevar a cabo de muchas maneras. Para el caso de la lavadora, los aspectos más importantes en que se puede comparar la lavadora antes y después de realizar los cambios descritos en este trabajo son:

- *Estética.* Aunque la estética es un aspecto claramente subjetivo, se puede realizar una comparación entre las características de la apariencia de la lavadora originalmente y

después de las modificaciones debidas al sistema de reuso de agua y al nuevo sistema de control. Para el pánel de control, esta comparaci3n se presenta en la tabla 4.1.

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>
<b>Color del pánel</b>	Plateado	Blanco
<b>Material del pánel</b>	Aluminio	Poliestireno
<b>Colores de los rótulos</b>	Negro	Negro, anaranjado, lila, amarillo
<b>Idioma de los rótulos</b>	Inglés, números, abreviaturas	Español, símbolos
<b>Tamaño de letra más grande</b>	4 mm	8 mm
<b>Tamaño de letra más pequeño</b>	3 mm	3 mm
<b>Controles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 perillas redondas (�5.0 cm y �3.2 cm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 botones ovalados (2.0 X 1.0 cm)</li> <li>• 6 botones formando un anillo (�7.7 cm exterior y �4.0 cm interior)</li> <li>• 1 bot3n redondo (�3.5 cm)</li> </ul>
<b>Color de los controles</b>	Negro	Blanco, verde
<b>Indicaci3n de avance de programa de lavado</b>	Giro de la perilla	LEDs indicadores
<b>Luz en los controles</b>	No	S�

Tabla 4.1. Comparaci3n de las características de apariencia del pánel de control original y el nuevo.

La apariencia no s3lo se ve afectada en cuesti3n del pánel de control. Al incorporar el sistema de reuso de agua, la lavadora cuenta con un mayor número de elementos externos que originalmente. Antes, las piezas que sobresalían del cuerpo de la lavadora eran: mangueras de alimentaci3n de agua (caliente y fría), manguera de desagüe y cable de alimentaci3n de energía eléctrica. Al incorporar el sistema de reuso de agua, los nuevos elementos externos que se añaden, además de los ya existentes, son: tanque de almacenamiento, bomba o válvula de recirculaci3n, válvulas de conmutaci3n desagüe/reuso, presostato con manguera, mangueras de conducci3n de la tina a las

válvulas de conmutación y manguera de recirculación del tanque a la lavadora. Esto definitivamente modifica la apariencia de la lavadora, pero gracias a que estos elementos se colocan en la parte posterior, el aspecto general y el espacio ocupado externo al cuerpo de la misma no se ven afectados mayormente.

- *Fuerza necesaria para mover los controles.* Para cambiar la posición de la perilla selectora del tamaño de la carga se requiere realizar el giro con cierta fuerza. De la misma manera, para seleccionar el programa de lavado deseado en la perilla principal es necesario aplicar un par suficiente para vencer el mecanismo de trinquete del temporizador electromecánico. Este elemento también genera ruido al ser girada la perilla. En cambio, el nuevo panel de control da la facilidad de realizar las modificaciones de los parámetros de lavado sin necesidad de aplicar fuerzas o pares considerables, además de que, en este caso, el presionar los botones es más “amigable” al tacto que cambiar la posición de las perillas (Sanders y McCormick, 1992).
- *Precisión en la selección.* En el panel de control original se puede seleccionar una de dos posiciones de la perilla selectora del nivel de agua. A pesar de que se menciona que la lavadora cuenta con 4 ciclos, en realidad se puede seleccionar entre 9 opciones aproximadamente en la perilla del temporizador. En este caso la dificultad radica en conocer con precisión y seleccionar adecuadamente la posición de la perilla que corresponde al ciclo deseado. En caso de equivocación, es necesario girar la perilla prácticamente una vuelta completa, ya que el mecanismo de trinquete no permite girarla en sentido inverso. En el nuevo panel las opciones de los parámetros básicos y las funciones adicionales están claramente definidas. Si se desean realizar cambios simplemente es necesario presionar el botón correspondiente a la nueva selección.
- *Comunicación con el usuario y toma de decisiones.* Tanto en cuestión de selección del programa de lavado como en el seguimiento del avance del mismo, el nuevo panel de control brinda al usuario mayores facilidades de comunicación. En el panel original es necesario decidir el tiempo y/o temperatura de lavado y seleccionar si la carga de ropa es grande o pequeña. Se colocan las perillas en las posiciones que correspondan y el programa inicia cuando la perilla principal es jalada. Para dar seguimiento al programa de lavado se debe ver la posición de la flecha de esta perilla. Si se encuentra “antes del punto” significa que está en la etapa de lavado o de centrifugado intermedio; si está “después del punto”, significa que ya está en la etapa de enjuague o en la de

centrifugado final. En el nuevo panel de control se realiza la selección de los parámetros que mejor se adapten a las condiciones de la carga de ropa a lavarse y de las funciones adicionales que se desean incorporar al programa, y se presiona el botón INICIO/PAUSA para comenzar la operación de la lavadora. El seguimiento se da al visualizar el LED indicador de etapa que se encuentre encendido (Prelavado, Lavado, Enjuague o Centrifugado). En el primer caso la comunicación entre el usuario y la máquina es visual y no se lleva a cabo de manera muy clara, mientras que en el segundo caso la comunicación es visual (rótulos y LEDs) y audible, si el usuario habilita la alarma.

- *Limpieza manual del sistema de reuso de agua.* Una desventaja del nuevo esquema de funcionamiento de la lavadora consiste en que el usuario debe limpiar el sistema de reuso de agua periódicamente, ya que las impurezas contenidas en el agua almacenada se pueden acumular en las paredes interiores del tanque, en las mangueras y accesorios de conducción y en el filtro colocado con este fin a la salida del tanque. Esto representa un problema que antes no tenía el usuario, y si a esto se añade que el sistema tendrá cierto costo y no le representará grandes ahorros en cuestión económica por el menor uso del líquido, el sistema de reuso de agua puede enfrentar obstáculos en su aceptación por parte de los usuarios.

#### 4.3.2 Confiabilidad

Los componentes electrónicos presentan muchas ventajas sobre los mecánicos. En cuestión de la fiabilidad del control electrónico respecto al temporizador electromecánico los aspectos principales de comparación son:

- *Desgaste.* Los circuitos electrónicos de buena calidad pueden permanecer trabajando sin dar problemas durante períodos muy largos de tiempo, mientras que los componentes mecánicos utilizados para interrumpir la corriente eléctrica tienen vidas útiles limitadas, debido al desgaste de sus partes móviles y de las partes que entran en contacto debido a la generación de arco eléctrico.
- *Resistencia a voltajes mayores o menores al nominal.* En el temporizador electromecánico las fluctuaciones en el voltaje de alimentación dentro de límites razonables no afectan

al sistema de control en sí. En el circuito de control electrónico en teoría tampoco debe haber problemas, ya que, por una parte, la alimentación de energía a los circuitos está debidamente regulada (sección 3.5.2.2) y por otra, la línea de corriente alterna que alimenta los actuadores se encuentra aislada de los circuitos gracias a los optoacopladores. En ambos casos los elementos que pueden sufrir daño si el voltaje excede los valores permisibles son los actuadores en sí, ya que están diseñados para trabajar con voltajes nominales y permiten cierta tolerancia.

- *Fallas en el suministro de energía eléctrica.* Si llega a ocurrir una falla momentánea en la señal de voltaje de alimentación y se pierden algunos ciclos de la misma, el temporizador electromecánico no tiene ningún problema, ya que simplemente se detiene su motor síncrono y dejan de trabajar los actuadores durante el tiempo de falla. Sin embargo, en el circuito electrónico pueden presentarse problemas por esta causa si la energía que alimenta el microcontrolador es interrumpida. En este caso, el microprocesador puede interpretar el corte de energía como una indicación de “reset” y comenzaría su operación nuevamente desde la última etapa grabada en memoria en cuanto el usuario presione el botón INICIO/PAUSA del panel de control.
- *Reemplazo de partes que fallen.* En caso de falla, el temporizador electromecánico debe ser sustituido completamente, ya que, como refacción, se vende como una sola pieza. Como el circuito completo del control electrónico está compuesto por varias partes (tarjeta del microcontrolador, etapa de potencia, alimentación de energía, sensor de presión), se puede sustituir solamente la parte que presenta la falla, y no es necesario cambiar todos los componentes electrónicos. Sin embargo, si el diseño es modificado y se integran todos los circuitos en un número menor de tarjetas esta ventaja relativa sería menor, ya que en caso de falla sería necesario reemplazar toda una tarjeta que contenga más de un bloque de componentes.

#### 4.3.3 Desempeño General y Funcionalidad

En la sección 4.2 se describe la operación cualitativa de la lavadora bajo el nuevo esquema de control. En esta sección se analizan algunos aspectos de la operación desde el punto de vista cuantitativo, evaluando las diferencias en puntos específicos antes y después de la incorporación de los nuevos sistemas.

---

Al añadir válvulas al sistema de desagüe para realizar la conmutación entre el almacenamiento del agua en el tanque y la conducción al drenaje necesariamente se presentan pérdidas de carga en el circuito hidráulico, lo que significa que la bomba debe trabajar más tiempo para poder drenar la tina de lavado. Experimentalmente, se observó que la bomba de la lavadora puede proporcionar un gasto aproximado de  $140.7 \text{ cm}^3/\text{s}$  con una carga de 97 cm de altura sobre el nivel del piso (a este nivel se colocó la descarga de la manguera de desagüe). Al colocar en la línea de conducción la válvula Eaton seleccionada para el sistema de reuso de agua (sección 2.4.3) completamente abierta, la bomba proporcionaba, con la misma carga de 97 cm, un gasto de  $108.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ , lo que representa una disminución de aproximadamente 23% respecto al valor inicial. Cuando el tanque de almacenamiento se coloca en la posición superior, la altura sobre el nivel del piso a la que debe ser bombeada el agua es aproximadamente 185 cm. Al ser la bomba de desagüe de la tina de tipo centrífuga, al aumentar la carga de bombeo el gasto disminuye. Experimentalmente se obtuvo un gasto de  $104.3 \text{ cm}^3/\text{s}$  para conducción sin válvula en el circuito hidráulico y de  $84.7 \text{ cm}^3/\text{s}$  con una válvula en la línea. Esto representa una disminución de 26% y 40% respectivamente respecto al gasto de la bomba bajo las condiciones originales de bombeo ( $H = 97 \text{ cm}$ , sin válvula). Esto se traduce en mayores tiempos de bombeo dentro del programa y por consiguiente un mayor consumo de energía por parte del motor de la bomba, cuya potencia eléctrica nominal es 105 W.

Respecto a la eficiencia de lavado y el desgaste de la ropa por parte de la lavadora con el nuevo modo de operación definitivamente es necesario realizar pruebas y experimentos para poder ajustar los valores de los parámetros y variables que mejor puedan mantener el balance entre desempeño, consumo de energía, tiempo de operación y desgaste de la ropa.

#### 4.3.4 Flexibilidad

Una de las principales “banderas” del sistema de control propuesto es el hacer más flexible la operación de los sistemas de la lavadora, entendiéndose “flexibilidad” como la ampliación de los rangos de operación y la posibilidad de tener más opciones de selección de los parámetros y/o variables de lavado. En la tabla 4.2 se presenta una comparación entre los esquemas de control original y nuevo en este aspecto.

PARÁMETRO O VARIABLE	ORIGINAL	PROPUESTO
<b>a) Parámetros</b>		
Tipo de ropa	No hay opciones de selección, depende del usuario	6 opciones de selección
Cantidad de ropa	2 opciones de selección (nivel de agua)	4 opciones de selección
Grado de suciedad	3 opciones (ciclos largos)	4 opciones de selección
<b>b) Variables</b>		
Nivel de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 20 - 40 cm</li> <li>• 2 opciones: 20, 40 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 20 - 40 cm</li> <li>• 6 opciones: 20, 25, 27, 33, 36, 40 cm</li> </ul>
Cantidad de detergente	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 46 - 121 g</li> <li>• 5 opciones*: 25, 50, 75, 100 y 125 g</li> </ul>
Temperatura de lavado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 20 - 70 °C</li> <li>• 3 opciones: fría (20°C), tibia (45°C), caliente (70°C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 20 - 60 °C</li> <li>• 13 opciones: 20, 26, 28, 30, 32, 33, 35, 37, 39, 54, 56, 58, 60 °C</li> </ul>
Tiempo de prelavado	No disponible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 20 - 100 min</li> <li>• 7 opciones: 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100 min</li> </ul>
Tiempo de lavado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 2.0 - 14.0 min</li> <li>• 7 opciones: 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0 min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 3.0 - 13.5 min</li> <li>• 34 opciones: 3.0, 3.1, 3.4, 3.8, 3.9, 4.1, 4.4, 4.5, 4.8, 5.1, 5.3, 5.6, 5.8, 6.2, 6.4, 6.6, 6.8, 7.0, 7.3, 7.5, 7.9, 8.0, 8.2, 8.4, 8.8, 9.0, 9.4, 9.6, 10.1, 10.3, 10.5, 11.3, 12.4, 13.5 min</li> </ul>
Tiempo de enjuague	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 opción: 4.0 min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 2.0 - 5.2 min</li> <li>• 7 opciones: 2.0, 2.1, 2.2, 2.6, 3.2, 4.2, 5.2 min</li> </ul>
Tiempo de centrifugado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 4.0 - 6.0 min</li> <li>• 2 opciones: 4.0, 6.0 min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 2.4 - 6.3 min</li> <li>• 7 opciones: 2.4, 3.0, 3.6, 4.2, 4.5, 5.3, 6.3 min</li> </ul>

PARÁMETRO O VARIABLE	ORIGINAL	PROPUESTO
Frecuencia alta de agitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 opción: 67 osc/min</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 21 - 77 osc/min</li> <li>• 26 opciones: 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 62, 64, 65, 67, 70, 71, 73, 74, 77 osc/min</li> </ul>
Frecuencia baja de agitación	No disponible**	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 14 - 49 osc/min</li> <li>• 17 opciones: 14, 15, 16, 17, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 43, 45, 47, 49 osc/min</li> </ul>
Par relativo de agitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 opción (fijo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango: 36 - 100%</li> <li>• 3 opciones: 36, 82, 100 %</li> </ul>
Velocidad de centrifugado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 opción: 760 rpm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 opción***: 760 rpm</li> </ul>

\* Las opciones del dosificador de detergente calculadas según la ecuación correspondiente se presentan en el Apéndice A. Sin embargo, debido al diseño del mismo, sólo puede dosificar detergente en cantidades múltiplos de 25 g, por lo que los valores calculados se deben aproximar a la opción más cercana.

\*\* En la lavadora proporcionada sólo se puede trabajar a una frecuencia de agitación de 67 osc/min. Sin embargo, en la tarjeta electrónica proporcionada para realizar el control del motor existe la posibilidad de tener una frecuencia baja de agitación de 43 osc/min si se conecta la terminal "RATE" de la tarjeta del circuito oscilador a la línea de voltaje.

\*\*\* A pesar de que el microcontrolador calcula y puede asignar 3 velocidades de centrifugado, el motor actual de la lavadora sólo permite trabajar a una velocidad.

*Tabla 4.2. Comparación de selección de los parámetros y rangos de operación de las variables en los sistemas de control original y propuesto.*

Como parte de la flexibilidad del sistema de control propuesto, otra ventaja propia de los microcontroladores consiste en que, en caso de que el programa requiera modificaciones en general (actualizaciones, cambios en los valores de parámetros o variables, etc.) éstas se pueden llevar a cabo si se reprograma la memoria del microprocesador, sin necesidad de modificar físicamente el diseño de los circuitos de control y las conexiones, a menos que se desee agregar nuevos elementos sensores o actuadores. En el caso del temporizador, para realizar cambios en las rutinas o la

secuencia de operaciones es necesario diseñar nuevamente el sistema, realizando los cambios de conexiones, interruptores, levas, y demás elementos que correspondan.

#### 4.3.5 Consumo de Energía y Recursos Materiales

Para poder realizar una comparación cuantitativa adecuada en cuestión de consumo energético y de recursos es necesario realizar pruebas de funcionamiento de la lavadora bajo ambos esquemas, lo que queda fuera del alcance de los proyectos aquí desarrollados. Sin embargo, en esta sección se presentan los aspectos más importantes que deben considerarse para realizar esta comparación.

##### 4.3.5.1 Consumo de Energía Eléctrica

El consumo de energía eléctrica se verá afectado en más de un sentido debido a las modificaciones realizadas al sistema de control y por la incorporación del sistema de reuso de agua y eventualmente del dosificador de detergente. Los circuitos que componen el microcontrolador, la etapa de potencia, la alimentación de energía y el acondicionamiento de la señal del sensor de presión requieren energía eléctrica para trabajar. Originalmente, el único elemento de control que consume energía es el motor síncrono que mueve las levas del temporizador electromecánico. La potencia nominal de este motor es 3 W. Realizando una estimación burda, los circuitos en conjunto consumen alrededor de 1 A de corriente directa a un voltaje de 12 V. Considerando la disipación de calor y pérdidas asociadas (transformador, reguladores, etc.), se puede estimar el consumo de energía eléctrica en alrededor de 15 W. Este valor es mayor al de su contraparte original (3 W); sin embargo, dentro del contexto global de consumo de la lavadora (alrededor de 500 W), esta cifra resulta despreciable, y se puede compensar si se logran ahorros en el consumo eléctrico de otros elementos.

En cuestión del consumo eléctrico por parte de los actuadores, algunos de ellos trabajarán durante períodos más largos dentro del programa de lavado y otros durante períodos más cortos. Por ejemplo, originalmente el solenoide de la transmisión es encendido desde que comienza el drenaje de la tina, tanto al final del lavado como del enjuague, y permanece encendido durante el tiempo de bombeo y el de centrifugado. Esto

se debe a que la bomba y el solenoide son controlados por el mismo interruptor dentro del temporizador, por lo que se encienden y apagan juntos. En el esquema de control propuesto el solenoide sólo trabaja durante el tiempo de centrifugado. Si se considera que el consumo nominal de potencia del solenoide es aproximadamente 7 W, y que los tiempos de bombeo varían entre 6 y 10 minutos, la energía ahorrada en este aspecto no resulta ser significativa. La bomba originalmente trabaja durante períodos dados de tiempo que se establecen dentro del programa como mínimos para garantizar que la tina es drenada completamente antes de comenzar la etapa de centrifugado. Esto provoca que la bomba quede trabajando en vacío durante algunos instantes, lo que representa tiempo de programa perdido y un consumo innecesario de energía. Con la incorporación del sensor de presión piezoeléctrico, el microcontrolador conoce el nivel de agua en todo momento, y por lo tanto puede apagar la bomba en cuanto detecta que la tina se encuentra vacía. Sin embargo, una desventaja del esquema de funcionamiento propuesto en cuestión de bombeo consiste en la incorporación de las válvulas en la línea de conducción de agua de la descarga de la bomba hacia el almacenamiento o el desagüe. Las válvulas representan pérdidas hidráulicas (ver sección 4.3.3) que se traducen en mayores tiempos de bombeo necesarios para drenar completamente la tina, a pesar de que el sistema de reuso de agua no se utilice. Esto, aunado al consumo eléctrico de cada válvula, cuya potencia eléctrica nominal es 28 W, es una desventaja de la incorporación del sistema de reuso de agua. Otro elemento del sistema de reuso es el actuador que provoca el flujo de recirculación de agua del tanque hacia la tina. En cualquier caso, empleando bomba o válvula, el consumo de energía eléctrica es mayor que el necesario para permitir el paso de agua limpia de la toma empleando las válvulas solenoide originales, cuyo consumo eléctrico es aproximadamente de 10 W (cada una).

#### 4.3.5.2 Consumo de Energía Térmica

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, la energía térmica del agua caliente representa la mayor parte del consumo de energía necesaria para realizar el proceso de lavado adecuadamente. El sistema de control propuesto brinda una mayor flexibilidad en cuanto a la asignación de temperaturas del agua de lavado comparado con el sistema original. Esto permite que la utilización de agua caliente sea más racional y

controlada. Por ejemplo, suponiendo que la temperatura del agua caliente de los hogares es alrededor de 70°C, la mayor temperatura para el agua que puede obtenerse en el esquema original es 70°C, abriendo únicamente la válvula de agua caliente para alimentar la tina. En el nuevo esquema, la máxima temperatura que puede obtenerse es 60°C, que resulta del paso de agua caliente continuamente y un volumen menor de agua fría o de reuso. Esta disminución de 10°C en la temperatura del agua permite tener un ahorro de energía aproximadamente de 3.35 MJ para un volumen de 80 litros (tina completa), que traducidos en un ahorro en el consumo de gas L.P. anual debido a la menor utilización de agua caliente puede representar diferencias importantes. Desde luego, es necesario realizar un estudio más detallado sobre la eficiencia del método propuesto para controlar la temperatura del agua, y la influencia de estas modificaciones en el desempeño del proceso de lavado. Sin embargo, se puede ver que en este aspecto existe una gran área de oportunidad para realizar ahorros en cuestión de consumo de energía.

#### 4.3.5.3 Consumo de Agua

Al tener una mayor flexibilidad en la elección de la cantidad de ropa, se puede adaptar mejor la cantidad de agua a emplearse en el lavado al tamaño de la carga de ropa. En el esquema original solamente existen dos opciones para asignar el nivel de agua (SMALL y LARGE), que equivalen respectivamente a llenar la tina hasta la mitad de su nivel o completamente. A pesar de que se recomienda lavar siempre cargas completas de ropa, esto no siempre es posible. Por tanto, si el usuario deseara lavar una carga de ropa equivalente a  $\frac{3}{4}$  partes de la capacidad de la lavadora, debería utilizar el nivel LARGE (tina completamente llena de agua) para garantizar que las prendas queden completamente sumergidas en el baño y así sean lavadas eficientemente y no sufran desgaste. En este caso se estaría desperdiciando aproximadamente un volumen de 40 litros (20 en el lavado, 20 en el enjuague), ya que  $\frac{1}{4}$  parte del agua estaría en exceso.

El otro aspecto que contribuye claramente al ahorro de agua es la incorporación del sistema de reuso de agua. Al reutilizar el agua empleada en ciclos anteriores de lavado, la lavadora puede requerir entre 20 y 50% menos agua de la empleada regularmente, dependiendo del tamaño de la carga, la temperatura deseada del agua de lavado y el volumen almacenado en el tanque.

El enjuague extra profundo aparentemente es una función que provocará un mayor gasto de agua, ya que representa llenar nuevamente la tina con agua limpia después de haber drenado la mitad del volumen empleado para el enjuague. Sin embargo, si esta función evita que el usuario deba lavar su ropa en un programa normal nuevamente, claramente resulta en un ahorro de tiempo y agua.

#### 4.3.5.4 Consumo de Detergente

A partir de una investigación referente a los hábitos de lavado de usuarios, que se ha realizado en complemento al presente trabajo (Montaño, 1998), se pudo percibir que se utiliza una cantidad de detergente significativamente mayor a la necesaria en la mayor parte de los hogares. Esto se debe principalmente a una falta de cultura de utilización racional de los recursos, aunada a información incompleta por parte de los fabricantes de detergentes en polvo. Aunque todavía es necesario determinar experimentalmente si las cantidades de detergente calculadas por medio del sistema de control propuesto son las adecuadas para dar la concentración necesaria para que la acción del producto sea efectiva, con toda seguridad la utilización de detergente será menor a la actual para la mayoría de los casos. Esto permitirá al consumidor ahorrar dinero y recursos al emplear cantidades menores de productos de limpieza para realizar el lavado de ropa de manera adecuada.

#### 4.3.6 Manufactura

Al incorporar nuevos sistemas a la lavadora, lógicamente el número de operaciones necesarias para la producción de ésta debe incrementarse. En el caso del sistema de reuso de agua, al no existir originalmente en la lavadora, se debe considerar la adición de las siguientes operaciones de manufactura:

1. *Fabricación del tanque de almacenamiento.* El tanque se puede fabricar por extrusión-soplado de plástico como ya se ha mencionado. Dentro del proceso se debe considerar la eliminación de rebaba y eventualmente alguna otra operación menor para afinar detalles propios del proceso. Los soportes para la bomba, las válvulas y el presostato,

así como el filtro, pueden fabricarse por inyección y las partes correspondientes después ser ensambladas al tanque por medio de adhesivos y/o uniones mecánicas.

2. *Ensamble de los actuadores y sensores del sistema de reuso de agua.* Una vez que el tanque está fabricado, se deben fijar los elementos de control al mismo y acoplarlos a las entradas y salidas de agua por medio de mangueras flexibles de hule y abrazaderas para garantizar el sellado. Los elementos de control mencionados son: presostato, válvulas de conmutación reuso/desagüe y bomba o válvula de recirculación. Dentro de las operaciones de ensamble se debe considerar la colocación del filtro a la salida del tanque y del tapón de hule en la salida de agua que no se está utilizando.
3. *Acoplamiento del sistema de reuso con la lavadora (conexiones eléctricas e hidráulicas).* Esta operación puede realizarse al momento de instalar la lavadora en el hogar del usuario, ya que, principalmente para efectos de transporte, es más conveniente manejar por separado la lavadora del sistema de reuso de agua. El acoplamiento de ambas partes incluye las conexiones de la manguera de la bomba de la lavadora hacia las válvulas de conmutación, la conexión del elemento de control del flujo de recirculación (válvula o bomba) con la entrada a la tina de la lavadora y las conexiones eléctricas entre los elementos del sistema de reuso de agua (válvulas, bomba, presostato) y el sistema de control contenido en la lavadora. La instalación del sistema en el hogar del usuario contempla la fijación del tanque a la pared por medio de pernos y taquetes, ya sea a nivel del piso o a una altura superior, en cuyo caso se requiere la instalación de una repisa.

Las modificaciones en el sistema de control (circuitos electrónicos en sustitución del temporizador electromecánico) alteran asimismo la producción de la lavadora. Las operaciones necesarias para la fabricación de ambos sistemas, así como las de ensamble con la lavadora, son distintas. El temporizador electromecánico es fabricado en Estados Unidos, mientras que la tarjeta del circuito oscilador del sistema de control original es ensamblada en México. Si todos los circuitos electrónicos del nuevo controlador se pudieran ensamblar en México, los costos asociados a la mano de obra, transportación e importación se reducirían.

En cuestión de costos lógicamente también existe una repercusión debida a la incorporación de los sistemas propuestos. La manufactura del sistema de reuso de agua

(fabricación del tanque, componentes comerciales, ensamble) es el aspecto que incrementa mayormente el costo, ya que se estima, gracias a experiencias anteriores con sistemas de control electrónicos, que el costo del mismo será ligeramente mayor del equivalente del temporizador electromecánico actual sumado al de la tarjeta del circuito oscilador. Resulta difícil hacer un pronóstico exacto de los costos de manufactura tanto del sistema de reuso de agua como del control electrónico, ya que es necesario tomar en cuenta los costos de los componentes comerciales en función de la demanda que se tendrá (descuentos por volumen, fletes, etc.), así como de la mano de obra implicada. Sin embargo, haciendo una estimación preliminar se determinó que una lavadora similar a la estudiada en este trabajo vería incrementado su precio de venta en aproximadamente un 34% respecto al actual. A medida que continúe avanzando el proyecto se podrá determinar con mayor certeza el incremento en los costos que representa la incorporación de los sistemas propuestos en este trabajo.

#### 4.3.7 Normatividad

A pesar de sólo haber desarrollado los primeros prototipos del sistema de reuso de agua y del control electrónico, es recomendable que la incorporación de ambos no infrinja en ningún sentido el cumplimiento de las normas obligatorias vigentes en el país, de manera que se puedan continuar desarrollando para ser implementados en un futuro próximo en los productos comerciales sin mayor complicación. La lavadora, bajo el esquema original de funcionamiento, debe cumplir al menos con las normas obligatorias vigentes al momento de salir al mercado, por lo que se da por un hecho que los componentes y programas de la lavadora antes de realizar las modificaciones cumplen con las normas. En esta sección se mencionan brevemente las normas nacionales obligatorias y voluntarias aplicables a lavadoras domésticas de ropa en los aspectos en que podría afectarse el cumplimiento de las mismas debido a la incorporación de los nuevos sistemas. En los aspectos de pruebas no se pudo verificar la norma con datos experimentales, debido a que el alcance de estos proyectos no contemplaba la verificación experimental del cumplimiento de las normas.

Al momento del desarrollo de los presentes proyectos, la norma mexicana vigente aplicable a la operación de lavadoras domésticas de ropa es:

**Norma Oficial Mexicana NOM-005-ENER-1996, Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba e información al público. (De carácter obligatorio).**

Esta primera norma se ocupa exclusivamente de determinar el consumo de energía eléctrica anual de las lavadoras de ropa que se venden en el mercado nacional. En ella se establece que, para una lavadora de agitador con capacidad para 7 kg de ropa seca, el consumo máximo permisible es de 218 kW-h al año, bajo las siguientes condiciones:

- La carga de muestra debe ser de algodón (con ciertas especificaciones), y su peso debe corresponder al 75% de la capacidad nominal de la lavadora (en este caso 5.25 kg).
- Se debe emplear agua fría para el ciclo de lavado de prueba.
- La secuencia de operaciones a seguirse en el programa debe ser:

1. Llenado
2. Lavado
3. Desagüe
4. Centrifugado
5. Llenado
6. Enjuague
7. Desagüe
8. Centrifugado

por lo que para correr el programa en el nuevo sistema de control no se debe incluir las opciones de prelavado, enjuagues extra, centrifugado extra ni habilitación del sistema de reuso de agua.

- La prueba debe realizarse con el programa de lavado más energético, lo que correspondería en este caso a las opciones:

- ◊ Cantidad de ropa = nivel 4
- ◊ Grado de suciedad = nivel 4
- ◊ Tipo de ropa = algodón blancos

- En la norma se menciona la duración de los periodos de cada etapa del proceso. Para lavadoras de agitador estos tiempos son:

- ◊ Lavado: 14 min
- ◊ Enjuague: 4 min
- ◊ Centrifugado: 5 min

Para las condiciones mencionadas, los tiempos correspondientes son (ver Apéndice A):

TL = 13.5 min

TE = 5.2 min

TC = 6.3 min

por lo que puede haber algún problema si el consumo de energía no cumple con la norma al hacer la prueba experimental. La diferencia en el consumo energético de la lavadora bajo el nuevo esquema de control respecto al anterior (sección 4.3.5) puede ser significativa a medida que la norma se hace más estricta, por lo que es necesario seguir modificando el diseño para hacer cada vez más eficiente la operación de la lavadora.

- Para calcular el consumo de energía anual se realiza la prueba de un ciclo de lavado, se mide el consumo energético por medio de un wathorímetro y se multiplica dicho consumo por 416 cargas/año (= 8 cargas/semana).

Si se planeara exportar la lavadora o algún modelo similar que incorpore los sistemas desarrollados en este proyecto, sería necesario verificar el cumplimiento de las normas vigentes aplicables en el lugar en que fuera a comercializarse.

#### 4.4 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Se ha reiterado a lo largo de este trabajo que el desarrollo de los proyectos aquí presentados responde a la necesidad de una empresa mexicana fabricante de lavadoras y otros enseres domésticos de buscar nuevas tecnologías, mejorar sus productos y seguir las tendencias de los productos del mercado mundial de enseres domésticos. Por esta razón, un parámetro objetivo que ayuda a evaluar la factibilidad y el éxito de los proyectos es la opinión de las personas responsables de los mismos por parte de la empresa. Durante la entrega de resultados y prototipos funcionales de los sistemas desarrollados (reuso de agua y control electrónico) los ingenieros hicieron comentarios generales y respondieron a preguntas concretas sobre diversos aspectos. En la siguiente sección se presentan algunas de estas opiniones y comentarios.

##### 4.4.1 Evaluación y Opinión por parte de la Empresa Patrocinadora del Proyecto

En general, los dos proyectos cumplieron con las expectativas de los contratantes, y fueron evaluados positivamente en diversos aspectos cubiertos durante el desarrollo de los mismos. A pesar de que el alcance no fue bien definido por parte de la empresa desde el comienzo de los proyectos, a medida que éstos evolucionaron se fueron depurando los

criterios de éxito y se pudo delimitar mejor el camino a seguir. Una deficiencia tanto por parte del patrocinador como del CDM fue la falta de comunicación clara y oportuna, lo que contribuyó en buena medida al retraso en la conclusión de las actividades que formaron parte de los proyectos.

Un criterio de evaluación importante es la posibilidad de aprovechar algunas de las ideas generadas en los proyectos para continuar desarrollándolas y que eventualmente encuentren aplicación real en las lavadoras que fabrica la empresa. Al respecto, se reiteró la necesidad de desarrollar sistemas de lavado más eficientes que utilicen una menor cantidad de agua sin afectar el desempeño del proceso de lavado; esto se proyecta a mediano y largo plazo, es decir, de 3 años en adelante.

Los aspectos que se identificaron como resultados positivos del trabajo desarrollado son principalmente los siguientes:

- El concepto de solución mecánica para realizar la recirculación del agua.
- La opción de colocar el depósito de agua en la parte posterior de la lavadora, para aprovechar el espacio para los grifos y las mangueras de llenado.
- El sistema de control electrónico en general, y el tablero de control de fácil entendimiento por parte del usuario en particular.

El desarrollo del sistema de reuso de agua permitirá el estudio más profundo de otros sistemas de ahorro de agua en lavadoras domésticas, mientras que el control electrónico podrá servir como base para la introducción de "fuzzy logic" (lógica difusa) en modelos futuros.

Una de las principales deficiencias en el desarrollo del proyecto fue el estudio más detallado de los costos de producción, principalmente debido a la falta de información. El trabajo se enfocó primordialmente hacia el desarrollo de los conceptos, a pesar de que en todo momento se contempló el aspecto económico al tratar de diseñar sistemas utilizando un número mínimo de piezas y de aprovechar partes comerciales. El enfoque de negocio, tal como lo hubiese considerado la empresa, no fue totalmente contemplado nuevamente por problemas de comunicación.

Finalmente, las áreas de oportunidad identificadas como prioritarias para continuar el desarrollo de los proyectos fueron:

1. Diseño de sistemas de reuso de agua que no tengan depósitos exteriores.
2. Sistemas que contemplen el lavado con cantidades menores de agua, sin necesidad de contar con subsistemas de reutilización.
3. Optimizar el sistema de reuso de agua en función de costos y ensamble principalmente.
4. Trabajar en el aspecto de apariencia del tanque del sistema de reuso de agua: decorados, colores, armonización con el resto del cuerpo de la lavadora, texturas superficiales, etc.
5. Flexibilidad para implementar lógica difusa en el controlador electrónico.
6. Diseño industrial de la interface entre el usuario y el sistema de control (pánel), de acuerdo a estudios de mercado.
7. Diseño de botones del pánel de control a prueba de agua.
8. Estudio de los costos de producción de ambos sistemas, y su implicación en el precio de venta al consumidor.

## REFERENCIAS

### **Libros y Tesis:**

- a) Sanders, M. y McCormick, E. Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill. Singapur, 1992.
- b) Montaña, O. Diseño y Fabricación del Prototipo de un Dispositivo Dosificador de Detergente en Polvo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, 1998.

### **Normas:**

- 1) Secretaría de Energía. Norma Oficial Mexicana NOM-005-ENER-1996, Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba e información al público.

# FALTAN PAGINAS

De la: 179

A la: 180

## **5. CONCLUSIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES GENERALES**

El desarrollo de los proyectos presentados en este trabajo resulta positivo en más de un sentido. Por parte de la empresa patrocinadora, la necesidad de diseñar y probar conceptos e ideas alternas desarrolladas por entidades ajenas a su organización (en este caso el Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería de la UNAM) contribuye a que su panorama de opciones tecnológicas de solución a problemas concretos se expanda. El hecho de que los proyectos sean estudiados y desarrollados por equipos de trabajo externos contribuye a que las líneas de investigación no se vicien, y que se propongan algunas ideas que no habían sido contempladas previamente.

Debido a los antecedentes y las circunstancias propias de los proyectos, el alcance de los mismos los limita a ser primeras aproximaciones a la solución propuesta a los problemas de menor utilización de agua por parte de las lavadoras de agitador, y de mejoras al control del proceso de lavado en general.

Los avances propuestos aquí distan de poder ser incorporados de inmediato en los productos de la empresa; sin embargo, en opinión de las personas responsables por parte de esta compañía, son un buen comienzo para dar solución a los problemas que imponen tanto las condiciones actuales y futuras del país como la evolución del mercado de enseres domésticos a nivel mundial.

Las hipótesis planteadas para cada uno de los proyectos resultaron ser verdaderas prácticamente en su totalidad. En cuestión del sistema de reuso de agua, el principal aspecto en el que el diseño propuesto difiere de la hipótesis planteada es el tiempo de operación de la lavadora, que se ve sensiblemente afectado al incorporar los accesorios en la descarga de la bomba para desagüe de la tina. Sin embargo, si se desarrolla la idea propuesta en este trabajo de emplear un número mayor de bombas con el fin de eliminar las válvulas, los tiempos de operación de los ciclos de lavado pueden resultar similares a los actuales en cuestión de conducción de agua. En cuanto al desarrollo del control

electrónico, los aspectos sujetos a mayor discusión (y por tanto aptos para ser estudiados con mayor detalle) son los referentes a la claridad de comunicación con el usuario, el costo y la facilidad de manufactura y ensamble con el resto de los sistemas de la lavadora.

El diseño conceptual y la fabricación de prototipos funcionales cumplió con las expectativas del equipo de trabajo tanto por parte del patrocinador como por parte del CDM. La intención al término de los proyectos aquí presentados es continuar el desarrollo de los mismos, haciendo énfasis en los aspectos que más conciernen a la ingeniería del producto, como son: costo, factibilidad técnica, manufactura, aceptación por parte del mercado, diseño de detalle, entre otros.

## 5.2 TRABAJO FUTURO PROPUESTO

En este trabajo se realizó la primera etapa de los proyectos "Sistema de Reuso de Agua" y "Control Paramétrico del Proceso de Lavado", que consiste en el desarrollo conceptual, pruebas de principios de operación, diseño y fabricación de primeros prototipos y primera aproximación al diseño de detalle, como ya se ha mencionado. En esta sección se proponen algunos de los temas específicos que pueden desarrollarse como continuación de los proyectos iniciados en este trabajo, además de los aspectos generales mencionados por las personas de la empresa como áreas de oportunidad. En algunos de los temas se proponen mejoras a los diseños propuestos, mientras que en otros se sugiere la incorporación de nuevos sistemas y funciones relacionados con el sistema de reuso de agua y el control electrónico.

- 1) *Incorporación de un Sensor de Turbiedad al Sistema de Reuso de Agua.* Actualmente existen ya sensores que miden la turbiedad del agua formando parte del sistema de control en algunos modelos de lavadoras con tecnología de punta. El sensor se utiliza para evaluar el grado de suciedad de la ropa con base en la concentración de partículas y de mugre desprendida de las telas. En el sistema de reuso de agua propuesto en este trabajo, se puede incorporar un sensor de turbiedad para decidir si se almacena o no el agua empleada en el programa de lavado, dependiendo del grado de suciedad que ésta contenga.

- 
- 2) *Incorporación de las funciones de Limpieza y Purificación del agua almacenada en el Sistema de Reuso de Agua.* Para que el sistema de reuso de agua cumpla su objetivo en su totalidad (ahorro más efectivo de agua), es necesario que el sistema limpie y purifique el agua almacenada, de manera que se pueda utilizar también en la etapa de enjuague, y que el usuario no vea ningún problema en utilizar el agua en todos sus programas de lavado. Cualquiera que sea el sistema de limpieza y purificación de agua a incorporarse, debe ser de sencilla operación, económico, requerir mantenimiento mínimo y generar la menor cantidad posible de productos colaterales.
  - 3) *Diseño de detalle del Sistema de Reuso de Agua.* En este trabajo se expone el concepto de un sistema de reuso de agua. Sin embargo, para poder incorporarlo a las lavadoras que fabrica la empresa es necesario estudiar a fondo los detalles concernientes al tanque (material, procesos, costos, etc.), fijación de los elementos de control, conexiones hidráulicas, etc.
  - 4) *Incorporación del Dosificador de Detergente en Polvo al Sistema de Control.* Una vez que el diseño del dosificador de detergente en polvo concluya, se debe incorporar a la lavadora y debe proponerse el esquema de control correspondiente por medio del microcontrolador.
  - 5) *Medición automática de la cantidad de ropa.* Existen ya varios métodos tanto incorporados a lavadoras comerciales como en investigación para medir el tamaño de la carga de ropa de manera automática. Uno de los métodos consiste en evaluar el par de oposición debido a la inercia rotacional de la tina de centrifugado debido a la presencia de la ropa seca. El fundamento de este método se describió en la sección 3.2.1. Otro método consiste en incorporar un sensor ultrasónico para medir el nivel de la ropa dentro de la tina de la lavadora.
  - 6) *Incorporación de pantallas y displays.* Una vez incorporado el microcontrolador a la lavadora, se puede incluir una pantalla de cristal líquido o algún dispositivo similar para tener una comunicación más amigable con el usuario. A través de dicha pantalla o despliegue se puede realizar la selección de las opciones de los parámetros de lavado, las funciones adicionales opcionales, la operación de los nuevos sistemas incorporados e incluso se pueden añadir funciones a la operación del programa (por ejemplo, despliegue del tiempo restante de cada ciclo, opción de comenzar el
-

- programa de lavado con un tiempo de retraso, número de cartuchos disponibles en el dosificador de detergente, etc.).
- 7) *Propuesta de nuevas formas de interacción usuario-lavadora.* El pánel de control propuesto en este trabajo constituye la primera aproximación hacia un punto de vista ligeramente distinto al tradicional desde el punto de vista de control del proceso de lavado. La investigación puede continuar en el aspecto de comunicación con el usuario realizando pruebas, detectando tendencias y adelantos y proponiendo nuevos diseños para encontrar la manera más sencilla y cómoda para que el usuario comunique a la máquina la información que ésta requiere para trabajar adecuadamente.
  - 8) *Incorporación de un microcontrolador de propósito específico. Simplificación de los circuitos electrónicos.* Como ya se mencionó, para el prototipo funcional se decidió emplear el microcontrolador Motorola MC68HC11F1 por diversas razones, pero eso no significa que sea el más adecuado para esta aplicación. Como trabajo futuro se propone seleccionar, programar y probar un microcontrolador que pueda ejecutar las operaciones del nuevo sistema de control pero que a la vez sea más económico, confiable y permita la simplificación de los circuitos electrónicos de control auxiliares.
  - 9) *Incorporación de un motor de inducción con varias velocidades.* Para tener la posibilidad de variar la velocidad de la tina de centrifugado es necesario incorporar un motor distinto a la lavadora, de modo que, a través del arreglo de las conexiones eléctricas, el motor pueda trabajar a distintas velocidades.
  - 10) *Ajuste de los valores de las variables del proceso de lavado.* Se propone realizar un estudio más detallado de las relaciones entre los parámetros y las variables del proceso de lavado, así como una revisión de los valores asignados para las distintas condiciones de la carga de ropa sucia, para que se apeguen lo mejor posible a los valores determinados como "adecuados" en pruebas más rigurosas y especializadas.
  - 11) *Comparación con otros sistemas de control electrónicos.* Es conveniente comparar el nuevo sistema de control propuesto no sólo respecto al sistema original de la lavadora en estudio, sino respecto a sistemas de control de productos con tecnología de punta para así poder detectar más áreas de oportunidad para mejorar el diseño en las siguientes revisiones e iteraciones. Lo más conveniente es comparar el sistema con controladores electrónicos de lavadoras de agitador, de tambor y de burbujas de aire,

---

a pesar de que algunas de las variables (tiempos, velocidades) son distintas a las de la lavadora proporcionada.

- 12) *Estudio del desgaste de la transmisión al trabajar a distintas velocidades de agitación.* La frecuencia de oscilación del agitador a la que trabajaba la lavadora originalmente constituye un punto de equilibrio entre la fuerza aportada a la ropa, el consumo de energía eléctrica y el desgaste de las piezas que conforman la transmisión. Es aconsejable estudiar el efecto que tiene el modificar los tiempos de encendido y apagado de los embobinados del motor sobre el desgaste mecánico de las piezas que constituyen la transmisión del movimiento giratorio, desde la flecha del motor hasta el agitador.
- 13) *Modificaciones en la apariencia de la lavadora.* Ya que se modificó el panel de control, parte del trabajo futuro puede consistir en modificar el diseño del cuerpo completo de la lavadora para poderlo adaptar mejor a los nuevos sistemas incorporados y que la estética y apariencia sean congruentes con el nuevo diseño del panel. Una modificación concreta podría consistir en mover el panel de control hacia la parte frontal de la lavadora, de manera que el usuario tenga un acceso más fácil hacia los botones y pueda visualizar en todo momento el conjunto de botones, LEDs, etc. que lo componen, tal y como sucede en las lavadoras de tambor y de burbujas de aire.
- 14) *Elaboración del Manual de Usuario.* Una vez que la operación del nuevo sistema de control se ajuste a las necesidades de los productos desarrollados por la empresa, es indispensable elaborar un manual de usuario distinto a los provistos en la actualidad con los modelos controlados por temporizador electromecánico. El manual debe esclarecer perfectamente las dudas que puedan surgir en el usuario respecto a la operación del nuevo sistema de control, ya que en buena parte rompe con el esquema tradicional de control de las lavadoras domésticas de ropa.
- 15) *Verificación del Cumplimiento de las Normas Nacionales.* Como se menciona en la última sección del capítulo 4, debido al alcance del presente trabajo no se pudo verificar el cumplimiento estricto de las normas aplicables a lavadoras de ropa por parte de la lavadora estudiada con los nuevos sistemas ya incorporados, por lo que se recomienda que, ya que se tenga el prototipo final de la lavadora con los sistemas, se realicen las pruebas correspondientes de desempeño y eficiencia energética.

- 16) *Pruebas con usuarios.* Al proporcionar los prototipos a usuarios de un mercado de prueba el diseño se puede ver mejorado gracias a la realimentación de necesidades y opiniones por parte de la gente que estará utilizando el producto. Es muy recomendable antes de continuar con las modificaciones propuestas realizar estudios detallados sobre la facilidad de operación, la apariencia, la lógica de los ciclos de lavado y demás factores que son de interés para los consumidores.

## Apéndice A. CORRIDA DE LAS ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LAS VARIABLES DEL PROCESO DE LAVADO

En esta sección se presenta la hoja de cálculo correspondiente al cálculo de los valores de las variables del proceso de lavado a partir de los valores de los parámetros de lavado. Se incluyen las 96 opciones que resultan de combinar los 6 tipos de ropa, los 4 niveles de cantidad de ropa y los 4 niveles de grado de suciedad. La hoja se elaboró en Microsoft Excel versión 5.0 con las ecuaciones presentadas en la sección 3.5.3.

La tabla se utiliza de la siguiente forma: si se desea conocer los valores de las variables del proceso de lavado que corresponden a determinada combinación de niveles de los parámetros básicos (tipo de ropa, cantidad de ropa y grado de suciedad), se debe buscar la combinación del lado izquierdo de la tabla. En el renglón correspondiente se presentan los valores de las variables de acuerdo con la nomenclatura establecida en el capítulo 3.

Ejemplo: Se desea conocer los valores de las variables que corresponden a las prendas de algodón ( $R1 = 5$ ) de colores oscuros ( $R2 = 0$ ), que se encuentran demasiado sucias ( $G = 1.00$ ) cuando la carga de ropa llena más de  $\frac{3}{4}$  partes de la tina ( $C = 0.83$ ). Esta combinación aparece en el renglón 12 de la tabla, y los valores de las variables que corresponden a dicha combinación son:

◊ Nivel de agua en la tina (A):	33 cm
◊ Cantidad de detergente (D):	97 g
◊ Temperatura de lavado ( $\theta_L$ ):	32°C
◊ Tiempo de prelavado (TP):	100 min
◊ Tiempo de lavado (TL):	12.4 min
◊ Tiempo de enjuague (TE):	5.2 min
◊ Tiempo de centrifugado (TC):	5.3 min
◊ Frecuencia alta de agitación (FA):	70 osc/min
◊ Frecuencia baja de agitación (FB):	45 osc/min
◊ Par relativo (P):	100%
◊ Velocidad de centrifugado (VC):	760 rpm

187 4.88 e ~ 31000

R1	R2	G	C	A (cm)	D (g)	$\theta L$ (°C)	TP (min)	TL (min)	TE (min)	TC (min)	FA (osc/min)	FB (osc/min)	P (%)	VC (rpm)
5	0	0.25	0.50	20	51	26	25	5.1	2.2	3.6	67	43	100	760
5	0	0.50	0.50	20	54	28	50	6.8	3.2	3.6	71	45	100	760
5	0	0.75	0.50	20	56	30	75	8.4	4.2	3.6	74	47	100	760
5	0	1.00	0.50	20	58	32	100	10.1	5.2	3.6	77	49	100	760
5	0	0.25	0.67	27	69	26	25	5.6	2.2	4.5	64	41	100	760
5	0	0.50	0.67	27	72	28	50	7.5	3.2	4.5	67	43	100	760
5	0	0.75	0.67	27	75	30	75	9.4	4.2	4.5	70	45	100	760
5	0	1.00	0.67	27	78	32	100	11.3	5.2	4.5	73	47	100	760
5	0	0.25	0.83	33	85	26	25	6.2	2.2	5.3	62	39	100	760
5	0	0.50	0.83	33	89	28	50	8.2	3.2	5.3	64	41	100	760
5	0	0.75	0.83	33	93	30	75	10.3	4.2	5.3	67	43	100	760
5	0	1.00	0.83	33	97	32	100	12.4	5.2	5.3	70	45	100	760
5	0	0.25	1.00	40	103	26	25	6.8	2.2	6.3	59	38	100	760
5	0	0.50	1.00	40	108	28	50	9.0	3.2	6.3	62	39	100	760
5	0	0.75	1.00	40	112	30	75	11.3	4.2	6.3	65	41	100	760
5	0	1.00	1.00	40	117	32	100	13.5	5.2	6.3	67	43	100	760
5	1	0.25	0.50	20	46	54	25	5.1	2.2	3.6	67	43	100	760
5	1	0.50	0.50	20	48	56	50	6.8	3.2	3.6	71	45	100	760
5	1	0.75	0.50	20	51	58	75	8.4	4.2	3.6	74	47	100	760
5	1	1.00	0.50	20	53	60	100	10.1	5.2	3.6	77	49	100	760
5	1	0.25	0.67	27	62	54	25	5.6	2.2	4.5	64	41	100	760
5	1	0.50	0.67	27	65	56	50	7.5	3.2	4.5	67	43	100	760
5	1	0.75	0.67	27	68	58	75	9.4	4.2	4.5	70	45	100	760
5	1	1.00	0.67	27	71	60	100	11.3	5.2	4.5	73	47	100	760
5	1	0.25	0.83	33	76	54	25	6.2	2.2	5.3	62	39	100	760
5	1	0.50	0.83	33	80	56	50	8.2	3.2	5.3	64	41	100	760
5	1	0.75	0.83	33	84	58	75	10.3	4.2	5.3	67	43	100	760
5	1	1.00	0.83	33	88	60	100	12.4	5.2	5.3	70	45	100	760
5	1	0.25	1.00	40	92	54	25	6.8	2.2	6.3	59	38	100	760
5	1	0.50	1.00	40	97	56	50	9.0	3.2	6.3	62	39	100	760
5	1	0.75	1.00	40	101	58	75	11.3	4.2	6.3	65	41	100	760
5	1	1.00	1.00	40	106	60	100	13.5	5.2	6.3	67	43	100	760
2	0	0.50	0.50	25	69	20	20	3.0	2.0	2.4	25	16	36	460

R1	R2	G	C	A (cm)	D (g)	θL (°C)	TP (min)	TL (min)	TE (min)	TC (min)	FA (osc/min)	FB (osc/min)	P (%)	VC (rpm)
2	0	0.75	0.50	25	72	20	30	3.0	2.1	2.4	26	17	36	460
2	0	1.00	0.50	25	76	20	40	3.4	2.6	2.4	27	17	36	460
2	0	0.25	0.67	33	88	20	20	3.0	2.0	3.0	22	14	36	460
2	0	0.50	0.67	33	93	20	20	3.0	2.0	3.0	23	15	36	460
2	0	0.75	0.67	33	97	20	30	3.1	2.1	3.0	24	16	36	460
2	0	1.00	0.67	33	102	20	40	3.8	2.6	3.0	26	16	36	460
2	0	0.25	0.83	40	105	20	20	3.0	2.0	3.6	21	14	36	460
2	0	0.50	0.83	40	111	20	20	3.0	2.0	3.6	22	14	36	460
2	0	0.75	0.83	40	116	20	30	3.4	2.1	3.6	23	15	36	460
2	0	1.00	0.83	40	121	20	40	4.1	2.6	3.6	24	16	36	460
2	0	0.25	1.00	40	105	20	20	3.0	2.0	4.2	21	14	36	460
2	0	0.50	1.00	40	111	20	20	3.0	2.0	4.2	22	14	36	460
2	0	0.75	1.00	40	116	20	30	3.8	2.1	4.2	23	15	36	460
2	0	1.00	1.00	40	121	20	40	4.5	2.6	4.2	24	16	36	460
2	1	0.25	0.50	25	63	33	20	3.0	2.0	2.4	24	15	36	460
2	1	0.50	0.50	25	66	35	20	3.0	2.0	2.4	25	16	36	460
2	1	0.75	0.50	25	68	37	30	3.0	2.1	2.4	26	17	36	460
2	1	1.00	0.50	25	71	39	40	3.4	2.6	2.4	27	17	36	460
2	1	0.25	0.67	33	84	33	20	3.0	2.0	3.0	22	14	36	460
2	1	0.50	0.67	33	88	35	20	3.0	2.0	3.0	23	15	36	460
2	1	0.75	0.67	33	92	37	30	3.1	2.1	3.0	24	16	36	460
2	1	1.00	0.67	33	96	39	40	3.8	2.6	3.0	26	16	36	460
2	1	0.25	0.83	40	100	33	20	3.0	2.0	3.6	21	14	36	460
2	1	0.50	0.83	40	105	35	20	3.0	2.0	3.6	22	14	36	460
2	1	0.75	0.83	40	110	37	30	3.4	2.1	3.6	23	15	36	460
2	1	1.00	0.83	40	114	39	40	4.1	2.6	3.6	24	16	36	460
2	1	0.25	1.00	40	100	33	20	3.0	2.0	4.2	21	14	36	460
2	1	0.50	1.00	40	105	35	20	3.0	2.0	4.2	22	14	36	460
2	1	0.75	1.00	40	110	37	30	3.8	2.1	4.2	23	15	36	460
2	1	1.00	1.00	40	114	39	40	4.5	2.6	4.2	24	16	36	460
1	0	0.25	0.50	27	70	20	20	3.9	2.2	2.4	53	34	82	440
1	0	0.50	0.50	27	74	20	20	5.3	3.2	2.4	55	35	82	440
1	0	0.75	0.50	27	77	20	20	6.6	4.2	2.4	58	37	82	440

R1	R2	G	C	A (cm)	D (g)	θL (°C)	TP (min)	TL (min)	TE (min)	TC (min)	FA (osc/min)	FB (osc/min)	P (%)	VC (rpm)
1	0	1.00	0.50	27	81	20	20	7.9	5.2	2.4	60	38	82	440
1	0	0.25	0.67	36	94	20	20	4.4	2.2	3.0	50	32	82	440
1	0	0.50	0.67	36	99	20	20	5.8	3.2	3.0	52	33	82	440
1	0	0.75	0.67	36	104	20	20	7.3	4.2	3.0	54	35	82	440
1	0	1.00	0.67	36	108	20	20	8.8	5.2	3.0	57	36	82	440
1	0	0.25	0.83	40	105	20	20	4.8	2.2	3.6	48	31	82	440
1	0	0.50	0.83	40	111	20	20	6.4	3.2	3.6	50	32	82	440
1	0	0.75	0.83	40	116	20	20	8.0	4.2	3.6	53	34	82	440
1	0	1.00	0.83	40	121	20	20	9.6	5.2	3.6	55	35	82	440
1	0	0.25	1.00	40	105	20	20	5.3	2.2	4.2	48	31	82	440
1	0	0.50	1.00	40	111	20	20	7.0	3.2	4.2	50	32	82	440
1	0	0.75	1.00	40	116	20	20	8.8	4.2	4.2	53	34	82	440
1	0	1.00	1.00	40	121	20	20	10.5	5.2	4.2	55	35	82	440
1	1	0.25	0.50	27	69	26	20	3.9	2.2	2.4	53	34	82	440
1	1	0.50	0.50	27	72	28	20	5.3	3.2	2.4	55	35	82	440
1	1	0.75	0.50	27	75	30	20	6.6	4.2	2.4	58	37	82	440
1	1	1.00	0.50	27	78	32	20	7.9	5.2	2.4	60	38	82	440
1	1	0.25	0.67	36	92	26	20	4.4	2.2	3.0	50	32	82	440
1	1	0.50	0.67	36	96	28	20	5.8	3.2	3.0	52	33	82	440
1	1	0.75	0.67	36	100	30	20	7.3	4.2	3.0	54	35	82	440
1	1	1.00	0.67	36	104	32	20	8.8	5.2	3.0	57	36	82	440
1	1	0.25	0.83	40	103	26	20	4.8	2.2	3.6	48	31	82	440
1	1	0.50	0.83	40	108	28	20	6.4	3.2	3.6	50	32	82	440
1	1	0.75	0.83	40	112	30	20	8.0	4.2	3.6	53	34	82	440
1	1	1.00	0.83	40	117	32	20	9.6	5.2	3.6	55	35	82	440
1	1	0.25	1.00	40	103	26	20	5.3	2.2	4.2	48	31	82	440
1	1	0.50	1.00	40	108	28	20	7.0	3.2	4.2	50	32	82	440
1	1	0.75	1.00	40	112	30	20	8.8	4.2	4.2	53	34	82	440
1	1	1.00	1.00	40	117	32	20	10.5	5.2	4.2	55	35	82	440
			MIN:	20	46	20	20	3.0	2.0	2.4	21	14	36	440
			MAX:	40	121	60	100	13.5	5.2	6.3	77	49	100	760