

**DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA
PROCESAMIENTO AUTOMÁTICO DE TEJIDO BIOLÓGICO**

**ALEXÁNDER MEDINA ROJAS
OMAR BUENO GALVIS
ERWIN CAMILO JIMÉNEZ VERGARA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENÍERIAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

**DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA
PROCESAMIENTO AUTOMÁTICO DE TEJIDO BIOLÓGICO**

**ALEXÁNDER MEDINA ROJAS
OMAR BUENO GALVIS
ERWIN CAMILO JIMÉNEZ VERGARA**

Este proyecto es presentado como requisito para optar el título de ingeniero
electrónico

Director

Ing. Edwin Alberto Silva Cruz

Codirector

MPE. César Antonio Duarte Gualdrón

Codirector

Jorge Humberto Echeverri Perico, M.D., esp.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENÍERIAS FÍSICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

DEDICATORIA

A mis padres,
por todo el apoyo la confianza y comprensión
que me han dado a lo largo de la vida.

A mis hermanos,
Cesar y Jhon (Q.E.P.D)

Alex.

A mis padres y hermanos,
por contribuir siempre con mi desarrollo
personal y profesional.

Erwin Camilo

A Dios, a mi madre Margarita
y a la memoria de mi padre Lisandro.

Para Alicia por su motivación y
entendimiento.

A toda mi familia por su apoyo.

Omar.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a nuestro director de proyecto Ing. Edwin Alberto Silva Cruz y Codirectores MPE. César Antonio Duarte Gualdrón y Jorge Humberto Echeverri Perico, M.D., esp, por todo su tiempo, conocimiento, voluntad, colaboración, dedicación, experiencia y confianza.

Al laboratorio de patología de la facultad de salud, trabajos y médicos residentes, por su colaboración para la realización de las pruebas.

A nuestros calificadores, los ingenieros Jose Amaya Palacio y Nidia Quintero Peña, por la paciencia e invaluable aportes para la presentación y terminación del proyecto

A Israel Garnica, Carlos Varcancel, Jair Ruidiaz y Omar Tijaro por todos sus aportes para la realización de este proyecto.

Finalmente, a las que hicieron que este proyecto se hiciera realidad, nuestras madres, gracias.

RESUMEN

TITULO:

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA PROCESAMIENTO AUTOMÁTICO DE TEJIDO BIOLÓGICO.¹

AUTORES:

ALEXÁNDER MEDINA ROJAS

OMAR BUENO GALVIS

ERWIN CAMILO JIMÉNEZ VERGARA**

PALABRAS CLAVE: Tejidos biológicos, técnica histológica, procesadores automáticos de tejidos

DESCRIPCIÓN:

El procesamiento de tejidos biológicos consiste en el procedimiento al cual se someten los tejidos con el fin de obtener muestras apropiadas para su observación y evaluación. Los procesamientos se efectúan en laboratorios donde se realizan análisis e investigaciones sobre estos tejidos, en algunos se realiza de forma manual y en otros con equipos automáticos. Este procesamiento está basado en la técnica histológica, un estándar internacional sobre los procesos requeridos para preservar adecuadamente los tejidos y darles una estructura física apta para su observación con el microscopio.

Los procesadores automáticos de tejidos son equipos usados para realizar total o parcialmente el procesamiento de tejidos biológicos

En este trabajo se presenta el diseño y la construcción del sistema electrónico, electromecánico y estructural de un prototipo para procesamiento automático de tejido biológico.

En la primera parte de este documento se hace la descripción del proceso y del prototipo.

Las consideraciones y la elección en el diseño y la construcción de los sistemas electrónico, electromecánico y estructural del prototipo, se muestra de forma detallada en la segunda y tercera parte, además de los algoritmos implementados para tal fin.

En la cuarta parte se muestra los resultados finales con las pruebas realizadas en laboratorio, finalmente se dan algunas recomendaciones y conclusiones.

¹ Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-mecánicas, Ingeniería Electrónica
Ing. Edwin Alberto Silva Cruz

SUMMARY

TITLE:

DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE FOR AUTOMATIC PROCESSING OF BIOLOGICAL TISSUE.*

AUTHORS:

**ALEXÁNDER MEDINA ROJAS
OMAR BUENO GALVIS
ERWIN CAMILO JIMÉNEZ VERGARA****

KEYWORDS: **Biological tissues, histological technique, automatic processors of tissues.**

DESCRIPTION:

The biological tissues processing consists in the treatment in order to obtain appropriated tissues samples to being studied and tested. The processing is carried all in labs where they are prepared in manual way, or with automatic equipments. The processing is based in the histological technique, which is necessary to preserve the tissues adequately and give then the appropriate physical structure for their observation under the microscope.

The work shows the design and construction of the electronic, electromechanical and structural system of an automatic tissue processor prototype.

The prototype and process are descript in the fists part of this document.

The elections and considerations in the design and the construction of electronic, electromechanical and structural system showed in detailed way at the second part, also the algorithm used for this purpose.

The final results with tests accomplished at laboratory are showed in the last part; finally, it presented some recommendations and conclusions.

* Degree Work

** Physics and Mechanics Engineering Collage, Electronics Engineering
Ing. Edwin Alberto Silva Cruz

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
PARTE I. PRELIMINARES.....	2
CAPITULO 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	2
CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO	7
PARTE II. DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	11
CAPITULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	11
3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL CONTROLADOR.....	11
3.1.1 REQUERIMIENTOS Y POSIBLES IMPLEMENTACIONES.....	11
3.1.2 POSIBLES CONTROLADORES.....	13
3.1.3 DETERMINACIÓN DEL CONTROLADOR.....	15
3.2 DISEÑO DE LA INTERFAZ CON EL USUARIO.....	17
3.2.1 INTERFAZ CON EL USUARIO.....	17
3.2.2 OPCIONES DE TECLADO	18
3.2.3 OPCIONES DE LCD	20
3.2.4 DISEÑO DEL MODULO LCD Y TECLADO.....	21
3.3 CONTROL DE TEMPERATURA.....	22
3.4 CONTROL DE FLUJO Y NIVEL DE REACTIVOS.....	24
3.4.1 MEDICIÓN DE NIVEL	25
3.4.2 ELECCIÓN DEL SENSOR Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	27
3.4.3 CONTROL DE NIVEL EN LA CÁMARA DE REACCIÓN.....	28
3.5 CONTROL DE MOVIMIENTO DE LAS CANASTILLAS	30
3.6 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA RECICLAJE.....	32
CAPITULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO.....	34
4.1 FLUJO DE REACTIVOS	34
4.1.1 VÁLVULAS.....	34

4.1.2	TUBERÍAS HIDRÁULICAS	36
4.2	MOVIMIENTO DE LAS CANASTILLAS	37
4.3	POSICIONAMIENTO PARA RECICLAJE	38
4.4	SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	43
CAPITULO 5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FÍSICA DEL PROTOTIPO		44
CAPITULO 6. DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL		45
6.1	SOFTWARE UTILIZADO	45
6.2	ALGORITMO DEL PROGRAMA PRINCIPAL	46
6.2.1	DIAGRAMA DE FLUJO.....	47
6.2.2	FLUJO PARA CADA PROCESO CON UN REACTIVO	48
6.2.3	FUNCIONES DEL PROGRAMA PRINCIPAL	49
6.2.4	FLUJO EN CONFIGURACIÓN	50
6.2.5	PROGRAMA PARA MANEJO DE LCD Y TECLADO (INTERFAZ CON EL USUARIO).....	51
6.2.6	PROGRAMA PARA MEDICIÓN DE NIVEL Y TEMPERATURA	55
6.2.7	PROGRAMA PARA CONTROL DE MOVIMIENTO DE CANASTILLAS Y POSICIONAMIENTO PARA RECICLAJE.....	59
PARTE III. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO		61
CAPITULO 7. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.....		61
7.1	IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ CON EL USUARIO	61
7.1.1	CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL	61
7.2	IMPLEMENTACIÓN DE LOS ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.....	65
7.3	IMPLEMENTACIÓN DE LOS SENSORES.....	69
7.4	IMPLEMENTACIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL.....	71
CAPITULO 8. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO		74
8.1	FLUJO DE REACTIVOS	74
8.2	MOVIMIENTO DE LAS CANASTILLA.....	75
8.3	SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	76
8.4	POSICIONAMIENTO DE LA ELECTROVÁLVULA.....	77
CAPITULO 9. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO.....		79

PARTE IV. PRUEBAS Y RESULTADOS FINALES	80
CAPITULO 10. PRUEBA EN EL LABORATORIO DE PATOLOGÍA.....	80
CAPITULO 11. CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO.	84
RECOMENDACIONES	85
CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	89
ANEXO A. ELABORACIÓN DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS PARA EL PROTOTIPO DE PROCESAMIENTO DE TEJIDO BIOLÓGICO	90
ANEXO B. ELABORACIÓN DE LOS PLANOS ESTRUCTURALES DEL PROCESADOR DE TEJIDO BIOLÓGICO	97
ANEXO C. PROGRAMACIÓN EN CODEWARRIOR.....	102
ANEXO D. HOJAS DE DATOS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.	107

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 7.1 Resultados de las pruebas del sensor implementado.</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 7.2 Pruebas de los canales de ADC.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 10.1 Tiempos para procesamiento.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 10.2 Procesamiento rápido</i>	<i>82</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Deshidratación	3
Figura 1.2 Inclusión en parafina	4
Figura 1.3 Corte con un micrótopo.....	5
Figura 1.4 Tinción.....	5
Figura 2.1 Shandon Citadel™	7
Figura 2.2 Shandon Excelsior™.....	8
Figura 2.3 Esquema del prototipo.....	9
Figura 3.1 Teclado Analógico.....	18
Figura 3.2 Teclado matricial.....	19
Figura 3.3 LCD alfanumérica.....	20
Figura 3.4 LCD gráfica de 128x64.....	21
Figura 3.5 Diagrama de bloques para el control de temperatura	23
Figura 3.6 Sistema de control de flujo del sistema.....	24
Figura 3.7 Sistema de control de nivel en la cámara de reacción.....	25
Figura 3.8 Esquema de un diodo emisor.....	28
Figura 3.9 Esquema de un diodo receptor.....	28
Figura 3.10 Esquema de un diodo fototransistor.....	28
Figura 3.11 Diagrama de Bloques del ADC del DSP56F801	30
Figura 3.12 Diagrama de bloques para el movimiento de las canastillas.....	31
Figura 3.13 Diagrama de bloques del modulo PWM del DSP.....	32
Figura 3.14 Diagrama de bloques del sistema de posicionamiento	32
Figura 4.1 Esquema del flujo de reactivos.....	35
Figura 4.2 Esquema electroválvula cerrada (der), abierta (izq).....	36
Figura 4.3 Esquema para el movimiento de las canastillas.....	37
Figura 4.4 Esquema sistema de posicionamiento para reciclaje.....	39
Figura 4.5 Esquema de un puente H.....	41
Figura 4.6 Puente H con S1 y S4 cerrados.....	42
Figura 4.7 Puente H con S2 y S3 cerrados.....	42
Figura 4.8 Esquema de un sensor fotoeléctrico.....	43
Figura 5.1 Estructura física del equipo (Elaborado en Solid Edge).....	44
Figura 6.1 Diagrama de Flujo del programa principal.....	47
Figura 6.2 Diagrama de flujo para cada proceso.....	48
Figura 6.3 Diagrama de flujo en configuración	50
Figura 6.4 Diagrama de flujo para impresión de caracteres.....	52
Figura 6.5 Diagrama de flujo para detección de una tecla	54
Figura 6.6 Diagrama de flujo para el control de nivel de reactivos.....	56
Figura 6.7 Diagrama de flujo para el nivel de la cámara de reacción.....	57
Figura 6.8 Diagrama de flujo para el control de temperatura.....	58
Figura 6.9 Diagrama de flujo para control de movimiento	59
Figura 7.1 Esquema de la Interfaz con el Usuario.....	64
Figura 7.2 Interfaz con el usuario (vista posterior).....	64
Figura 7.3 Interfaz con el usuario (vista frontal).....	65
Figura 7.4 Etapa de potencia para accionamientos de los relés.....	66
Figura 7.5 Vin vs. Vcolector	66
Figura 7.6 Vin vs. Ic.....	67

<i>Figura 7.7 Accionamiento eléctrico para un elemento</i>	67
<i>Figura 7.8 Esquema de los accionamientos eléctricos</i>	68
<i>Figura 7.9 Tarjeta de los accionamientos eléctricos</i>	68
<i>Figura 7.10 Esquema del circuito de polarización para los sensores</i>	69
<i>Figura 7.11 Sensor implementado para medición del nivel</i>	69
<i>Figura 7.12 Esquema del controlador Principal</i>	73
<i>Figura 7.13 Tarjeta de Control</i>	73
<i>Figura 8.1 Electroválvulas empleadas para el flujo de reactivos</i>	74
<i>Figura 8.2 Acople entre válvula y manguera</i>	74
<i>Figura 8.3 Motor ac para movimiento de las canastillas</i>	75
<i>Figura 8.4 Portacanastillas dentro de la cámara de reacción</i>	76
<i>Figura 8.5 Acople mecánico entre el motor y la cámara de Reacción</i>	76
<i>Figura 8.6 Tapa principal con el electroimán</i>	77
<i>Figura 8.7 Elementos para el sistema de posicionamiento de la electroválvula</i>	77
<i>Figura 8.8 Circuito de Polarización para el fotosensor del sistema de posicionamiento</i>	78
<i>Figura 8.9 Sistema de posicionamiento para reciclaje terminado</i>	78
<i>Figura 9.1 Estructura del prototipo</i>	79
<i>Figura A.1 Símbolo del DSP56801</i>	91
<i>Figura A.2 Paquete para el DSP56801</i>	92
<i>Figura A.3 Dispositivo para el DSP56801</i>	92
<i>Figura A.4 Elementos de los accionamientos eléctricos dentro de la tarjeta</i>	93
<i>Figura A.5 Capa inferior de los accionamientos eléctricos</i>	93
<i>Figura A.6 Capa superior de los accionamientos eléctricos</i>	94
<i>Figura A.7 Elementos de la interfaz con el usuario dentro de la tarjeta</i>	94
<i>Figura A.8 Capa superior de la interfaz con el usuario</i>	94
<i>Figura A.9 Capa inferior de la interfaz con el usuario</i>	95
<i>Figura A.10 Capa inferior del controlador principal</i>	95
<i>Figura A.11 Capa superior del controlador principal</i>	95
<i>Figura A.12 Elementos del controlador principal dentro de la tarjeta</i>	96
<i>Figura B. 1 Ventana donde se realiza la elaboración de la pieza</i>	97
<i>Figura B.2 Componentes del Prototipo</i>	98
<i>Figura B.3 Ensamble del sistema total</i>	99
<i>Figura B.4 Ventana Solid Edge Plano</i>	100
<i>Figura B.5 Planos de los elementos internos del prototipo</i>	101
<i>Figura B.6 Planos de la estructura externa del prototipo</i>	101
<i>Figura C.1 Ventana para acceder el tutorial</i>	102
<i>Figura C.2 Organización de archivos</i>	104
<i>Figura C.3 Organización de beans</i>	106

INTRODUCCIÓN

La aplicación de la ingeniería electrónica en cada una de las ramas de la ciencia hoy día es más frecuente; la medicina, por medio de la bioingeniería, se ha ido beneficiando de este fenómeno. Sin embargo, es común encontrar procesos que aún se realizan de forma manual y en jornadas extensas haciendo el trabajo de las personas un tanto tedioso e implicando posibles errores en estas tareas. A través de la bioingeniería se busca que cada uno de los procesos se haga de una manera automática, disminuyendo los errores y facilitando la labor para el trabajador.

El objetivo principal de este trabajo es implementar un prototipo para el procesamiento de los tejidos biológicos, con el fin de obtener muestras para el diagnóstico de patologías específicas (inmunohistoquímica, marcadores genéticos, entre otros), aplicando técnicas de control y supervisión para la automatización de procesos.

Los procesadores automáticos de tejidos son equipos usados para realizar total o parcialmente el procesamiento de tejidos biológicos en los laboratorios donde se realizan análisis e investigaciones sobre estos tejidos con ayuda de un microscopio para observar ciertas características. Estos equipos son desarrollados en el extranjero, y su elevado costo hace difícil la adquisición por parte de los hospitales, ya que no cuentan con los recursos necesarios para tal fin.

PARTE I. PRELIMINARES

CAPITULO 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los tejidos biológicos tomados como muestras para estudios clínicos basados en observación microscópica necesitan una preparación previa.

El procesamiento de tejidos biológicos consiste en el procedimiento al cual se someten los tejidos con el fin de obtener muestras apropiadas para su observación y evaluación mediante microscopía óptica o electrónica. Los procesamientos se efectúan en laboratorios donde se realizan análisis e investigaciones sobre estos tejidos con ayuda de un microscopio para observar ciertas características, en algunos se realiza de forma manual y en otros con equipos automáticos.

Este procesamiento está basado en la técnica histológica, un estándar internacional sobre los procesos requeridos para preservar adecuadamente los tejidos y darles una estructura física apta para su observación con el microscopio. Esta técnica consta de los siguientes procesos:

- Fijación.
- Deshidratación.
- Aclaramiento.
- Inclusión.
- Corte.
- Montaje.

- Tinción.

La fijación, deshidratación y aclaramiento se realizan sumergiendo unas canastillas que contienen los tejidos en ciertas sustancias por un período.

En la figura 1.1 se muestra el inicio de un proceso de deshidratación en el cual se usan cuatro alcoholes; la fijación y el aclaramiento se hacen de igual forma pero con otros reactivos.



Figura 1.1 Deshidratación

La fijación tiene como finalidad conservar la morfología tisular y celular de la muestra, darle cierta rigidez que permita la realización de cortes sin deformación, destruir bacterias y otros organismos contaminantes e interrumpir los procesos biológicos en el tejido; normalmente se usa formol como reactivo fijador del material biológico.

La deshidratación retira gradualmente el agua del tejido. Esto se consigue mediante el uso de alcoholes, debido a su capacidad de debilitamiento de los puentes de hidrógeno del agua. Para deshidratar el tejido se deben utilizar soluciones de concentración de alcohol progresivamente ascendente, pues si se usa un alcohol puro o casi puro la deshidratación es abrupta, el tejido se deforma y el material intranuclear puede salir del núcleo celular.

En el aclaramiento se usa xileno, que es una sustancia afín con el alcohol y con la parafina, pues de esta forma el tejido se puede embeber más fácilmente en la siguiente etapa del proceso (el alcohol no es directamente compatible con la parafina). Además, el xileno altera las propiedades de refracción del tejido, de manera que su observación con microscopía óptica es más adecuada.

La inclusión se logra al infiltrar una sustancia en estado líquido, como la parafina, que penetra en el tejido y lo embebe, de manera que al solidificarse se tenga un material duro del cual se puedan realizar los cortes. Para esto es necesario calentar la parafina inicialmente sólida, un vez esté líquida se vierte en moldes en los que también se sumergen los tejidos; gradualmente la temperatura se reduce hasta la temperatura ambiental, de manera que la parafina se solidifica y el tejido queda incluido en un bloque sólido. Este proceso se muestra en la figura 1.2 En la parte izquierda de esta figura se muestra el calentamiento de la parafina en un horno a 62°C y a la derecha se observan los bloques de las piezas listas para el corte.



Figura 1.2 Inclusión en parafina

Una vez incluido el tejido en un bloque sólido que se pueden realizar los cortes con un equipo llamado micrótopo y obtener secciones laminares suficientemente finas (alrededor de varias millonésimas de metro) para ser observados en el microscopio. Un proceso de corte con un micrótopo puede verse en la figura 1.3.



Figura 1.3 Corte con un micrótopo

Una vez se tienen las láminas del tejido incluido en el material duro, se montan sobre el portaobjetos y se procede a eliminar el material en el cual se incluyó (desparafinación) con un baño en un reactivo como el xilol por un periodo pequeño

Para realiza la tinción es necesario rehidratar el tejido con baños sucesivos de alcoholes de concentración descendente, de forma inversa a la deshidratación. La figura 1.4 muestra los reactivos para realizar la tinción.



Figura 1.4 Tinción

Para obtener el montaje final, hay que realizar una nueva deshidratación para retirar el agua introducida en la hidratación y un aclaramiento para mejorar las

propiedades de refracción del tejido; estos procesos tiene periodos más pequeños que al inicio del procesamiento. Este montaje final es apto para su observación con el microscopio; la calidad de la muestra para el diagnóstico depende de todo el procesamiento realizado para conservar sus características. Para más información acerca del procesamiento de tejidos biológicos ver bibliografía [Raimundo García],

Con el desarrollo de este proyecto se pretende automatizar los procesos de fijación, deshidratación y aclaramiento, sumergiendo unas canastillas que contienen los tejidos en reactivos apropiados por un periodo, manteniéndolas en movimiento para una mayor impregnación del reactivo y dentro de un rango de temperatura para acelerar el proceso.

Esto procesamiento automático permite dar un tratamiento homogéneo a los tejidos evitando posibles errores en el procesamiento manual.

CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

Los procesadores automáticos de tejidos son equipos usados para realizar total o parcialmente el procesamiento de tejidos biológicos. Los equipos actuales están basados en dos técnicas.

La primera consiste en rotar las canastillas con las muestras, introduciéndolas en contenedores con las sustancias empleadas en cada etapa del procesamiento. Un ejemplo de un procesador automático con esta técnica se muestra en la figura 2.1, el *Shandon Citadel™*, un carrusel con varios contenedores de reactivos y una cabeza rotatoria. El *Shandon Citadel™* realiza el procesamiento rotando la cabeza que contiene la canasta de tejidos, bajándola y manteniéndola en cada contenedor por una predeterminada duración.



Figura 2.1 *Shandon Citadel™*

El principal inconveniente de este sistema es la contaminación de los reactivos y de los tejidos.

Por el contrario, en la segunda técnica se usa un solo recipiente en el cual circulan cada uno estas sustancias mediante mecanismos de llenado y vaciado por

gravedad o por uso de bombas de difusión o centrífugas. El *Shandon Excelsior™* es un ejemplo de procesador con un recipiente principal llamado cámara de reacción, en donde circulan los reactivos con bombas de difusión, este equipo se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 *Shandon Excelsior™*

En la parte izquierda de la figura 2.2 se observa el equipo completo que tiene una pantalla LCD en la que se muestran los niveles de los recipientes, la temperatura y el proceso en ejecución. En la parte inferior derecha de la figura 2.2 se observa el interior del equipo, donde se encuentran los recipientes contenedores, de los cuales se toman los reactivos para realizar cada proceso y a los cuales regresan cuando terminan. Mediante un sensor de gravedad específica se determina la necesidad de reactivos nuevos, lo cual se indica al usuario. En la parte superior derecha de la figura 2.2 se muestra la cámara de reacción con las canastillas que contienen los tejidos.

El diseño del presente equipo tiene como base el flujo de los reactivos necesarios para realizar los procesos de fijación, deshidratación y aclaramiento hacia un recipiente principal llamado cámara de reacción en el cual se encuentra el portacanastillas, dispositivo en donde se incrustan las canastillas que contienen los tejidos. La secuencia de estos procesos se realiza por temporización; cada vez que termine el tiempo programado, se evacua el líquido de la cámara de reacción en recipientes adicionales y luego se llena con el reactivo del siguiente proceso. En la figura 2.3 se muestra el prototipo.



Figura 2.3 Esquema del prototipo.

En la parte izquierda de la figura 2.3 se observa una foto del prototipo completo y la derecha, el esquema físico del prototipo con tres niveles de altura: en el más alto se encuentran los recipientes que contienen los reactivos a utilizar, en la mitad se encuentra la cámara de reacción donde se encuentran los tejidos en las canastillas y en la parte inferior están los recipientes recicladores donde se almacenan los reactivos que ya han sido usados.

Los contenedores son los recipientes en los cuales se alberga cada una de las sustancias necesarias para los procesos anteriores: formol, 3 alcoholes de diferente concentración y xilol, respectivamente. Éstos deben ir en un nivel más alto que la cámara de reacción para permitir el flujo por gravedad. Los recicladores, son recipientes que sirven para recoger los reactivos ya usados; deben estar en el nivel más bajo, de manera que los líquidos puedan fluir por gravedad después de cada proceso para ser reciclados. De este modo, todos los reactivos fluyen por gravedad evitando el alto costo de las bombas de difusión.

Además, los contenedores poseen electroválvulas que controlan el flujo hacia la cámara de reacción, que a su vez tiene una electroválvula de reciclaje para la evacuación del líquido después de cada proceso. Para el reciclaje de reactivos se tienen tres recipientes, uno para el formol, otro para los alcoholes y el último para el xilol. La selección del reciclador en cada proceso, de acuerdo al reactivo, se realiza con un sistema de posicionamiento para la electroválvula de reciclaje, que la ubica en las boquillas de los recicladores.

Un motor mantiene en movimiento el portacanastillas y un sistema de control de temperatura mantiene los reactivos dentro de un rango determinado mientras se ejecutan los procesos. Se debe realizar una limpieza del recipiente principal durante el cambio de proceso, para esto se utiliza un mecanismo de ventilación que permite eliminar el reactivo sobrante mediante evaporación.

Como interfaz con el usuario se tiene un teclado que permite hacer variaciones en los tiempos de cada proceso y una pantalla LCD que guía al usuario durante el procesamiento, informándole sobre el estado del proceso y del equipo.

Una vez terminado un procesamiento se deben retirar los contenedores para hacer el reciclaje de los reactivos usados. Para un nuevo procesamiento es necesario llenar nuevamente los contenedores con nuevos reactivos.

PARTE II. DISEÑO DEL PROTOTIPO

CAPITULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL CONTROLADOR

3.1.1 REQUERIMIENTOS Y POSIBLES IMPLEMENTACIONES

El sistema de control del prototipo se dimensiona de acuerdo con las necesidades específicas de control y a las características de funcionamiento. Después de determinarse los controles requeridos, se hacen las especificaciones tomando en cuenta parámetros tales como: precisión, exactitud y costo.

En la automatización de las etapas del procesamiento de los tejidos se requieren los siguientes controles:

- Flujo de los reactivos desde los contenedores hacia la cámara de reacción y de ésta hacia los recicladores.

El control de flujo de los reactivos se realiza por medio de electroválvulas alimentadas con tensión alterna y cuyo encendido es controlado digitalmente a través de un accionamiento eléctrico sencillo como un relé.

Este control es realizado por señales de tensión lógicas (1 ó 0) tomadas de las salidas del controlador.

- Movimiento de dos motores: uno para ejecutar el movimiento rotacional del portacanastillas y otro para posicionar la electroválvula de reciclaje.

El movimiento del motor de la electroválvula de reciclaje, que requiere un control de posición, y el motor de movimiento rotacional deben ser encendidos y apagados con el controlador digital y de acuerdo al estado del proceso. Estos motores pueden ser accionados de manera similar a las electroválvulas y controlados con niveles lógicos de tensión (1 ó 0) y hardware adicional, o por señales PWM para controlar cantidad y velocidad de giro y/o tiempos de encendido con lo que se reduciría considerablemente el hardware externo necesario.

- Control de temperatura del reactivo presente en la cámara de reacción

El control de temperatura requiere accionar una resistencia eléctrica para el calentamiento de los reactivos dentro de la cámara de reacción. Esta resistencia es alimentada con corriente alterna, por esto puede encenderse de forma similar a los motores y las electroválvulas. Para mantener esta temperatura en un rango determinado, se necesita un sensor de temperatura cuya salida sea análoga, pues debe realizar mediciones de niveles continuos que permitan obtener valores de temperatura que van, al menos, desde 45 °C hasta 50 °C, por lo tanto el controlador debe tener un conversor análogo digital.

- Medición de niveles de líquido, para los reactivos de los contenedores y el reactivo presente en la cámara de reacción.

Para medir los niveles de los reactivos no se deben usar sensores que estén en contacto con estos para no contaminarlos o aplicarles tensiones eléctricas; éstos pueden ser digitales ya que sólo se requieren niveles mínimos de operación. El controlador podría tener entradas digitales para medir los niveles, pero ya que es necesario usar un canal análogo para la temperatura y los controladores normalmente traen varios canales ADC, se puede también usar sensores análogos que midan un nivel discreto específico.

- Transmisión y recepción de datos a través de la interfaz con el usuario.

Un breve análisis al control de una pantalla LCD y un teclado numérico muestra que la cantidad de pines de entrada/salida del controlador necesarios es de 10. Éste es un número relativamente alto si se tiene en cuenta que hay otras aplicaciones que requieren de este tipo de pines. Por tanto en la escogencia del controlador principal este es un punto decisivo, ya que el controlador debe tener canales análogos y muchos pines de entrada/salida para medir niveles y controlar motores que pueden reducirse con la utilización de otros canales análogos y señales PWM respectivamente.

Unas consideraciones finales son la temporización de los procesos y el almacenamiento en memoria no volátil de tiempos estándar.

3.1.2 POSIBLES CONTROLADORES

En la automatización de procesos donde se realiza un control digital, se encuentran sistemas de cómputo programables o de propósito general, que permiten adaptar el hardware por medio de software para una aplicación específica. Dado que el diseño de un hardware de aplicación específica sería un trabajo extenso, y teniendo como objetivo no sólo el diseño del prototipo sino también su construcción, esta posibilidad no se hace viable.

Por el contrario, una opción viable, que permite dimensionar el sistema de una forma abierta a posibilidades de cambio y expansión, es precisamente el uso de un sistema de cómputo programable.

Dentro de los posibles controladores para la automatización usados comúnmente en la industria, se encuentran los PLC (controlador lógico programable) que permiten, previa programación, controlar accionamientos eléctricos como los mencionados para las electroválvulas, la resistencia de calor y los motores, y también permite realizar un control por medición para los niveles con entradas digitales. Para el control de la temperatura se requiere un hardware externo porque no posee canales análogos.

Una gran ventaja de este controlador es que ahorra las etapas de accionamiento y potencia, pues trae internamente los contactos que pueden accionar directamente las electroválvulas, los motores y el sistema de calentamiento. Sin embargo, la baja capacidad de procesamiento de datos y limitada memoria no permiten manejar la pantalla y el teclado, por lo cual hay que adicionar otro sistema de cómputo pequeño como un microcontrolador o un DSP (Procesador de señales digitales).

Debido a la necesidad de manejo de datos para la interfaz, se hace necesario utilizar un dispositivo veloz y con un buen sistema de memoria. Los más adecuados son procesadores con arquitectura de computador: con una memoria principal no volátil, memoria RAM de mayor velocidad y manejo de periféricos.

Los microcontroladores son dispositivos de este tipo utilizados ampliamente en el control de procesos donde se involucren señales de control digitales de entrada/salida, conversores análogo digital, señales PWM, temporizadores y que necesiten almacenamiento de datos en memoria no volátil para no perder información al desenergizarse.

Sin embargo, los microcontroladores son circuitos integrados y para realizar los accionamientos eléctricos requeridos se necesita diseñar un hardware externo.

Actualmente, la tecnología de fabricación de circuitos integrados de aplicación general con arquitectura de computador tienden a unir las ventajas que presentan los microcontroladores, respecto a su manejo de periféricos por tener muchas entradas/salidas, el manejo de ADC y PWM, y la capacidad de procesamiento de datos de un DSP, que tiene una ALU muy poderosa para realizar cálculos matemáticos complejos en tiempo real y cuya arquitectura permite velocidades de trabajo mucho mayores que los clásicos microcontroladores.

A éstos se les llama controladores híbridos y representan una buena elección en sistemas como el expuesto, que necesitan periféricos y transmisiones de datos en tiempo real y cuyo precio es muy similar a los de los microcontroladores.

En el mercado local se encuentran como productos más utilizados los microcontroladores PIC, de *MICROCHIP*, y los *MOTOROLA*. En la Universidad Industrial de Santander se han utilizado en laboratorios y proyectos microcontroladores de la familia 68HC08 de *MOTOROLA*, que son de 8 bits. Además se han realizado proyectos con la familia DSP56800 de 16 bits, DSP de Motorola., y en laboratorios se han utilizado DSP de *TEXAS INSTRUMENTS*.

3.1.3 DETERMINACIÓN DEL CONTROLADOR

Con lo analizado anteriormente se determina que el mejor controlador a usar es un controlador híbrido que pueda dirigir y controlar todo el proceso y agregar el hardware de accionamiento eléctrico formado por relés y transistores, entre otros.

Este controlador debe manejar una pantalla LCD y un teclado, controlar el encendido y apagado de las seis electroválvulas y los dos motores, medir los niveles de los cinco contenedores y el nivel de cámara de reacción, efectuar un control realimentado de temperatura que accione la resistencia de calor y mida la

temperatura del reactivo de la cámara de reacción. Además, debe dirigir todo el proceso con una lógica secuencial, principalmente a través de temporizadores y sensores.

Al seleccionar una marca y una familia para el controlador se tiene en cuenta el precio, no sólo del circuito integrado, sino de los sistemas de desarrollo, la capacidad de procesamiento y sus periféricos.

Se determina trabajar con la familia DSP56800 de *MOTOROLA*, principalmente por la facilidad de independizar el DSP en una tarjeta de circuito impreso para una aplicación específica recomendado por [López y Herrera, 2004] y desarrollado por [Ruidiaz y Tijaro, 2005], lo cual se desea realizar en este proyecto, y por el bajo precio que tienen sus sistemas de desarrollo básicos con los que se tiene a disposición todos los puertos para pruebas y además porque se cuenta con información de desarrollo e implementación de proyectos con esta familia.

Con la reseña expuesta, un análisis de la familia muestra que el más básico de sus miembros, el DSP56801, es suficiente para el desarrollo del controlador, pues contiene:

- 11 pines de entrada/salida de propósito general
- 6 señales PWM
- 8 conversores A/D
- 3 temporizadores
- Memoria flash

Se determina entonces utilizar un sistema de desarrollo de prueba con el DSP56801 construido por [Ruidiaz y Tijaro, 2005]; una vez implementadas todas las funciones en este controlador, se desea independizar el DSP del sistema de desarrollo en una tarjeta de circuito impreso en la que se implemente el hardware adicional resultante.

3.2 DISEÑO DE LA INTERFAZ CON EL USUARIO

3.2.1 INTERFAZ CON EL USUARIO

El diseño de la interfaz del prototipo con el usuario se basa en sus requerimientos y en características de operación para brindar una buena comunicación. La interfaz debe permitir al operario configurar y revisar el equipo, además debe mostrarle el estado del procesamiento durante su ejecución y a su vez debe servir como guía, solicitando ingresos de datos o mostrando mensajes que clarifiquen lo que se está haciendo.

Para tener una programación de tiempo para cada proceso, necesaria debido a su variación con el tipo de tejido a procesar y el método diagnóstico requerido, se precisa de un periférico de entrada de datos y una visualización de estos tiempos cada vez que se desee iniciar un procesamiento para asegurar al usuario que éste se ejecutará según los parámetros deseados. Para cumplir con este requerimiento se debe diseñar un módulo que contenga un dispositivo de visualización alfanumérico y uno de entrada de datos numéricos y de elección de opciones.

Como entrada de datos se diseña un teclado, que consta de una parte numérica con el cual se pueden ingresar dígitos entre el 0 y el 9 para la programación de los tiempos y una parte de accesos directos para dar órdenes de ejecución de instrucciones que dan al prototipo características amigables y facilitan su operación. La visualización de datos se implementa con una pantalla LCD que permite mostrar teclas pulsadas y mensajes que informen y guíen al usuario durante la configuración y operación.

3.2.2 OPCIONES DE TECLADO

Básicamente se pueden construir dos tipos de teclados: análogos y digitales. Ambos presentan un conjunto de pulsadores que según su conexión interna permiten obtener en su salida una señal que representa la tecla pulsada. Los teclados análogos tienen como salida una tensión que varía de acuerdo a la tecla pulsada, esto se logra mediante un divisor de voltaje proporcionado por una escalera de resistencias; para poder utilizar esta señal y obtener la tecla pulsada, el DSP debe transformarla a digital a través de un canal ADC. El número de teclas posibles de procesar depende entonces de la resolución del ADC y su principal desventaja está en su construcción. Para mayor información de la construcción y operación ver la nota de aplicación 1775 R1 de los manuales de *CodeWarrior™*. La figura 3.1 muestra un esquema básico de la construcción y la conexión a un controlador digital

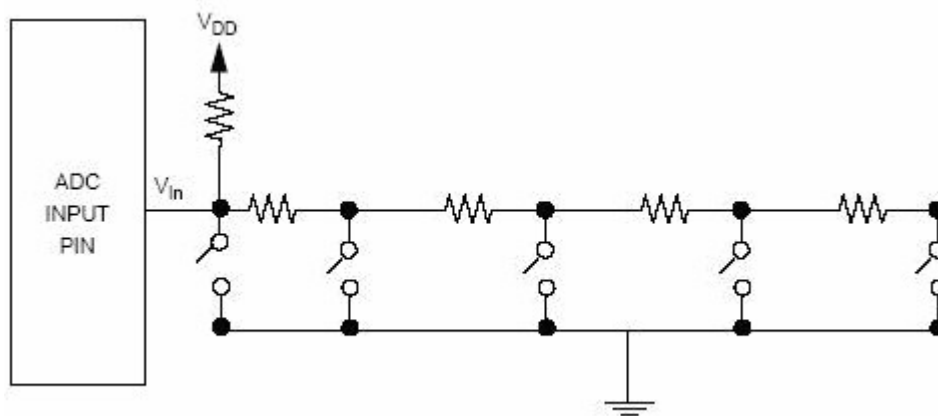


Figura 3.1 Teclado Analógico

La salida de los teclados digitales es un código digital que depende de su construcción interna y de las señales que el controlador le debe enviar. Para la recepción de datos, el DSP usa entradas digitales y decodifica la tecla pulsada por medio de software. La figura 2 muestra la conexión básica de un teclado matricial de 4 x 4 con resistencias pull-down.

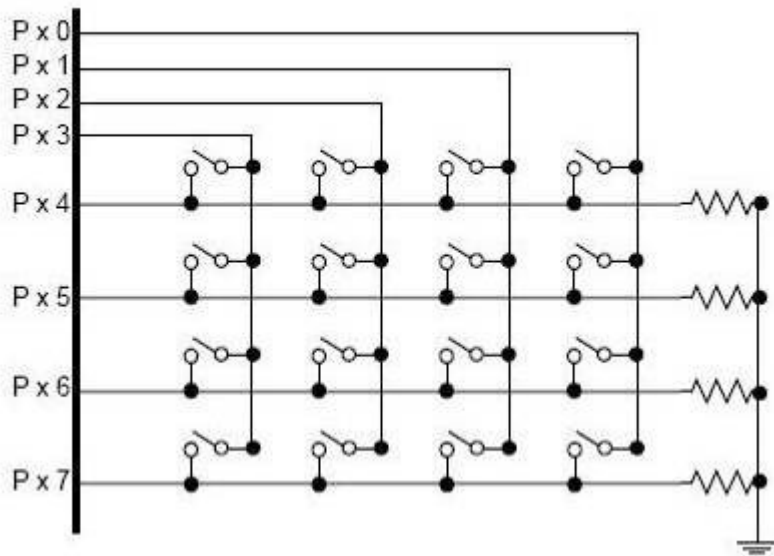


Figura 3.2 Teclado matricial

Los pulsadores de estos teclados están ordenados en forma de matriz, ya que permite una minimización de líneas de entrada y salida, por esto es llamado teclado matricial y consta de n-filas por m-columnas. Como cada pulsador conecta una única fila con una única columna, se puede determinar la tecla pulsada realizando un desplazamiento de una señal digital por sus filas y leyendo sus columnas (o de forma inversa). Si se desplaza un uno lógico por las filas se deben conectar resistencias pull-down a las columnas que aseguran ceros lógicos si no se ha pulsado una tecla. Al pulsar una tecla, la columna cambiará a uno lógico en el momento en que la fila tenga un uno lógico enviado por el controlador, obteniéndose un código de una fila y una columna en unos lógicos. De igual manera, se pueden realizar desplazamientos a través de las columnas o desplazar ceros lógicos con resistencias pull-up. Las principales desventajas son la necesidad de una cantidad de pines de entrada/salida y la complejidad de software para realizar desplazamientos y lecturas rápidas.

3.2.3 OPCIONES DE LCD

Las pantallas LCD se pueden clasificar según los datos visualizados en alfanuméricas y gráficas. Ambas se clasifican además según su tamaño.

Las alfanuméricas se organizan en filas de texto, su tamaño se expresa como de **V** por **H**, donde **V** representa el número de líneas y **H** el número de caracteres por línea. Otra especificación es el tamaño del caracter, que está formado por una matriz de puntos, y por lo cual se expresa de forma similar. En la figura 3.3 se muestra una pantalla LCD alfanumérica de 4x20 con caracteres de 8x5.



Figura 3.3 LCD alfanumérica.

Las pantallas gráficas se pueden especificar como una matriz de puntos llamados píxeles, permiten visualizar tanto texto como gráficos. Su tamaño está definido según la cantidad de píxeles y su tamaño, expresándose como el número de píxeles verticales y horizontales, de la misma forma que la alfanumérica.

Estas pantallas tienen un costo muy superior a las de caracteres y el software de control es más complejo. La figura 3.4 muestra una imagen de una pantalla gráfica de 128x64.

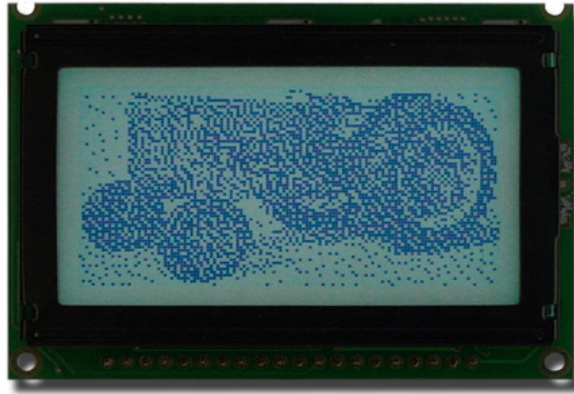


Figura 3.4 LCD grafica de 128x64

Sin embargo, básicamente el control necesario sobre las pantallas es similar; es necesario enviar datos y comandos al driver de la LCD a través de un bus de ocho datos, estos pueden ser códigos ASCII de caracteres que se desean imprimir o comandos propios de las pantallas como borrado, ubicación y tipo de visualización del cursor, definición de caracteres del usuario, entre otros.

Además de este bus, se necesitan dos señales de control: una para establecer si lo enviado es un dato o un comando y la otra habilita al driver para tomar el dato o comando del bus. Existe otra señal de control opcional que permite obtener información de la memoria RAM de la pantalla, en donde se almacenan los datos recibidos por la pantalla.

3.2.4 DISEÑO DEL MODULO LCD Y TECLADO

Este módulo debe controlarse de manera serial usando la comunicación SPI del DSP, debido a que de forma paralela se necesitan al menos 10 pines de entrada/salida, compartiendo un puerto de entrada/salida, y el DSP tiene la suficiente velocidad para estas transmisiones y decodificaciones de datos y para el control del resto del proceso en tiempo real.

Aunque en el mercado internacional se venden módulos seriales asíncronos que constan de una pantalla de caracteres y un teclado matricial, su precio es alto.

Además, como se desea implementar un teclado para la aplicación con los accesos directos requeridos, ésta no es la mejor solución aunque represente manejar el módulo completo con sólo dos pines. Como no se necesita visualizar gráficos pero sí texto se determina usar una pantalla LCD alfanumérica.

Un posible diseño es utilizar una pantalla grande, de 4x20, y pocas teclas e ir navegando a través de submenús o utilizando flechas para señalar opciones que aparezcan en la pantalla, pero al comparar los precios de una pantalla pequeña, de 2x16, en el mercado local existe una relación de 3 a 1, con lo cual se prefiere utilizar la pantalla pequeña y dos teclados para tener todos los accesos directos necesarios. Aunque se disminuye el área visual se disminuye también el costo en un 60%, esto facilita y agiliza la operación del usuario. Uno de los teclados es numérico y en el otro se disponen los accesos directos que se refieren a continuación:

- 3 accesos directos para estándares programados.
- 2 accesos directo para medir temperatura y niveles.
- 1 tecla para iniciar el proceso una vez seleccionados los tiempos.
- 1 acceso directo para ajustar hora y fecha.

3.3 CONTROL DE TEMPERATURA

Como se explicó anteriormente, se desea mantener los reactivos a cierta temperatura cuando están en contacto con los tejidos, para tal fin se coloca una resistencia de calor hecha en cobre de 30 Ω y 400 W alimentada con 110 VAC. La resistencia se acciona con un relé que requiere 5 VDC para alimentar la bobina que cierra el contacto (normalmente abierto) y energizar la resistencia (ver Accionamiento eléctrico sección 7.3).

El rango de temperatura para realizar el proceso esta entre 45 °C y 50 °C, aunque este rango no necesita ser muy exacto porque el objetivo de la elevación de la temperatura es acelerar el procesamiento de los tejidos y su única limitación es el posible daño del material genético de las células (alrededor de 60 °C) y la temperatura de ebullición de los reactivos.

En la figura 3.5 se puede ver como se implementa el control:

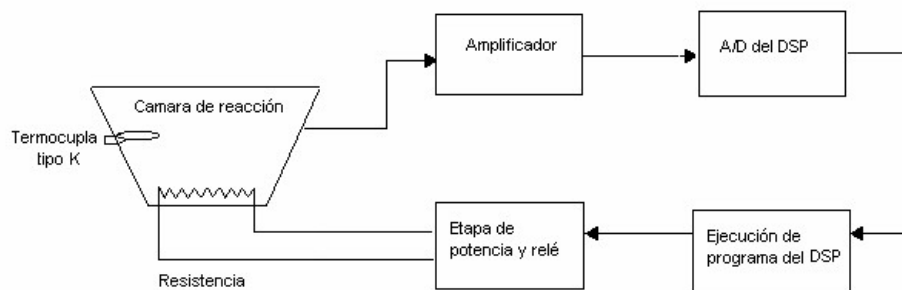


Figura 3.5 Diagrama de bloques para el control de temperatura

Para medir la temperatura se usa una termocupla tipo K cuya punta de medición entra en contacto con el reactivo presente en la cámara de reacción; su salida se conecta a un amplificador de instrumentación de aplicación específica, el AD595 de *Analog Devices*, que corrige y amplifica la curva de salida de las termocupla tipo K y brinda a su salida variación de 10 mV/°C. Con el circuito integrado AD595 la señal que representa la temperatura es muy precisa, con un porcentaje de error de $\pm 1.5\%$ (es el más preciso de su clase pero también el más costoso) y se cuenta con uno adquirido como muestra gratis. (Para un mayor detalle del circuito integrado AD595 ver Anexo D.)

Después de tener una señal análoga con rango de mV se convierte a digital con un canal de ADC del DSP56801.

Con el valor ya ingresado al DSP, se realiza por software una comparación con los parámetros establecidos como máximo y mínimo, en este caso de 45 °C y 50 °C, para tomar la decisión de cerrar el contacto del relé cuando la temperatura esté

por debajo de 45 °C y abrirlo para desconectar la resistencia cuando la temperatura alcance los 50 °C. La variable que contiene el valor digital de la medición de la temperatura se puede visualizar en la pantalla LCD.

3.4 CONTROL DE FLUJO Y NIVEL DE REACTIVOS

El control del flujo y del nivel dentro del equipo está relacionado directamente con la medición del nivel en los contenedores y el nivel en la cámara de reacción. Para controlar el flujo de reactivos hacia el recipiente principal y de la cámara de reacción hacia los recicladores, se necesita un dispositivo que permita e impida el paso del líquido conforme a la señal de control (ver figura 3.7). Un dispositivo que cumple con esto es una electroválvula de acción directa (ver funcionamiento de electroválvula sección 4.1). Por medio de estas electroválvulas se permite el paso del reactivo hacia la cámara durante un tiempo determinado por el sensor de nivel ubicado en esta cámara que establece su llenado como se observa en la figura 6. Este sensor es controlado por el DSP y puesto en funcionamiento cada vez que se esté llenando la cámara; una vez la medición determina que la cámara esta llena, se da orden de cerrar la electroválvula.

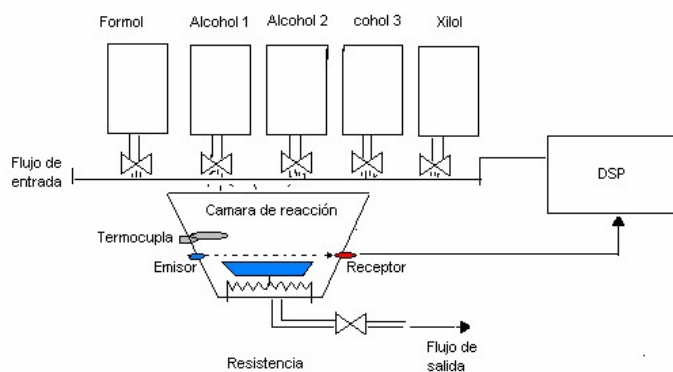


Figura 3.6 Sistema de control de flujo del sistema.

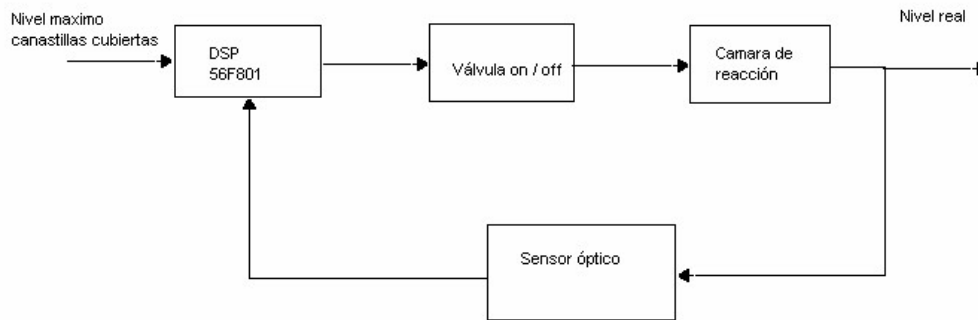


Figura 3.7 Sistema de control de nivel en la cámara de reacción

Para mantener un nivel de reactivo mínimo y garantizar flujo a través del sistema diseñado desde los contenedores hacia el recipiente principal, se necesita un sensor de nivel para cada contenedor que garantice un mínimo de nivel de reactivos requeridos para el procesamiento, ya que no se puede empezar un proceso si no hay suficiente reactivo en los contenedores. Estos niveles pueden ser visualizados en la pantalla LCD.

Las características del flujo y el sistema de transporte de fluidos se presentan a continuación.

3.4.1 MEDICIÓN DE NIVEL

Para medir el nivel se consideraron muchas alternativas para implementar un dispositivo que permitiera cumplir con los requerimientos del proceso, ya que existen diferentes tipos de sensores de nivel como son:

Tipo capacitivo: La variación de la capacitancia ofrece diferentes posibilidades de medir el nivel logrando una variación de nivel continuo dentro de un recipiente. Entre las posibilidades para implementar están la de tres placas paralelas con una

de ellas variable en la mitad, la variación de la distancia varía la capacitancia; otra opción consiste en dos placas laterales con líquido conductor entre ellas.

De resistencia variable: Como su nombre lo indica, al cambiar el nivel varía una resistencia, lo cual ofrece una solución válida para diferentes problemas de medida, en este caso tener la lectura de nivel continuo en un tanque. Los diseños más utilizados son: la implementación de tres varillas conductoras que logran que entre la varilla central y las laterales se forme una resistencia variable en función del nivel del líquido a medir. Otra posibilidad es un elemento flotante sujeto mecánicamente a un brazo que pivota sobre un eje y está unido con el elemento móvil de un potenciómetro. Se introduce en el tanque, de tal forma que al variar el nivel del mismo hace que el elemento flotante haga deslizar al elemento móvil del potenciómetro, variando así la resistencia del mismo.

Para la medición de nivel que se necesita en el diseño no es indispensable una medición continua, ya que es necesario garantizar sólo un mínimo de reactivo dentro de los recipientes para cada proceso a realizar, y en el recipiente principal la condición es que el nivel llegue a cubrir las canastillas que contienen los tejidos. Por esta razón es innecesario emplear sistemas de medición de nivel continuo como los mencionados anteriormente y estos también tienen un mayor grado de dificultad y costo a la hora de implementarlos que otros dispositivos.

Tipo flotador: Este sistema es muy utilizado para medir nivel ya que ubicando un elemento flotador dentro del recipiente permite tener ubicación del nivel, este sistema es un poco complicado de implementar para nuestro caso particular ya que los recipientes para almacenar los reactivos son de tamaño reducido por que no se necesita almacenar mucho líquido, y sería muy complicado ubicar un sensor de este tipo dentro de ellos.

Tipo ultrasónico: Este sensor es de alto costo pero de una alta confiabilidad y utilizado en líquidos muy puros para no contaminarlos, una gran ventaja es que se puede ubicar fuera del recipiente.

Tipo electro-óptico: En general, los componentes optoelectrónicos son aquellos capaces de convertir energía luminosa en eléctrica o viceversa. Para el caso de la medición de nivel que corresponde hacer, en este caso, se requiere un mínimo nivel en los recipientes que contienen los reactivos, además de, garantizar que en la cámara de reacción las canastillas queden inmersas por los reactivos; el utilizar un dispositivo óptico es una gran ventaja ya que se puede ubicar externo a los recipientes, así no contaminaran los reactivos.

Estos dispositivos ofrecen alta confiabilidad, precisión y bajo costo.

3.4.2 ELECCIÓN DEL SENSOR Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Para implementar los sensores se tuvo en cuenta la posibilidad de los dispositivos optoelectrónicos, en particular, se seleccionó la configuración emisor (IRED ver figura 3.8), detector (fotodiodo ver figura 3.9), para que al interponerse algo entre la señal luminosa que lo incide varíe proporcionalmente la cantidad de corriente que conduce y así tener una señal de salida de tensión.

IRED (Infrared Emitting Diode): Sus fundamentos son los mismos que para los diodos LED; encontrando la única diferencia en su espectro de radiación: su longitud de onda se sitúa por debajo del espectro visible, y se emplean cuando se requiere una radiación no visible, por ejemplo en el control remoto, optoacopladores, detectores, etc.

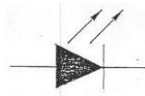


Figura 3.8 Esquema de un diodo emisor.

El Fotodiodo: Consiste en esencia de una unión de material "P" y material "N" en polarización inversa. Cuando la luz de longitud de onda apropiada es dirigida hacia la unión, se crean pares hueco-electrón y la energía aportada por éstas radiaciones luminosas provoca la ruptura de enlaces covalentes y por tanto libera portadores, permitiendo la circulación de corriente debido a la energía luminosa, la corriente inversa está en función de la luz que incide en el fotodiodo y se considera que a mayor intensidad de luz existe una corriente de fuga mayor.



Figura 3.9 Esquema de un diodo receptor.

Fototransistor: El transistor sensible a la luz es una de las combinaciones fotodiodo amplificador más simples. Dirigiendo una fuente de luz hacia la unión pn polarizada en sentido inverso (colector-base), se genera una corriente de base, que es amplificada por la ganancia de corriente del transistor (figura 3.10).

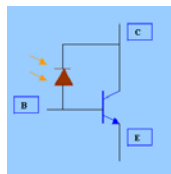


Figura 3.10 Esquema de un diodo fototransistor.

3.4.3 CONTROL DE NIVEL EN LA CÁMARA DE REACCIÓN.

Para el recipiente principal (cámara de reacción) se usa el mismo sensor utilizado en los contenedores y se ubica en la parte externa de la cámara de reacción

donde tenemos unos vidrios que permitirán el paso de luz. El nivel permitido estará unos centímetros por encima del portacanastillas para asegurar que los tejidos estén sumergidos en el reactivo.

Al nivel del agua llegar a interrumpir el paso de la luz ocasiona una variación en la tensión entre colector y tierra del fototransistor la cual es medida por un canal de ADC del 56F801; se realiza un algoritmo por software para que al medir el valor máximo permitido que indica el llenado de la cámara se active una señal de salida para detener el paso del reactivo al cerrar la electroválvula.

La señal de salida de los sensores va a los canales de ADC del DSP 56801, la señal es muestreada y convertida para tomar la pequeña variación de voltaje que se presenta cuando hay presencia de líquido dentro de los recipientes y cuando estos están desocupados. La diferencia de tensión entre estos dos casos es de 100 mv, suficiente para hacer una rutina por software para advertir cuándo no hay reactivo suficiente para realizar un proceso. También en el recipiente principal para cuando esté lleno y así desactivar la electroválvula que permite el paso del líquido, con esto se puede empezar cada proceso.

Como el 56F801 posee 8 entradas de ADC ya que internamente este modulo tiene dos mux para dar así la posibilidad de que por cada uno se puedan ingresar 4 señales (figura 3.11)

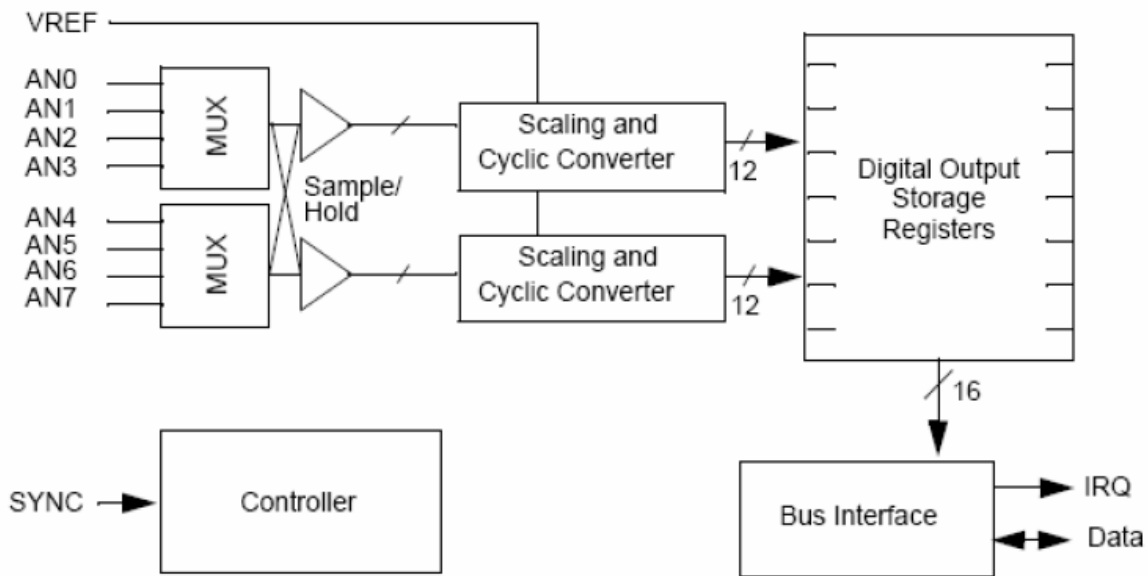


Figura 3.11 Diagrama de Bloques del ADC del DSP56F801

Este módulo permite tomar una señal analógica y convertirla en una señal digital para luego procesarla, el número de módulos de ADC depende del integrado DSP. Entre las características se tiene IPBUS 40 MHz, 12 bits de resolución, tasa de muestreo de hasta 1,666 millones de muestras por segundo, frecuencia de reloj del ADC 5 MHz, tiempo de conversión simple igual a 8,5 ciclos de reloj ($8,5 * 200 \text{ ns} = 1,7 \mu\text{s}$) y para muestras adicionales 6 ciclos de reloj ($6 * 200 \text{ ns} = 1,2 \mu\text{s}$), si se desea realizar 8 conversiones se tarda 26,5 ciclos de reloj ($5,3 \mu\text{s}$), muestreo secuencial o simultáneo.

Para mayor información del módulo de ADC del DSP referirse a la documentación suministrada por el fabricante².

3.5 CONTROL DE MOVIMIENTO DE LAS CANASTILLAS

Las canastillas necesitan de un movimiento rotacional para que estas queden impregnadas lo mejor posible de cada unos de los reactivos. Para ello es

² [Motorola, DSP56F800 User Manual, 2004] Freescale semiconductor, DSP56F800 User Manual, 56800 Documentation(PDF), DSP56F801-7UM, 06, 2004.

necesario utilizar un motor que dé este movimiento. Sobre la elección del motor referirse a la sección 4.2.

El interés se debe centrar en cómo controlar el movimiento del motor. Es claro que los motores demandan un cierto consumo de potencia que el controlador DSP no esta en la capacidad de suministrar, de manera que la potencia en este caso es suministrada por el actuador a elegir; es así que el controlador envía la señal al actuador para que éste a su vez suministre la señal al motor (ver figura 3.12).

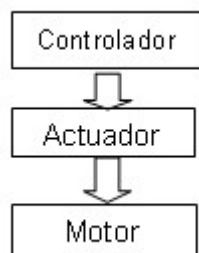


Figura 3.12 Diagrama de bloques para el movimiento de las canastillas.

En conclusión, se necesita de una o dos señales de control para lograr que el motor gire en un o en los dos sentidos. El DSP cuenta con 11 pines de propósito general que se podrían emplear para esta tarea, pero a la vez el DSP también cuenta con un modulo de PWM con seis señales independientes, o bien, se puede configurar en tres pares complementarios, además de, permitir configurar su porcentaje de modulación entre 0 y 100% de modulación; esto quiere decir que los seis canales de PWM se pueden configurar como pines de salida con la ventaja de poder modular el ancho de pulso permitiendo controlar la velocidad de esta manera. De esta forma, el motor se controla con una señal de PWM configurada al 100% ó al 0%.

EL modulo de PWM (ver figura 3.13), además de las características ya mencionadas, tiene una resolución de 15 bits, control de polaridad, salidas individuales controladas por software, protección programable entre otras (ver bibliografía).

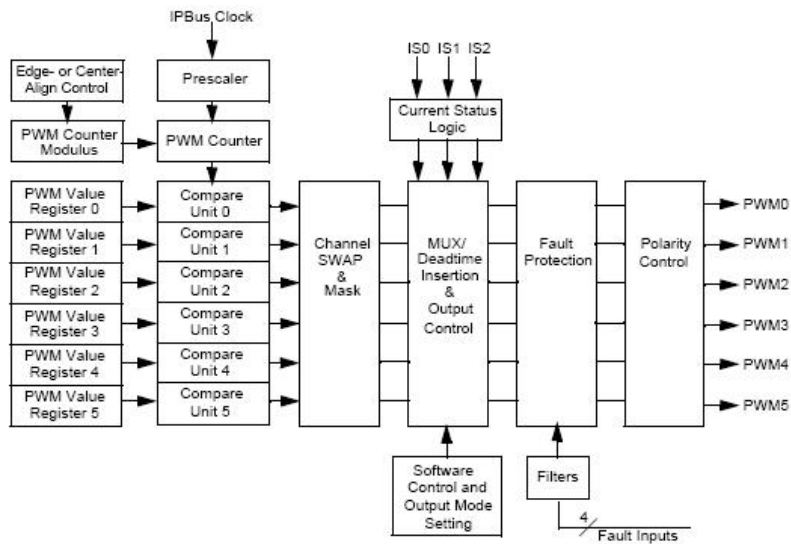


Figura 3.13 Diagrama de bloques del modulo PWM del DSP

3.6 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA RECICLAJE

En esta sección se presenta el diseño del sistema electrónico del posicionamiento para reciclaje, es decir, las señales necesarias originadas por el DSP para los actuadores que proporcionan energía al motor, así como las señales enviadas por los sensores hacia el controlador principal, en este caso el DSP (ver figura 3.14)

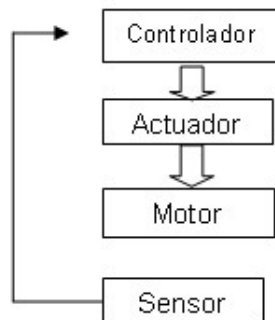


Figura 3.14 Diagrama de bloques del sistema de posicionamiento

Se debe tener en cuenta que el sistema de posicionamiento debe ser eficiente, estable y poseer un sistema de control robusto, capaz de realizar la función sin error; además el sistema debe ser capaz de retornar para iniciar el mismo ciclo cada vez que se inicia un nuevo proceso.

Al igual que para el movimiento de las canastillas, las señales a utilizar para controlar el motor se obtienen del modulo de PWM del DSP.

Para el caso del sensor que indica que la posición se ha logrado se necesita una señal de entrada al DSP, en consecuencia se hace uso de un pin de Entrada/Salida configurado como entrada ya sea del puerto A o del Puerto B.

El sensor al igual que para la medición de nivel (sección 3.4.2) es de tipo optoelectrónico.

CAPITULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO

4.1 FLUJO DE REACTIVOS

4.1.1 VÁLVULAS.

Para lograr que el flujo a lo largo del sistema total sea de manera automático (ver figura 4.1) se debe contar con un elemento que permita esta tarea, en consecuencia se hace referencia a las válvulas direccionales que, como su nombre indica, se usan para controlar la dirección del caudal. Aunque todas realizan esta función, las válvulas direccionales varían considerablemente en construcción y funcionamiento. Se clasifican, según sus características principales, en:

- *Tipo de elemento interno.* Obturador (pistón o esfera), corredera rotativa o deslizante.
- *Métodos de actuación.* Levas, émbolos, palancas manuales, mecánicos, solenoides eléctricos, presión hidráulica y otros, incluyendo combinaciones de éstos.
- *Número de vías.* Dos vías, tres vías, cuatro vías, etc.
- *Tamaño.* Tamaño nominal de las tuberías conectadas a la válvula o a su placa base, o caudal nominal.
- *Conexiones.* Roscas cónicas, roscas cilíndricas, bridas y placas bases.

Es necesario definir cada una de las características para el diseño, el método de actuación es la característica más importante, puesto que debido a que el proceso se debe ejecutar de forma automática, el método de actuación también debe serlo. En consecuencia, el método que más se ajusta es por medio de solenoide eléctrico, el número de vías es claro, deben ser dos, uno de entrada y el otro de salida. En cuanto al tamaño se debe buscar que no sea tan grande, ya que los niveles de presión son relativamente bajos (presión hidrostática).

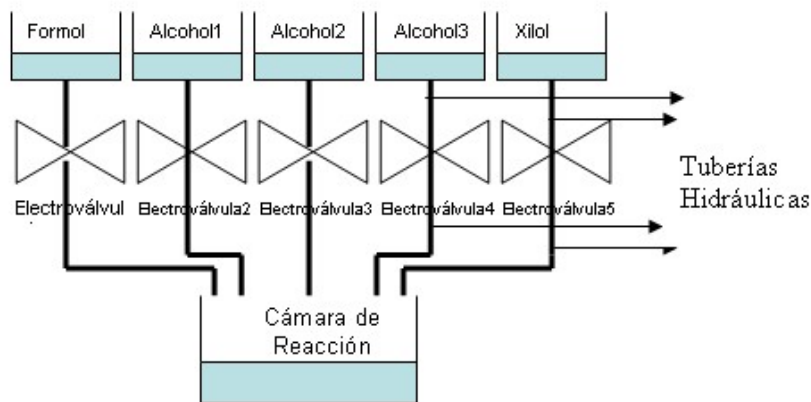


Figura 4.1 Esquema del flujo de reactivos

Consultando con diferentes proveedores se encontró que el tipo de electroválvula que más se ajusta al proyecto es de tipo émbolo de acción directa y 2/2 vías. Las electroválvulas tipo émbolo de acción directa y 2/2 vías son válvulas de corte con dos puertos: uno de entrada (P) y otro de salida (A). Como se muestra en la figura 4.2, la entrada P está conectada al fluido. En su estado desactivado, el resorte, ayudado por la presión del fluido, fuerza el núcleo del solenoide (émbolo), que contiene la junta de la válvula, contra el asiento de la válvula. Como consecuencia de ello, se cierra el paso hacia la salida A. Si se aplica tensión, el solenoide, junta incluida, se desplaza hacia el interior de la bobina como resultado de la fuerza magnética, y la válvula se abre.

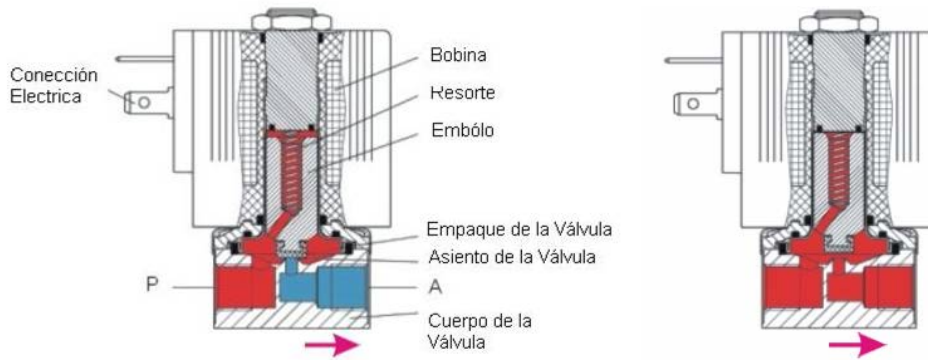


Figura 4.2 Esquema electroválvula cerrada (der), abierta (izq)

Las tensiones de alimentación para las electroválvulas pueden variar según el solenoide: se puede encontrar solenoides desde 3 Vdc, 5 Vdc, 12 Vdc, 24 Vdc hasta 110 Vac y 220 Vac. Dependiendo del tipo de alimentación los precios varían, siendo más costosas las alimentadas con corriente directa. Es así que las válvulas a utilizar son de ac, en consecuencia, se debe disponer de un circuito actuador que permite enviar señales lógicas para accionar cada una de las válvulas. Este actuador como se ha dicho anteriormente puede ser un relé.

4.1.2 TUBERÍAS HIDRÁULICAS

Tuberías es un término general que engloba las diferentes clases de líneas de conducción que transportan el fluido hidráulico entre los componentes así como las conexiones utilizadas entre los conductores. Los sistemas hidráulicos utilizan principalmente tres tipos de líneas de conducción: tubos gas, tubos milimétricos y mangueras flexibles. Las mangueras flexibles son más convenientes para hacer conexiones y para el mantenimiento de las instalaciones. Las mangueras flexibles se utilizan cuando las líneas hidráulicas están sometidas a movimiento, por ejemplo. La capa interna de la manguera debe ser compatible con el fluido utilizado, dadas las anteriores características el tipo de tubería a implementar debe ser de tipo manguera flexible, además el material debe ser resistente al xilol. Para

el acople entre la manguera y la electroválvula se debe considerar accesorios adicionales, entre los accesorios para mangueras generalmente se hace uso de racores, idealmente de tipo inoxidable. Entre otras consideraciones se debe tener en cuenta las condiciones de presión y de caudal, que para este caso no es tan crítico debido a que los niveles de presión son reducidos.

4.2 MOVIMIENTO DE LAS CANASTILLAS

El sistema para el movimiento de las canastillas consta de tres partes fundamentales: el portacanastillas, el motor bidireccional y el acople mecánico (ver figura 4.3).

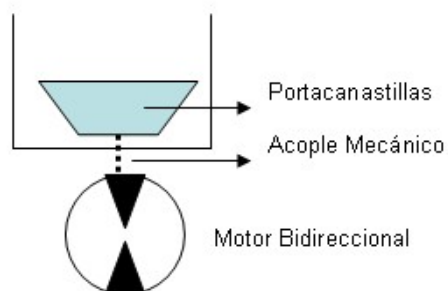


Figura 4.3 Esquema para el movimiento de las canastillas

El portacanastillas es el elemento encargado de alojar las canastillas que se encuentran en proceso. Entre sus características debe contar con capacidad de alojar de 30 a 100 canastillas en uno, dos o más niveles, dependiendo del tamaño de la cámara de reacción y debe estar fabricado de un material resistente a los reactivos, en especial el xilol.

Durante el proceso en ejecución de cada una de sus etapas este portacastillas debe girar de una manera constante y a una velocidad relativamente baja, que no cree turbulencias dentro de la cámara de reacción, se requiere que ese

movimiento rotacional sea bidireccional para que las muestras dentro de las canastillas tengan un tratamiento óptimo.

El movimiento lo realiza un motor y es transmitido al portacanastillas por medio de un acople mecánico.

Las características a tener en cuenta del motor son: de bajas revoluciones y buen torque. Los motores dc son motores de alta velocidad, de manera que si se desea utilizar uno se hace necesario el acople de un reductor que incrementa el costo del diseño. Los motores que mejor se pueden ajustar a estos requerimientos son los utilizados en sistemas como los hornos microondas, puesto que son motores de bajas revoluciones cerca de las 6 r.p.m, además el torque es alto. Estos motores también funcionan como generadores y su alimentación es ac, tienen la particularidad de girar bidireccionalmente ya sea con el envío de un impulso eléctrico, o con un tope mecánico, justo lo que se necesita para implementar el movimiento de las canastillas.

Por último, el acople mecánico debe garantizar que el portacanastillas gire libremente y evitar que existan fugas en el tanque principal al hacer la adaptación de éste.

4.3 POSICIONAMIENTO PARA RECICLAJE

El sistema de posicionamiento se requiere para permitir desocupar la cámara de reacción una vez culmina cada etapa del proceso total. El diseño del sistema sugiere desplazar una electroválvula a lo largo de una trayectoria lineal en la cual se encuentran tres recipientes separados a una misma distancia. El fin de estos recipientes es almacenar cada uno de los reactivos que han sido utilizados durante la etapa ya terminada. El objetivo principal es lograr que la electroválvula se posicione sobre cada uno de dichos recipientes y así poder drenar el líquido alojado en la cámara de reacción.

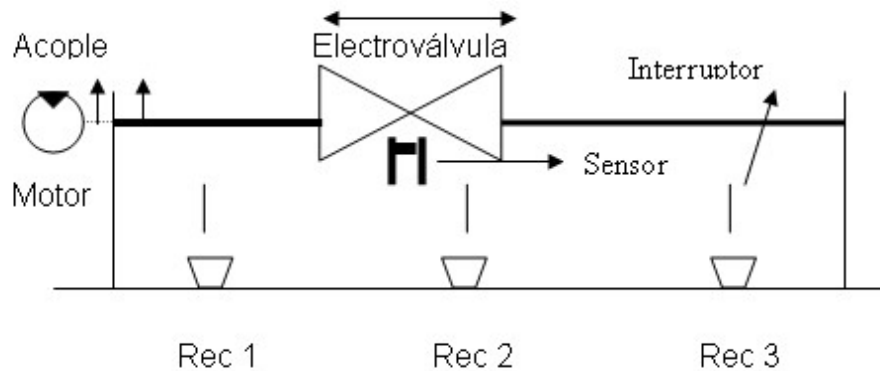


Figura 4.4 Esquema sistema de posicionamiento para reciclaje

El esquema mostrado en la figura 4.4 no es el único diseño a tener en cuenta. Entre las opciones se puede citar un sistema conformado por tres válvulas fijas ubicadas sobre cada uno de los recicladores, pero presenta la desventaja de que su costo es elevado debido a las electroválvulas, además de aumento en la contaminación de los reactivos si se tiene en cuenta que cada vez que culmina un proceso quedan residuos en las mangueras que llegan a cada una de las válvulas.

Volviendo al esquema propuesto en la figura 4.4, se tiene en cuenta dar un movimiento transversal a la válvula, así, se debe encontrar la clase de motor a usar, entre las opciones de motores se tiene en lista, los motores de corriente continua, los servos y los motores de paso; a continuación se dará una breve descripción de cada uno de ellos:

Motores de corriente continua

Son los más sencillos de manejar pero no por eso los mejores. Constan como todos los motores de un rotor y de un estator. Este último está compuesto generalmente de un imán permanente mientras que el rotor es bobinado. El motor tiene dos contactos, los cuales al ser polarizados provocan el giro del rotor. La dirección del giro depende de la polaridad de la tensión y la velocidad depende de

la magnitud de la tensión y de la carga en el rotor. Si bien es posible controlar la dirección de estos con una configuración de transistores (Puente H), el problema se presenta cuando se desea controlar su velocidad. Como generalmente no es posible entregar un voltaje de tensión variable, se recurre a una técnica digital basada en modulación por ancho de pulsos o PWM. Esta técnica consiste en aplicar un tren de pulsos de período fijo y variar el ancho del pulso. Con ésto se logra un voltaje efectivo menor provocando así que el motor gire a una velocidad menor. Los motores de continua se presentan en un amplio rango de voltajes, potencias y precios.

Servomotores

Los servomotores son motores que traen incorporado retroalimentación de posición. Su rango típico de movimiento de es 90° ó 180° . Son capaces de entregar gran precisión en su control. Éste se realiza en base a pulsos que van de 1 a 2 milisegundos para motores cuyo rango de movimiento es de 90° y de 0.5 a 2.5 milisegundos para los que tienen un rango de 180° , repetidos 60 veces por segundo. La posición del servo motor es proporcional al ancho del pulso. Por convención para pulsos de 1.5 milisegundos éstos se sitúan en su posición central. Su precio en el mercado local es relativamente alto

Motores paso a paso

El motor paso a paso es un elemento capaz de transformar pulsos eléctricos en movimientos mecánicos. El eje del motor gira un determinado ángulo por cada impulso de entrada, con lo que el movimiento es muy preciso y fiable. Estos motores están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator. El motor paso a paso puede girar en los dos sentidos y el ángulo de giro puede variar entre $0,72^\circ$ (500 pasos / 1 vuelta) y 90° (4 pasos / 1 vuelta). La característica

principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Por simplicidad en el control y economía se escoge un motor dc que aunque no es tan preciso como un motor paso a paso o un servomotor, se puede lograr esa precisión con un buen control de velocidad y con ayuda de un sensor que indique la posición exacta donde se debe parar para drenar cada uno de los reactivos en su respectivo recipiente reciclador.

Para poder controlar del motor dc es necesario un puente H. Un puente H es básicamente un arreglo de cuatro interruptores dispuestos de la siguiente manera:

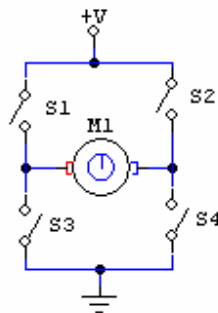


Figura 4.5 Esquema de un puente H

Estos interruptores (S1, S2, S3 y S4) pueden ser de transistores bipolares, mosfets, jfet, relés o de cualquier combinación de elementos. El objetivo central es el de poder controlar el sentido de un motor de corriente continua sin la necesidad de aplicar voltaje negativo. Si se cierran solamente los contactos S1 y S4 la corriente circula en un sentido a través del motor.

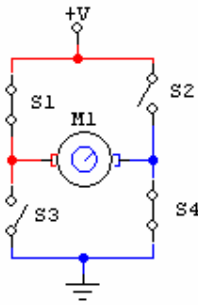


Figura 4.6 Puente H con S1 y S4 cerrados

Si se cierran solamente los contactos S2 y S4, la corriente circula en sentido contrario.

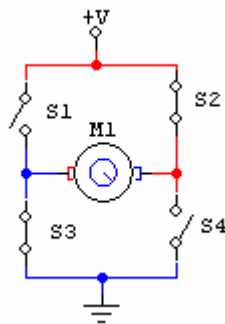


Figura 4.7 Puente H con S2 y S3 cerrados

En la actualidad se encuentran diversos tipos de puentes H en circuitos integrados, los cuales varían de acuerdo a requerimientos de potencia. Debido a que el sistema necesita de un acople mecánico, este acople puede ser compuesto por dos poleas y una correa; la función es poder transmitir un torque y cambiar de movimiento rotacional a movimiento respectivamente. Este acople mecánico tiene la ventaja de disminuir la potencia eléctrica requerida para el movimiento del sistema de posición, de modo que el puente H requerido puede ser de poco consumo de corriente, teniendo en cuenta que el motor es de 500 mA a 1 A.

Finalmente, los elementos que permiten que la electroválvula se detenga en el lugar preciso son un sensor y un interruptor. El sensor debe ser de tipo fotoeléctrico de tal manera que, en el momento en que el interruptor pase entre la

configuración de par emisor y receptor, éste envíe un cambio de señal, ya sea de alto a bajo o de bajo a alto, que se envía al DSP por un pin de entrada (sección 3.6).

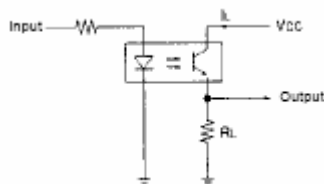


Figura 4.8 Esquema de un sensor fotoeléctrico.

Una configuración típica de este tipo de sensores se muestra en la figura 4.8. Se debe buscar polarizar de una manera adecuada el sensor para obtener la señal correcta.

4.4 SISTEMA DE VENTILACIÓN.

Este sistema permite mantener cierto grado de limpieza en la cámara de reacción evitando residuos de reactivos ya desocupados para que no se mezclen, y consta de un ventilador ubicado en el centro de la tapa que cubre la cámara, debajo de una segunda tapa que se desplazara una corta distancia accionada por un electroimán para recircular el aire.

El ventilador y el electroimán serán alimentados con 12 V que vienen del contacto normalmente abierto de un relé que permite el control del accionamiento de éstos. El electroimán es un dispositivo formado por un solenoide con núcleo de hierro en su interior, cuando la corriente circula la bobina se crea un campo magnético que atrae el núcleo de hierro.

CAPITULO 5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FÍSICA DEL PROTOTIPO

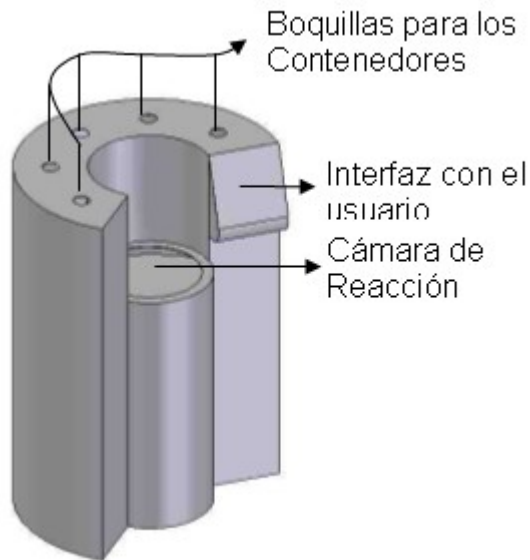


Figura 5.1 Estructura física del equipo (Elaborado en *Solid Edge*)

Para el diseño de la estructura física del equipo se hace uso de una herramienta software especial para la elaboración de los planos. Lo que se busca en el diseño es que cada uno de los componentes estructurales se ubiquen de tal manera que el espacio entre ellos no se desperdicie, además de tener en cuenta cada uno de los niveles que facilitan el flujo de cada uno de los reactivos.

En la figura 5.1 se puede ver una propuesta de diseño del aspecto externo del prototipo. Para ver cada uno de los componentes referirse al Anexo B. Elaboración de los planos estructurales del prototipo.

CAPITULO 6. DISEÑO DEL PROGRAMA DE CONTROL

6.1 SOFTWARE UTILIZADO

El software para la programación del DSP con el que se cuenta es *CodeWarrior™*, elaborado por *Metrowerks*, una organización de *Freescale Semiconductor* que desarrolla software para programación de microcontroladores, microprocesadores y DSP entre otros. El software para la familia DSP56800 se denomina *CodeWarrior™ Development Studio for Freescale DSP56800/E Hybrid Controllers*. Este software puede descargarse de www.metrowerks.com que otorga una licencia de prueba de 8K (Word), si se desean realizar programas con mayor tamaño hay que adquirir otra. El ambiente de desarrollo se denomina *Codewarrior IDE* (Integrated Development Enviroment) y contiene varias aplicaciones que permiten editar archivos y compilarlos, entre otras aplicaciones.. El compilador permite trabajar en lenguaje C/C++, ensamblador y los dos conjuntamente. Con el fin de facilitar la programación se trabaja con Processor Expert, una aplicación incluida en el software basada en beans, pequeños programas que generan archivos con funciones y además configuran los puertos y registros necesarios para la ejecución de dichas funciones.

El desarrollo del algoritmo se hace en lenguaje C hasta lo posible. Utilizando la inclusión de archivos que permite C, el programa de control se subdivide por partes, creando archivos *.c (C source file) que contienen las funciones que se utilizan en el menú principal (también pueden usarse en otros

archivos); cada uno de estos contiene otro archivo con el mismo nombre pero extensión *.h (header file) que contiene las declaraciones de las funciones, todo esto hace que un proyecto esté organizado, se pueda dividir en archivos que se puedan probar de forma independiente. La programación se divide en: impresión de mensajes en la LCD, recepción de datos del teclado, control de motores, mediciones con sensores y almacenamiento de datos en flash.

Adicionalmente se crea un archivo para las interrupciones y otro para las funciones que maneja el programa principal.

El diseño del algoritmo principal expresado como subprocesos con funciones de control, supervisión y entrada/salida de datos se explica a continuación, el diseño los algoritmos de cada uno de estos subprocesos y sus funciones se presenta en los próximos capítulos.

6.2 ALGORITMO DEL PROGRAMA PRINCIPAL

La ejecución del proceso se debe realizar después de ser configurado, por esto el programa se puede dividir en dos secciones: una de configuración, en la cual el programa permanecerá hasta recibir una orden por teclado de iniciar el procesamiento que consta de los procesos de fijación, deshidratación y aclaramiento. Estos procesos son secuenciales y repetitivos donde sólo cambia el tiempo de ejecución. Una vez terminados se imprimen los resultados del proceso finalizando la labor.

En esta parte se muestran tres diagramas de flujo, el primero muestra la secuencia de programa principal con subprocesos en la parte izquierda y en la derecha se describen las funciones, que se realizan de forma automática o que el usuario puede ejecutar. Igual organización tiene el segundo diagrama, pero en éste se muestra el flujo que tiene el proceso con cada reactivo, quiere decir que esta secuencia se ejecuta 5 veces: formol, alcohol 1, alcohol 2, alcohol 3, xilol;

cada uno con sus respectivo tiempo. El tercero muestra el flujo en el estado de configuración.

6.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO

La figura 6.1 muestra el diagrama de flujo del *MAIN()* principal.

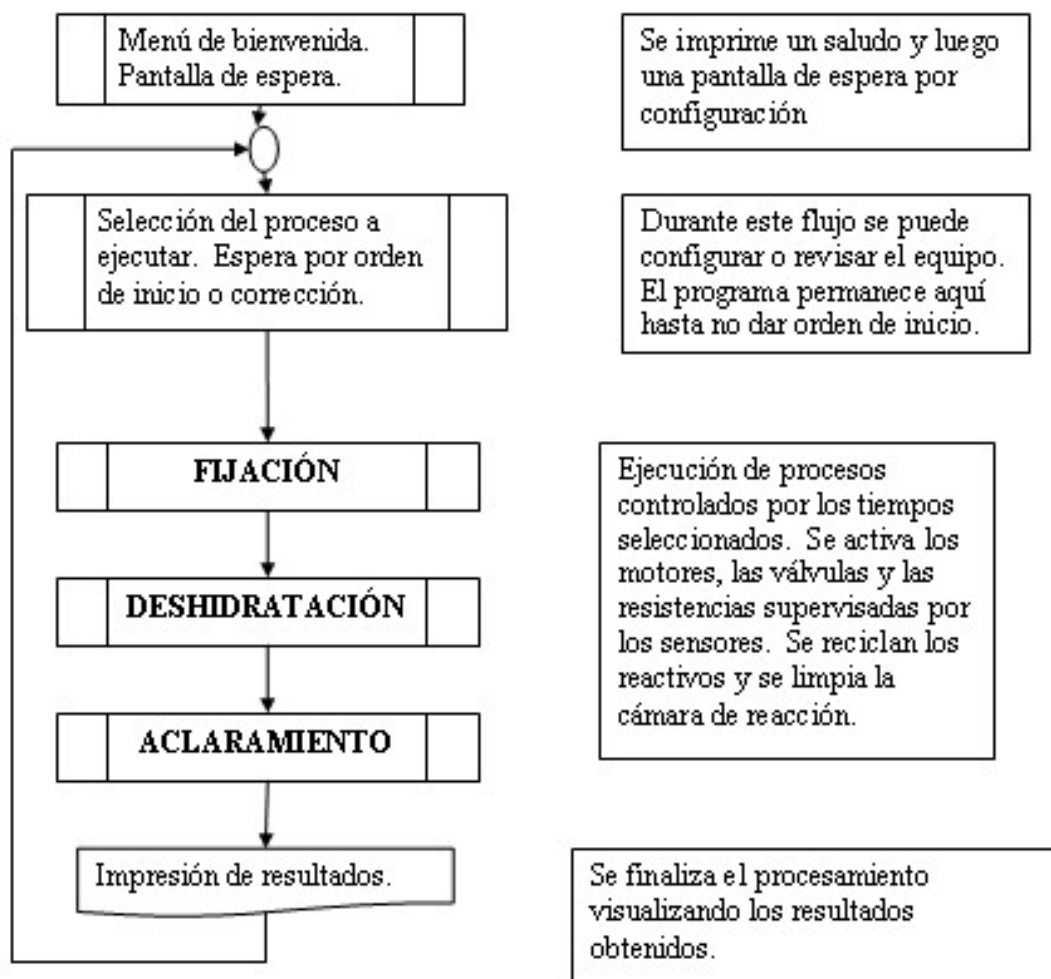


Figura 6.1 Diagrama de Flujo del programa principal

6.2.2 FLUJO PARA CADA PROCESO CON UN REACTIVO

La figura 6.2 muestra el flujo en un proceso. Este flujo es igual para la fijación y el aclaramiento, la deshidratación se lleva a cabo con 3 flujos, uno para cada concentración de alcohol.

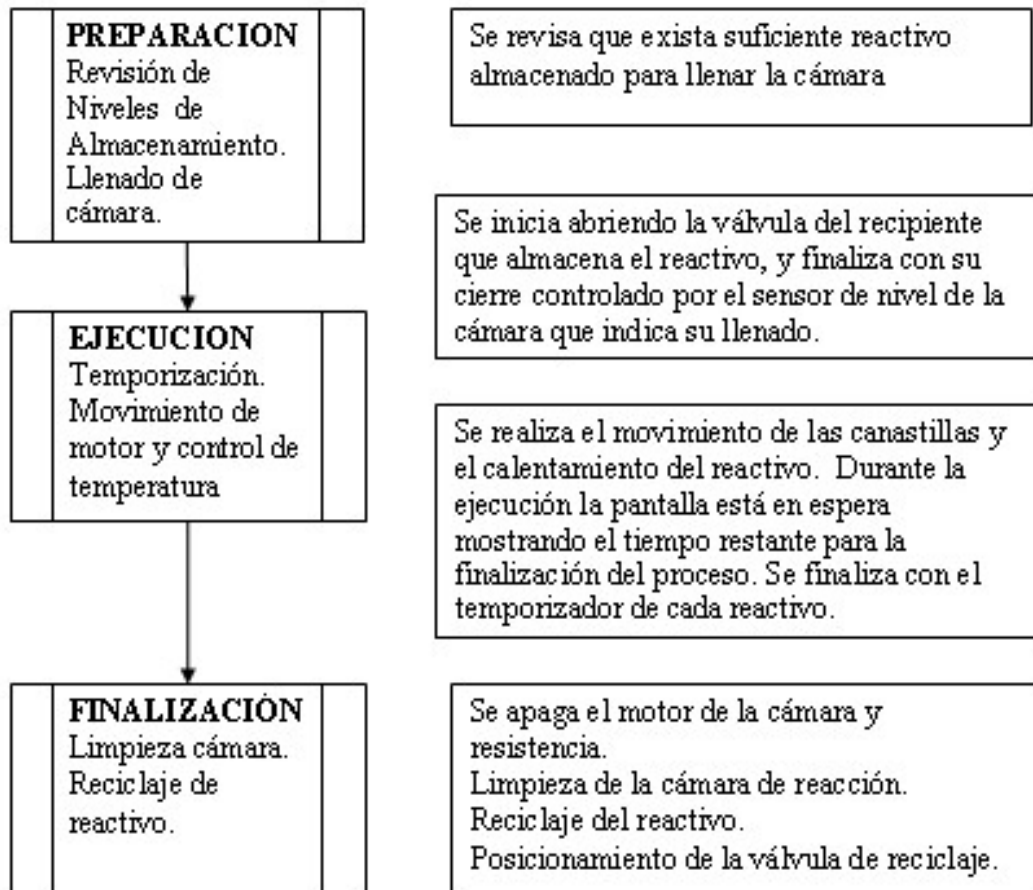


Figura 6.2 Diagrama de flujo para cada proceso

6.2.3 FUNCIONES DEL PROGRAMA PRINCIPAL

En un archivo se crean las funciones que se usan en el programa principal y su nombre es "funciones". Las principales funciones se dividen en tres: preparación, ejecución y finalización de acuerdo al diagrama de flujo.

PREPARACIÓN. Se verifican los niveles de los contenedores y se inicia el flujo del reactivo a la cámara de reacción hasta que por interrupción del sensor de nivel se determine el llenado.

EJECUCIÓN. Se inicia un temporizador de acuerdo al tiempo del estándar seleccionado, se energiza el motor del portacanastillas y se activa el control de temperatura. Durante la ejecución el control de temperatura, energiza y desenergiza la resistencia de calor por interrupción de acuerdo a la medición.

FINALIZACIÓN: Una vez terminado el tiempo de ejecución, se procede a ubicar la válvula de reciclaje, y se vacía el reactivo en su correspondiente reciclador. Después de esto se realiza la limpieza por un tiempo determinado.

Con estas funciones se realiza el programa principal, que inicia en pantalla de espera por configuración. Se usa una función de teclado para esperar por una pulsación de tecla y se realiza una selección según esta tecla como se muestra en el tercer diagrama de flujo, que se muestra a continuación; se ejecuta el subproceso y se retorna a la espera.

Una vez seleccionado un estándar, se muestran los tiempos que tiene programado y se espera por la orden de ejecución, si no se pulsa una tecla, en un minuto, se regresa a la pantalla de espera. Dada la orden de ejecución se inicia el procesamiento. Realizado éste, se visualizan los resultados y se retorna a espera para configuración o ejecución de otro proceso.

6.2.4 FLUJO EN CONFIGURACIÓN

La figura 6.3 muestra el flujo durante la configuración y espera por la orden de ejecución de un proceso.

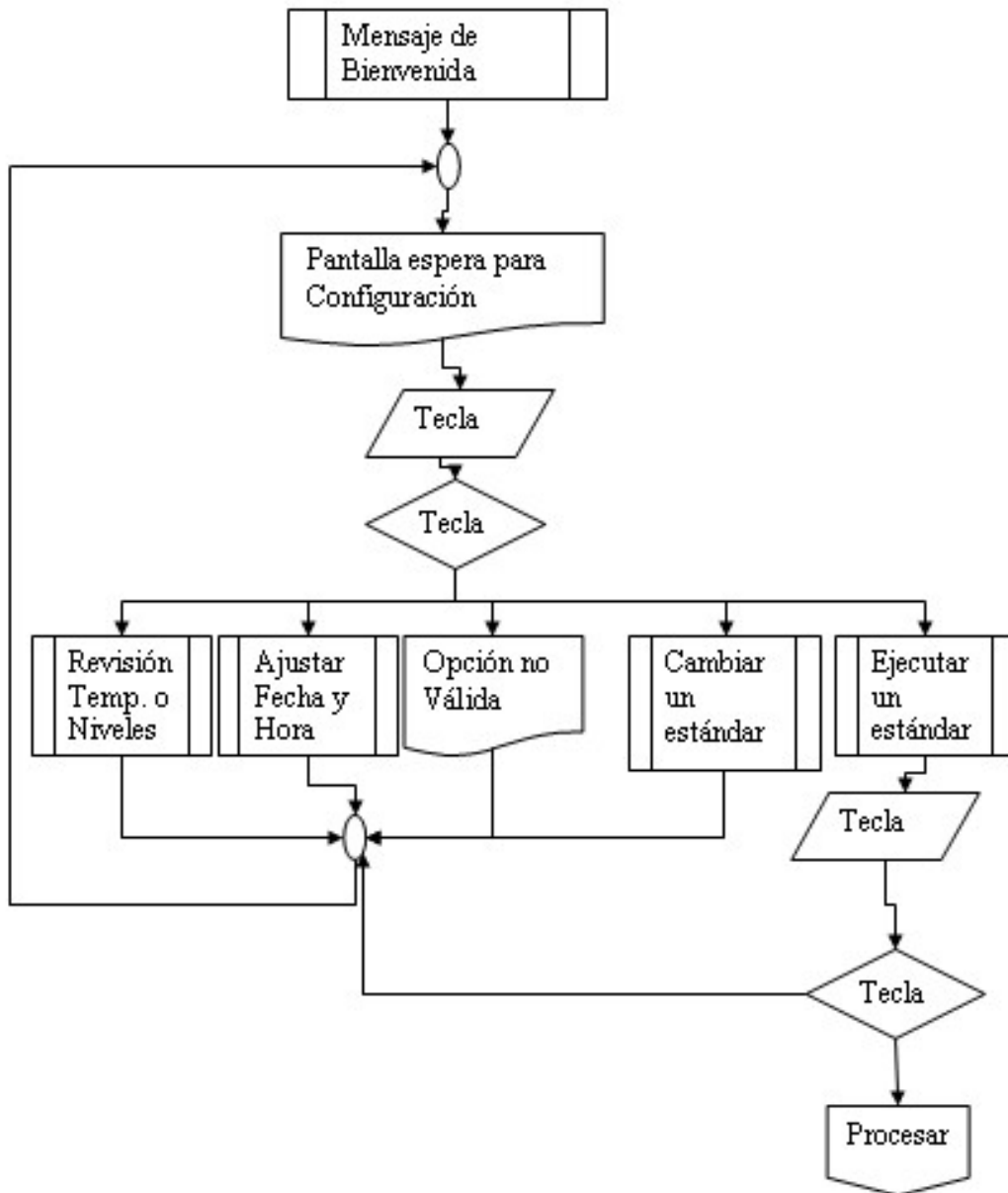


Figura 6.3 Diagrama de flujo en configuración

6.2.5 PROGRAMA PARA MANEJO DE LCD Y TECLADO (INTERFAZ CON EL USUARIO)

PROGRAMA DE LA LCD

Las instrucciones básicas necesarias para manejar la pantalla LCD son similares en todas las marcas, la principal diferencia está en los tiempos de espera que dependen el circuito integrado de la LCD que la maneja, en este caso el KS0070B de *Samsung*.

Primero se necesita inicializarla con una serie de comandos donde se determina el número de líneas, número de caracteres por línea, tamaño del caracter y tamaño del bus de datos (se puede seleccionar bus de 4 o de 8 bits).

La comunicación serial a través del registro serie/paralelo de 8 bits se puede usar para comunicar datos con un bus de 8 bits. Sin embargo, para reducir el número de pines de control del DSP, se implementa con bus de datos de 4 bits enviando por el registro este bus de datos y la señal de selección de comando o dato *RS*

Las otras instrucciones básicas para la pantalla son, entre otros, borrado, envío de dato o comando, encendido y posicionamiento del cursor.

Las instrucciones para todas las funciones básicas se encuentran en la hoja de datos de la pantalla.

Para la programación de la pantalla se tiene un bean que contiene las funciones para el manejo de todas las instrucciones de pantallas con driver compatible con Hitachi HD44780 y otras que permiten imprimir cadenas de caracteres en una sola función. Este bean funciona para manejo con bus de 8 bits y control de espera (busy), que permite determinar el fin de ejecución de una instrucción por la pantalla para poder solicitar una nueva instrucción, pero se necesita un pin de entrada por lo cual no se implementa, sólo se realizan retardos de espera que

aseguran que la pantalla no está ocupada cuando se desee enviar otra instrucción.

Una adecuación de estas funciones y la creación de otras se efectúa en un archivo que permite manejar la LCD de forma serial con tres pines del DSP: la entrada de datos del registro cuya salida es el bus de 4 bits y la señal de control RS, su reloj y la habilitación (*Enable*) con otro pin de salida.

Las funciones de imprimir en LCD son usadas por el *Main()* y por otros archivos donde se necesite informar o solicitar datos al usuario.

La figura 6.4 muestra como se realiza la impresión de una cadena de caracteres en la pantalla. Se usa una función para enviar un caracter, y se va desplazando la cadena que se desea imprimir.

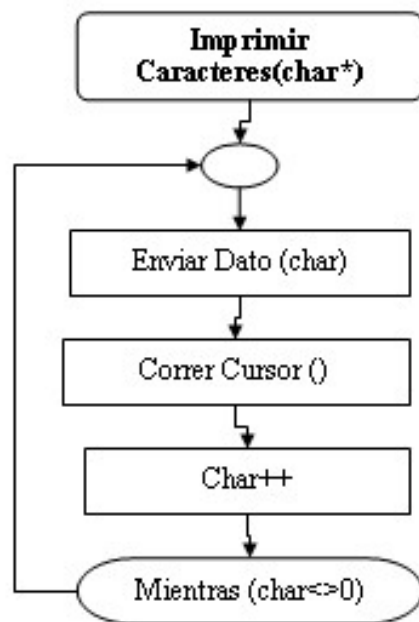


Figura 6.4 Diagrama de flujo para impresión de caracteres.

Para visualizar un caracter se envía a la LCD su código ASCII por el bus de datos junto con la señal de control *R/S* y se da un pulso de reloj con la señal *Enable*. La cadena de caracteres siempre finaliza en 0.

Además, se crean funciones para inicializar la pantalla, imprimir menús fijos como el del estado de configuración y el de la ejecución. En estos estados, se realizan actualizaciones de hora y tiempo faltante, se usa una función para ubicar el cursor en la posición que se desea ver y otras que permiten transformar los tipos de datos en caracteres para enviarlos a la LCD en código ASCII. Estas actualizaciones se hacen por interrupciones de temporizadores configurados en los beans.

El resto de funciones implementadas para ejecutar las funciones principales se encuentran en la hoja de datos de la pantalla y son implementadas en el archivo que maneja la LCD.

PROGRAMA DEL TECLADO

Para el manejo del teclado se necesitan 10 señales: 4 de las filas enviadas por el DSP serialmente y 6 de las columnas tomadas del teclado por el DSP en un pin de entrada serial. El teclado y la pantalla usan el mismo reloj.

Al igual que en la pantalla se cuenta con un bean que contiene las funciones para desplazar unos o ceros a través de las filas para un teclado de hasta 8x8, pero también funciona de forma paralela. Se realizan los cambios a estas funciones para el manejo de forma serial en un archivo.

ALGORITMO PARA DETECTAR UNA TECLA

En la figura 6.5. se presenta el diagrama de flujo donde se muestra la función principal del teclado que es decodificar una tecla pulsada retornando una variable que contiene su valor.

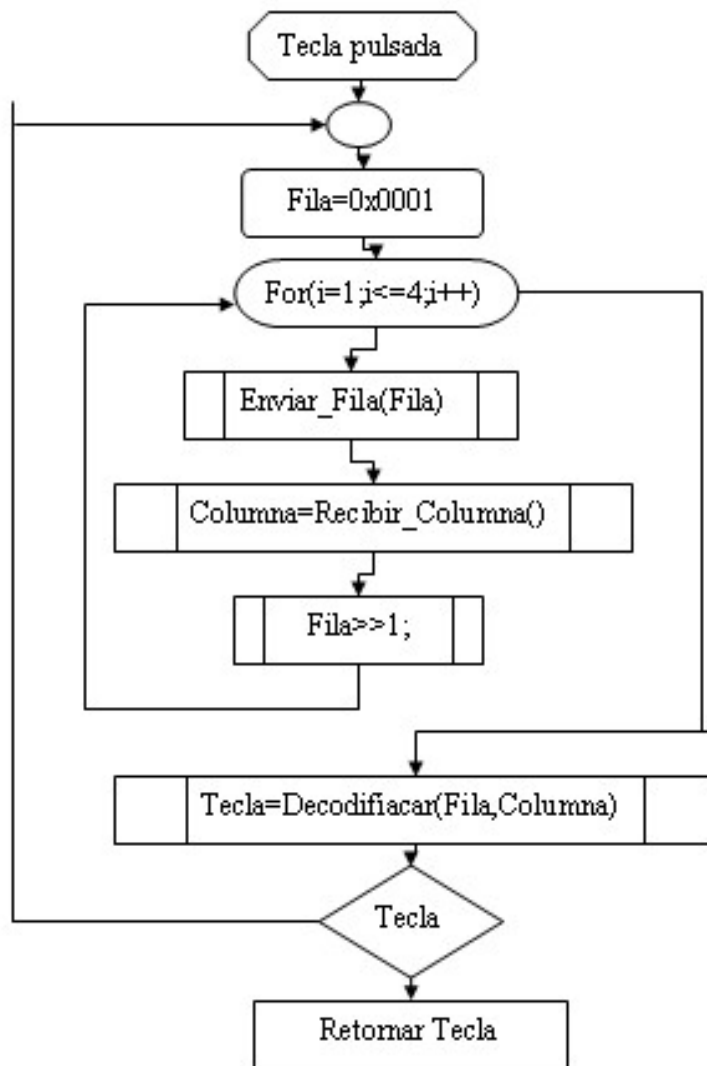


Figura 6.5 Diagrama de flujo para detección de una tecla

Utiliza las funciones Enviar Fila y Recibir columna para desplazar un uno y recibir un valor a través de la comunicación serial. Estas funciones a su vez utilizan las funciones adaptadas del *bean* del teclado. La decodificación de la tecla se hace con un sistema de selección que consta de 24 opciones, una para cada tecla.

6.2.6 PROGRAMA PARA MEDICIÓN DE NIVEL Y TEMPERATURA

El ADC del DSP cuenta con dos canales y cada uno de estos puede manejar cuatro entradas independientes por medio de un mux permitiendo obtener ocho señales de entrada configurando cada entrada como un canal independiente que van desde el ANA0 al ANA7 y se pueden configurar de forma individual o diferencial.

Para tomar la señal de los contenedores se utilizaron los canales del ANA3 al ANA7, el ANA2 para la señal del sensor de la cámara principal y el ANA0 para estar tomando el valor de la temperatura.

El voltaje de referencia $V_{REF} = 3.3 \text{ V}$, el DSP sólo permite tener alimentado V_{REF} entre 2.7 V y 3.3 V y el rango de tensión aceptado en la entrada es de 0 a V_{REF} .

El ADC es de 12 bits lo cual permite 4096 posibles estados pero para aprovechar el tamaño del bus de datos de 16 bits el DSP hace un desplazamiento de estos 12 bits, tres posiciones, entonces se tendrá ahora 32760 posibles estados y el valor obtenido en los registros vendrá dado por:

$$VIN = \frac{V_{analogo}}{V_{REF}} \times 32760 \quad ; \quad V \text{ análogo de } (0 - 3.3 \text{ V}).$$

El *bean* de ADC se configura habilitando los canales y asignándolos a cada entrada y en cada uno de estos se colocan las condiciones para la aplicación que se necesita. Se puede realizar la medición por todos los canales simultáneamente o se puede escoger cual canal habilitar para medir.

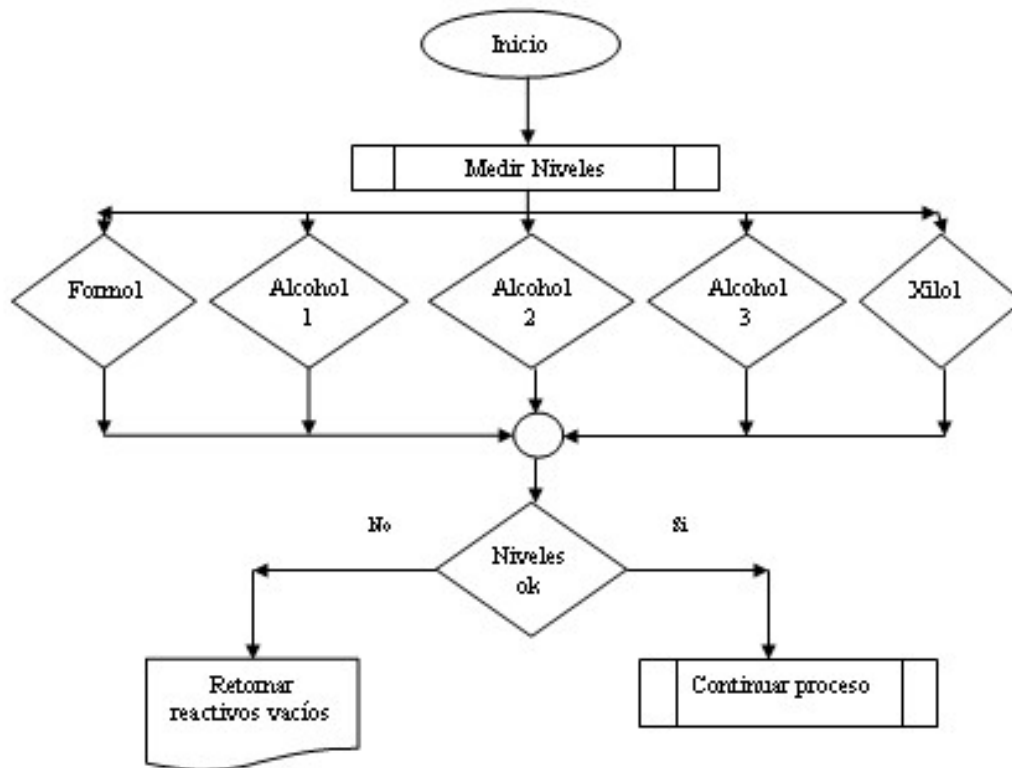


Figura 6.6 Diagrama de flujo para el control de nivel de reactivos.

Para el nivel de los contenedores se toma el valor después de una medición de todos los canales y se compara con el valor cuando no hay líquido por medio de una condición como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 6.6, permitiendo no iniciar el proceso si en los contenedores no se cumple la condición de líquido por encima del nivel mínimo permitido.

El siguiente paso es tomar la señal del sensor ubicado en la cámara principal y realizar una comparación similar a la anterior (figura 6.7), habilitando el canal 2 para la respectiva medición.

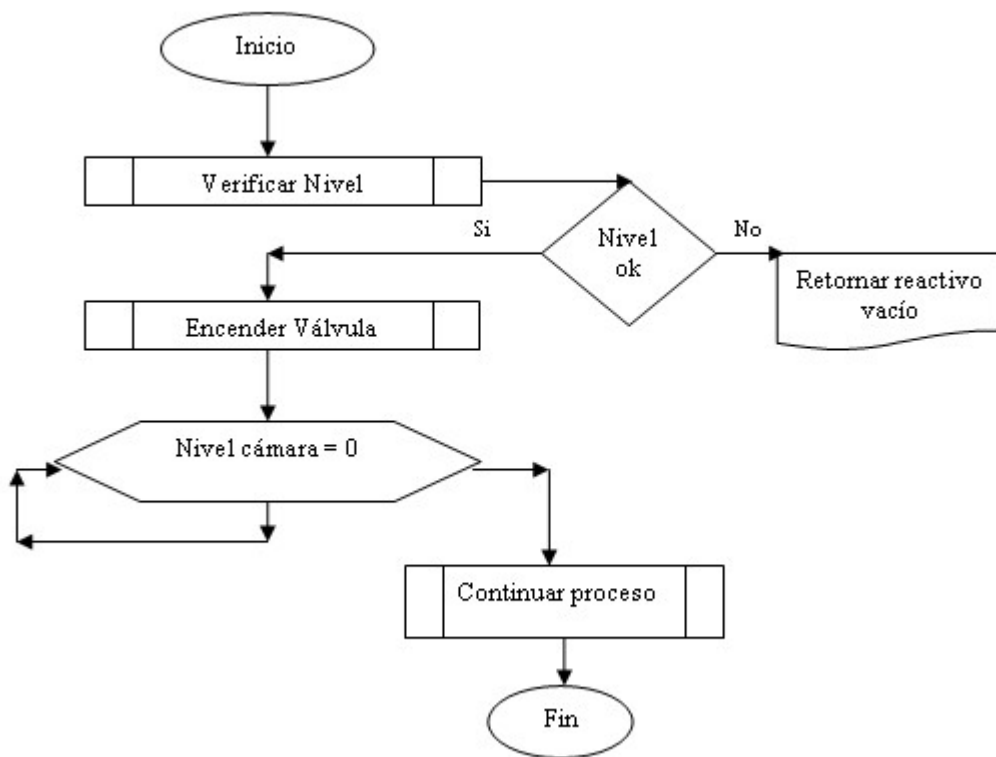


Figura 6.7 Diagrama de flujo para el nivel de la cámara de reacción.

En esta secuencia se mide continuamente y cuando el sensor detecte un valor igual al máximo posible permitido se configura una señal habilitada en un puerto de salida desactivando la electroválvula que está permitiendo el llenado de la cámara.

Al estar la cámara llena se inicia el tratamiento de las muestras y por lo tanto se procede a llevar el reactivo a 50 °C y mantener la temperatura de éste entre 45 °C y 50 °C (figura 6.8), es necesario entonces medir la temperatura por el ANA0 y configurar un límite alto y uno bajo. Si al medir se obtiene el límite alto, 50 °C, se habilita una señal de salida para desactivar la resistencia que permite calentar los reactivos, y si al medir se obtiene el límite bajo, 45 °C, se procede a activar nuevamente la resistencia.

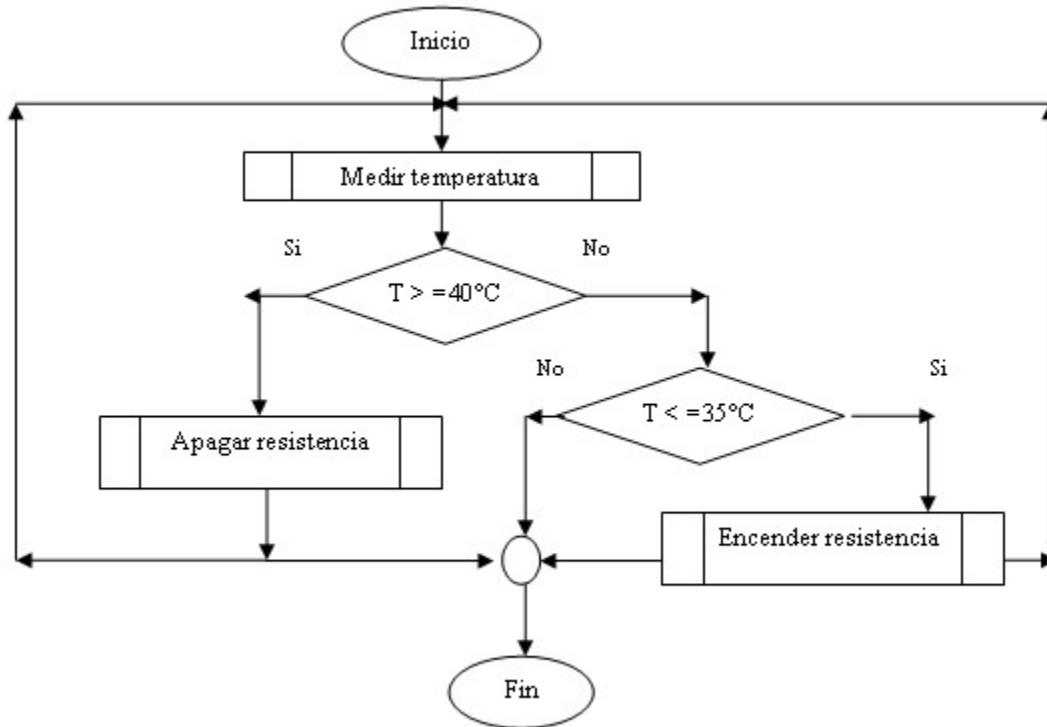


Figura 6.8 Diagrama de flujo para el control de temperatura.

Los valores de entrada al ADC serán de 450 mV y 500 mV para 45 °C y 50 °C respectivamente. Estos valores son tomados de la salida del circuito integrado AD595 utilizado para obtener la variación de la temperatura de la termocupla tipo K y amplificarla con variación de 10 mV / °C.

Se podría mantener la temperatura entre valores mas cercanos pero el proceso no lo requiere ya que el calentamiento de los reactivos a estas temperaturas se hace para acelerar el proceso, lo que si es realmente importante es garantizar que la temperatura no va a llegar a estar muy por encima de los 50 °C para evitar posibles daños en las muestras.

6.2.7 PROGRAMA PARA CONTROL DE MOVIMIENTO DE CANASTILLAS Y POSICIONAMIENTO PARA RECICLAJE.

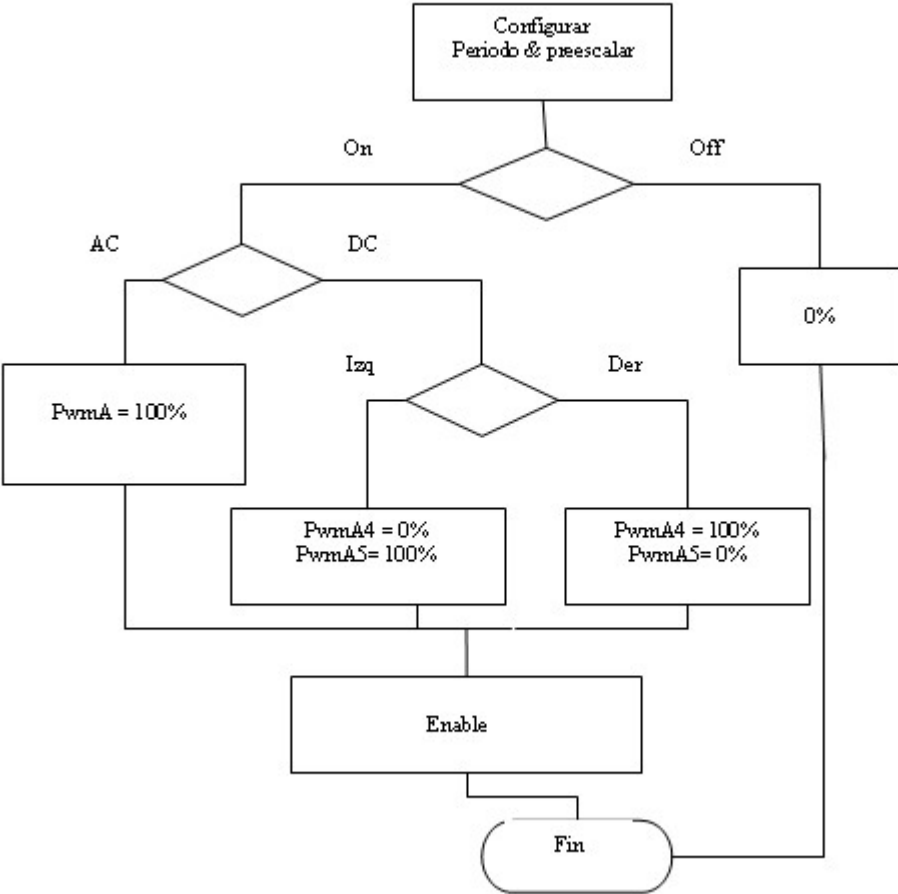


Figura 6.9 Diagrama de flujo para control de movimiento

En la elaboración del programa de control de movimiento de canastillas y posicionamiento para reciclaje, donde se requiere dar movimiento a dos motores uno de corriente directa y otro de corriente alterna, se hace uso de los beans PWMC³ y ExtInt⁴.

Inicialmente se debe configurar el periodo de PWM y el preescalar, este último permite trabajar con bajas frecuencias, para ello, se utiliza la función *Setperiod* y *Setprescaler*.

Dependiendo del proceso a ejecutar, movimiento de las canastillas o posicionamiento para reciclaje se configura cada uno de los canales, la función *setDutypercent* configura de manera independiente el porcentaje de modulación para cada canal de PWM.

La señal de control que indica que el motor dc debe parar, se aplica a un pin de entrada del DSP, esta señal genera una interrupción externa que lleva a un evento que permite deshabilitar los PWM.

Para la configuración de la señal externa se utiliza el bean *ExtInt*, y para deshabilitar la función *Disable*.

Siempre que se habilita una señal de PWM se hace por medio de la función *enable* luego de cargar los registros con nuevos valores de periodo o de porcentaje de modulación a través de la función *Load*.

³ *Pulse Width Modulation for motor control*

⁴ *External Interrupt.*

PARTE III. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

CAPITULO 7. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

7.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ CON EL USUARIO.

7.1.1 CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL

De acuerdo al diseño, la interfaz con el usuario está compuesta de una pantalla LCD alfanumérica de 2x16 y dos teclados matriciales de membrana de 3x4.

Se determina ubicar la pantalla a la parte superior izquierda y el teclado numérico en la superior derecha de forma vertical; el teclado de accesos directos se ubica en la parte inferior izquierda de forma horizontal. Esto permite tener un módulo de tamaño medio: 15 cm horizontal y 12 cm vertical, de gran facilidad de operación y con buena impresión estética para el usuario.

Para la construcción del teclado se conectan los dos de 3x4 como un matriz de 6x4, uniendo con conductores las filas de éstos. Adicionalmente, se necesitan 6 resistencias pull-up para las columnas porque se decide desplazar unos lógicos a través de sus filas. El valor comúnmente usado para estas resistencias es de 2.2 k Ω .

Por el precio y buena información disponible acerca de su funcionamiento y herramientas para su manejo se usa la pantalla 162 de *Dysplaytech*.

Esta pantalla necesita alimentación de 5 V y requiere dos potenciómetros para obtener señales análogas de contraste y backlight (iluminación de la pantalla por medio de LED), que normalmente son de 4.7 k Ω .

HARDWARE EXTERNO

La comunicación entre el DSP y el módulo es serial, necesitando un hardware externo formado por dos registros de desplazamiento, uno serial/paralelo conectado a la salida serial del DSP por el cual envía datos para la pantalla y el teclado, y uno paralelo/serial que carga datos del teclado y los desplaza a través de la entrada serial del DSP. Estos registros son 74**164 y 74**165.

Las señales de control y datos que necesita la pantalla son:

- El bus de datos y comandos que es de 8 bits con posibilidad de envío en dos grupos de 4 bits.
- Entrada de habilitación *Enable*.
- Entrada de selección de datos o comando *R/S*.

No se usa la señal de lectura o escritura porque no se necesita leer datos de la RAM de la LCD, por tanto esta señal debe ir a tierra.

Para el teclado se necesita enviar un uno lógico desplazándose por sus cuatro filas, necesitándose cuatro hilos del registro serie/paralelo, y retorna 6 señales digitales que contienen el código de la columna pulsada a través del registro de desplazamiento paralelo/serie.

Estos registros de desplazamiento deben manejar niveles 3.3 V ya que irán a entradas del DSP, de modo que se usen los circuitos integrados 74HC164 y 74HC165.

El consumo de potencia del módulo depende principalmente de la pantalla, ya que las pulsaciones de teclas son breves. Según el fabricante y lo probado por los

autores, la corriente de alimentación promedio para la pantalla es de 10 mA, y la del backlight está entre 80 mA y 140 mA dependiendo de la intensidad determinada por el potenciómetro. De acuerdo con una luminosidad considerada como buena, la corriente de alimentación en funcionamiento es de 120 mA, para un consumo de potencia del módulo de 600 mW.

En adición al diseño se usa un buzzer que suena cuando una tecla ha sido pulsada; es conectado a las columnas del teclado a través de compuertas OR ya que su nivel se eleva a nivel lógico alto cada vez que se pulse una tecla que pertenezca a esta columna. Este buzzer es pequeño, con alimentación de 5 V aproximadamente, que es la tensión de salida de la compuerta OR. Debido que son 6 columnas se necesitan dos integrados 74LS32 para construir una OR de 6 entradas.

ELABORACIÓN DE LA TARJETA

Dada la necesidad de alimentación de 5 V y 3.3 V, el hardware externo necesario y el deseo de tener el módulo independiente se decidió realizar una tarjeta de circuito impreso donde estén todos los componentes de éste:

- Dos reguladores para las alimentaciones internas: 5 V y 3.3 V. Se usan circuitos integrados TPS7150 y TPS7133, obtenidos como muestras gratis de *TEXAS INSTRUMENTS*.
- Dos resistencias de 250 k Ω y dos condensadores de tantalio de 10 μ F para los reguladores anteriores.
- Dos potenciómetros trimmer de 4.7 k Ω
- 6 resistencias de 2.2 k Ω de ¼ watt.
- Registros de desplazamiento 74HC164 y 74HC165, también obtenidos por muestra gratis de *TEXAS INSTRUMENTS*.
- Dos cuádruples OR de 2 entradas 74LS32.

En la figura 7.1, 7.2, y 7.3 se presenta el diagrama esquemático además de la tarjeta terminada (vista posterior y frontal), el diseño de la *board* se muestra en el anexo A.

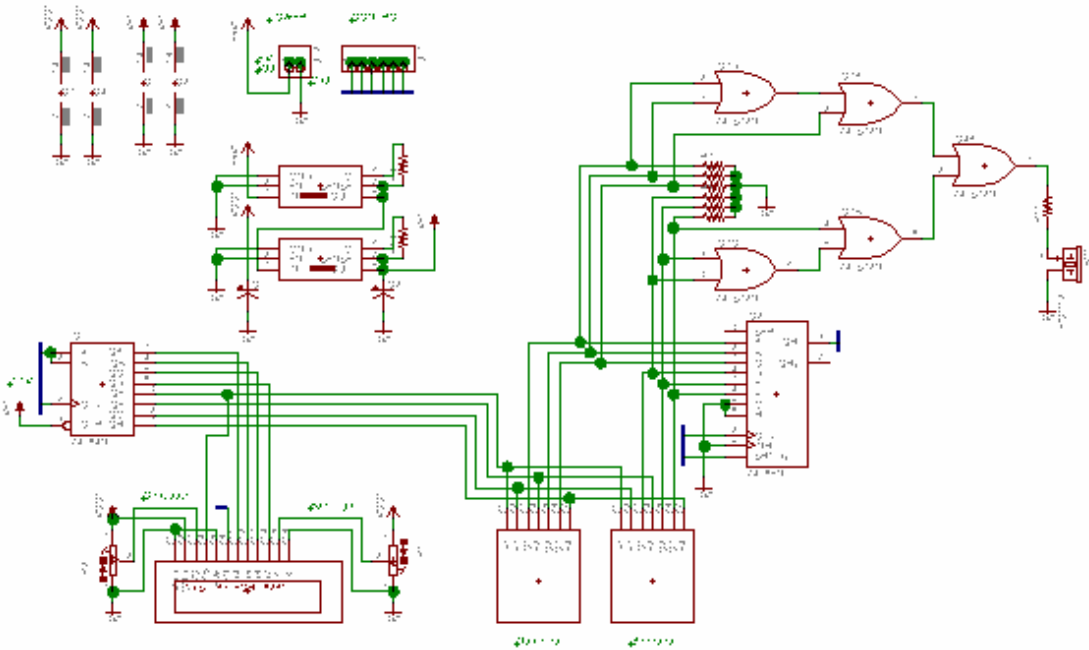


Figura 7.1 Esquema de la Interfaz con el Usuario

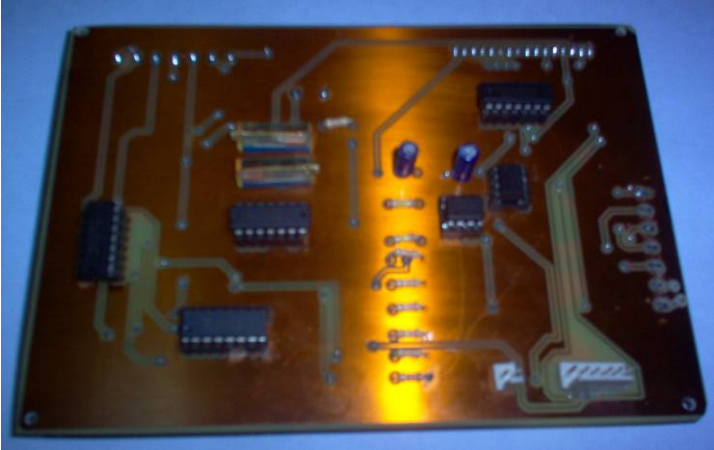


Figura 7.2 Interfaz con el usuario (vista posterior)

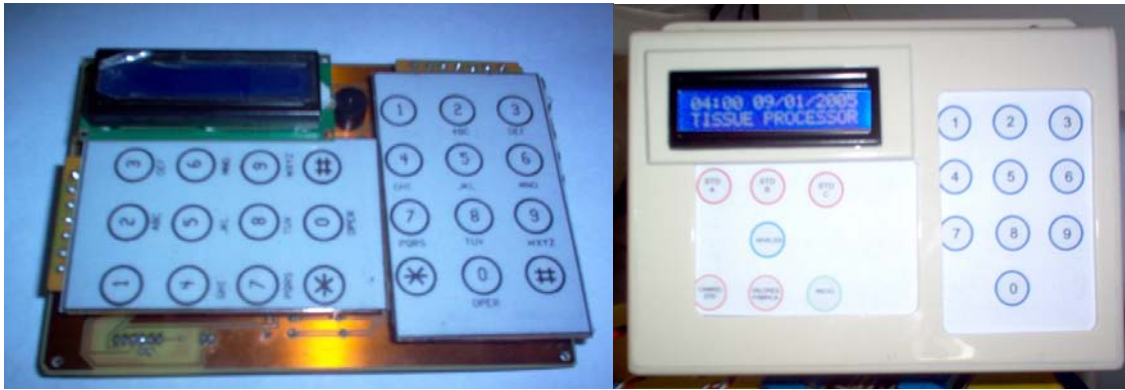


Figura 7.3 Interfaz con el usuario (vista frontal)

7.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.

De acuerdo al diseño del flujo de reactivos, movimiento de las canastillas, control de la temperatura y posicionamiento para reciclaje, elementos como las seis electroválvulas (cinco del flujo de reactivos y una del sistema de posicionamiento para reciclaje), el motor de ac encargado del movimiento de las canastillas y la resistencia de ac para el calentamiento en la cámara de reacción, necesitan de un método de accionamiento para la puesta en funcionamiento de estos elementos. Los accionamientos eléctricos son elementos que están compuestos en su totalidad de relés, los relés están conformados por una bobina y un contacto, el consumo de corriente por parte de la bobina varía de acuerdo al relé utilizado; en éste la bobina de aproximadamente 150 mH tiene un consumo de corriente de 50 mA según pruebas realizadas.

El control de las seis electroválvulas y de la resistencia de calor se hace por medio de tres señales de control provenientes del Puerto A (AO, A1, A2) del DSP, cada una de estas señales serán decodificadas con el demux 3/8 74HC138 de *Texas Instruments*, para ver el funcionamiento del integrado ir al Anexo D, hojas de datos. De las ocho señales salientes del 74HC138 son utilizadas siete de Y1....Y7. Debido a que las salidas de este integrado son negadas, es necesario poner una etapa inversora, para esta labor se hace uso del integrado 74HC14 de

Texas Instruments. Teniendo en cuenta que la bobina consume alrededor de 50 mA y que la corriente de salida del 74HC14 es del orden de microamperios (ver hoja de Datos, Anexo D), se necesita implementar una pequeña etapa de potencia que esté en capacidad de suministrar la corriente requerida por el relé. En la figura 7.4 se muestra un diseño donde el transistor está configurado como interruptor; este transistor puede ser el pn2222. La bobina en el colector simula el relé, cuando el voltaje de entrada es cero el voltaje en el colector es VCC, por tanto la bobina no conduce; si Vin está en un valor lógico alto el voltaje en el colector es cero haciendo que la bobina conduzca. En las figuras 7.5 y 7.6 se muestra las simulaciones de Vin vs Vcolector y Vin vs Ic hechas en *Orcad*.

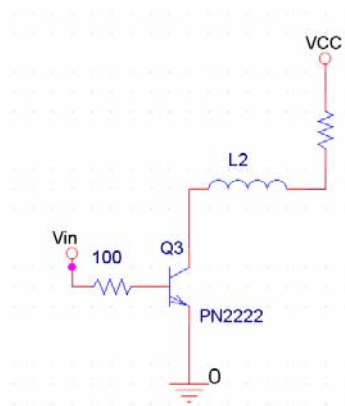


Figura 7.4 Etapa de potencia para accionamientos de los relés.

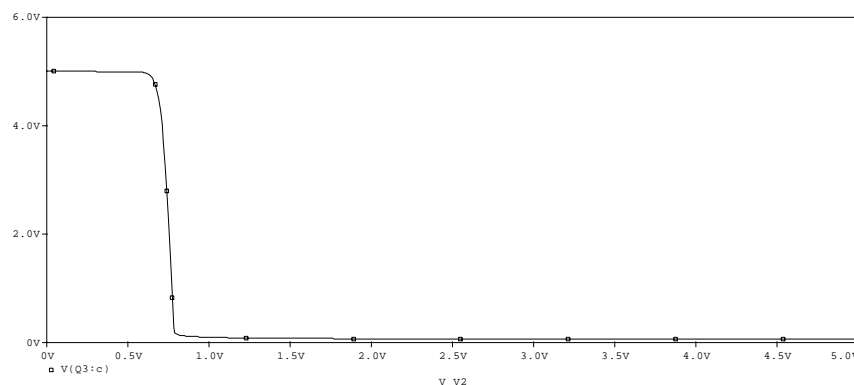


Figura 7.5 Vin vs. Vcolector

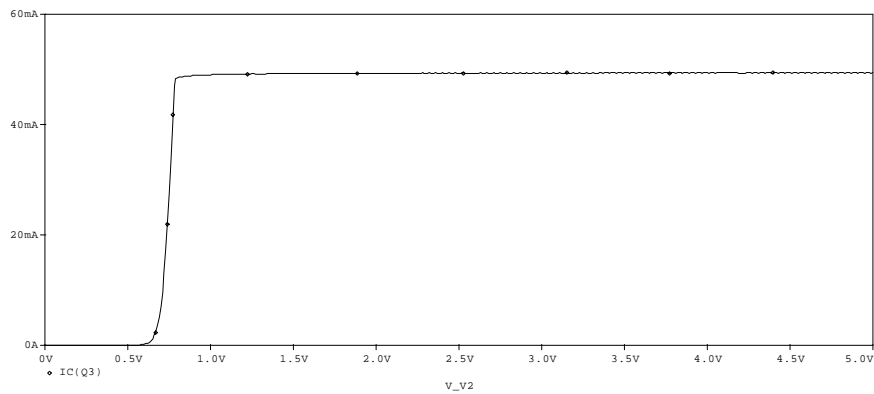


Figura 7.6 Vin vs. Ic

Como se puede observar en los gráficos de las simulaciones, la corriente que puede suministrar la etapa de potencia está alrededor de los 50 mA, suficiente para que los relés funcionen de una manera correcta.

Analizado cada uno de los anteriores aspectos en la figura 7.7 se observa como queda el accionamiento eléctrico para uno de estos elementos.

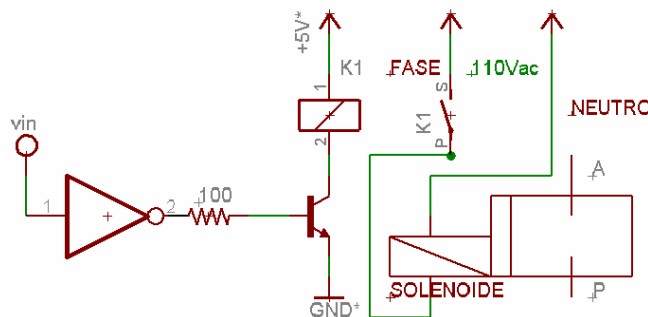


Figura 7.7 Accionamiento eléctrico para un elemento

Para realizar el montaje final de los accionamientos eléctricos, se necesita:
 2 IC 74HC14 (seis compuertas NOT), 1 IC 74HC138 (demultiplexor de 3/8),
 9 transistores PN2222, y 9 resistencias de 100 Ω.

El esquemático y la tarjeta de los accionamientos eléctricos se muestra a continuación (figura 7.8 y figura 7.9), el diseño de la board se muestra en el Anexo A.

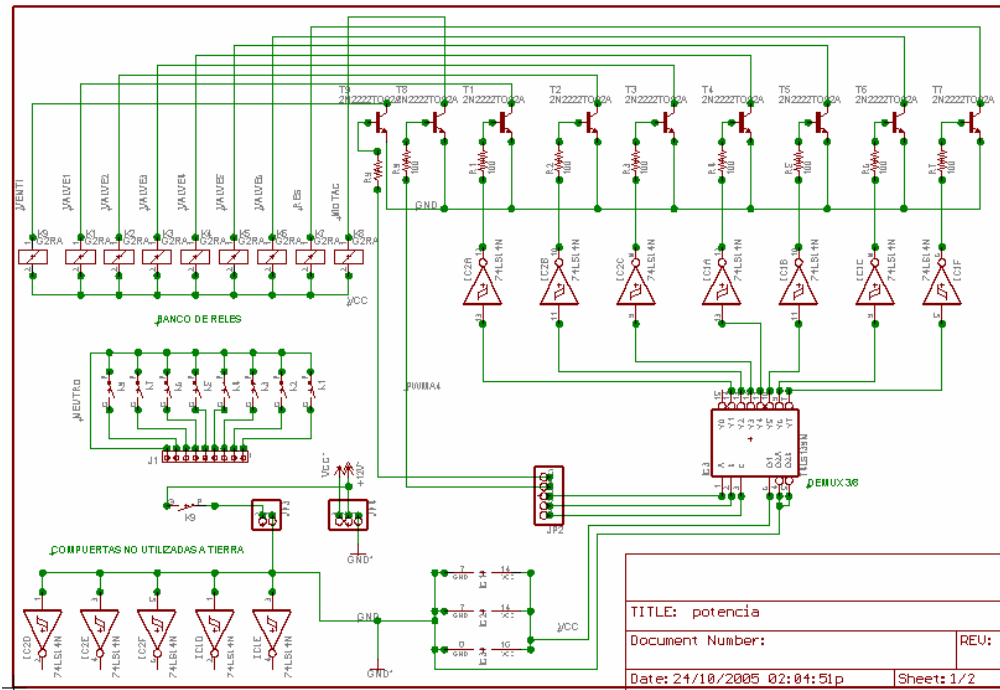


Figura 7.8 Esquema de los accionamientos eléctricos.

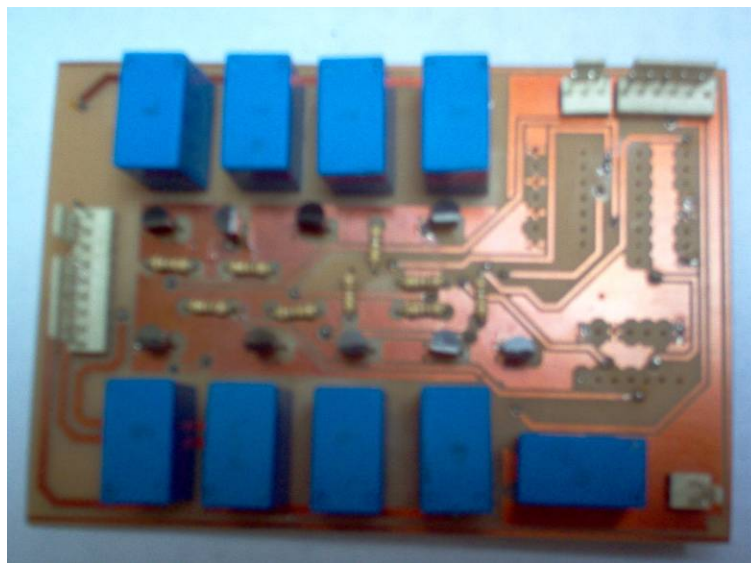


Figura 7.9 Tarjeta de los accionamientos eléctricos.

7.3 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SENSORES.

Para la implementación de los sensores se tiene en cuenta que la tensión de alimentación debe ser de 3.3 V porque ésta es la especificada para la entrada del modulo ADC del 56F801.

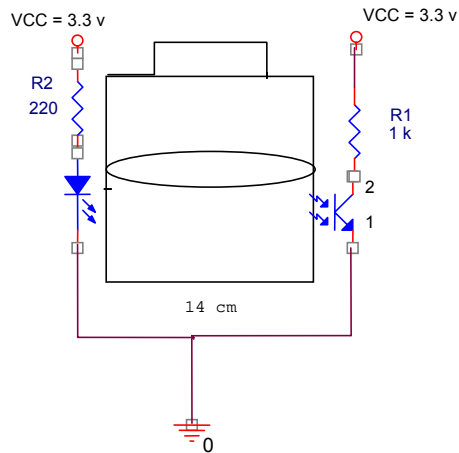


Figura 7.10 Esquema del circuito de polarización para los sensores.

En la figura 7.10 se observa el circuito de polarización utilizado para el IRED y el fototransistor. En la hoja de datos del fototransistor SHF309 (ver Anexo D) se recomienda una resistencia de 1 K Ω para obtener 1 mA de corriente de colector y un tiempo de respuesta de 5 μ s alimentando el circuito con 5 V, esto cuando toda la luz irradia el fototransistor.



Figura 7.11 Sensor implementado para medición del nivel

En la figura 7.11 se puede ver el sensor implementado para la medición de nivel, las pruebas realizadas (tabla 7.1) muestran que la corriente de colector en

oscuridad del fototransistor alimentando con 3.3 V es de 1 μ A y con la luz del IRED apuntando directamente es de 0.48 mA.

Alimentación	Cantidad de luz	V _{CE} (V)	V _{C salida} (V)	I _C (μ A)
V _{cc} = 5 V	En oscuridad	3	4.72	210
	Con emisión de luz del IRED directa	2.3	3.97	960
V _{cc} = 3.3 V	En oscuridad	1.61	3.23	10
	Con emisión de luz del IRED directa	0.99	2.79	430
	Con el recipiente interpuesto sin líquido	1.32	3.12	130
	Con el recipiente interpuesto con líquido	1.46	3.22	30

Tabla 7.1 Resultados de las pruebas del sensor implementado.

En el montaje del circuito del fototransistor se ubico un led para poder observar la variación cuando hay ausencia de líquido y también como medida de seguridad para hacer observable el daño de un sensor.

Las pruebas con el montaje de la figura 39 acoplado a los contenedores utilizados dan como resultado a la salida del fototransistor, tomada entre colector y tierra una variación de tensión de 100 mV cuando está con líquido. Este valor es suficiente para detectar si el líquido alcanzó el nivel límite, gracias a esto no es necesario ser tan estrictos en los valores obtenidos al realizar la medición por el ADC pues la única interferencia al paso de la luz es el líquido.

Las pruebas de las mediciones realizadas por los canales de ADC del DSP con los sensores montados dentro de la estructura del prototipo se muestran en la tabla 7.2.

Entrada ADC	Contenedor	Número de muestra sin reactivo en el contenedor			
		1	2	3	4
ANA2	Cámara principal	32224	32000	31880	31936
ANA3	Formol	32016	31960	31928	31800
ANA4	Alcohol 1	31840	31936	31240	31816
ANA5	Alcohol 2	31456	31480	31816	31536
ANA6	Alcohol 3	31048	31160	31024	31320
ANA7	Xilol	31236	30960	31256	31128

Tabla 7.2 Pruebas de los canales de ADC.

Como se puede observar en la tabla 7.2 las mediciones tomadas por los canales de ADC no mantienen un grado de precisión muy bueno, pero para medir con estos sensores es suficiente ya que solo tenemos que obtener un cambio de tensión en la entrada que es significativo entonces las pequeñas variaciones son aceptables. El sensor de la cámara de reacción se encuentra a una distancia de separación entre emisor y receptor mayor.

Este sistema es aplicado para la medición de nivel en los 5 recipientes que contienen los reactivos ubicados en la parte superior del prototipo. Con esta implementación se garantiza siempre que para poder iniciar un proceso se deben tener los contenedores a cierto volumen, más o menos un litro.

7.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL.

La tarjeta de control es la encargada de llevar a cabo todo el proceso del prototipo, su elemento principal es el DSP56801. Luego de realizar las pruebas con la tarjeta de desarrollo, se debe implementar el DSP como un sistema autónomo, es decir, una aplicación como tal, en este caso el sistema electrónico del prototipo para procesamiento de tejido biológico.

La tarjeta de control tiene como entrada las fuentes de alimentación, en este caso +12 V y +5 V, y se divide en el modulo de LCD & teclado que utiliza los pines del puerto B algunos como entrada otros como salida, el modulo para accionamientos eléctricos que utiliza los pines del puerto A y dos pines de PWM, el modulo hacia el sistema de posicionamiento que utiliza 2 pines de PWM un pin del puerto B configurado como entrada y el modulo para medición de nivel y control de temperatura que llega a los siete entradas de ADC con que cuenta el DSP.

El diseño de la tarjeta tiene como base la utilizada por [Ruidiaz y Tijaro, 2005] a diferencia de que aquí se implementa como un sistema autónomo, adicionalmente se ubican nuevos circuitos integrados para realizar cada una de las tareas ya mencionadas en secciones anteriores. Entre los circuitos integrados adicionales están:

- TPS7133, Regulador a 3.3V que sirve como fuente de alimentación al DSP.
- KA3082, Puente H, utilizado para control de motor dc en sistema de posicionamiento para reciclaje.
- AD595, Amplificador de instrumentación utilizado para la medición de temperatura.

En la figura 7.12 y 7.13 se muestra el esquema y la tarjeta de control, en el anexo A se puede ver la *board*.

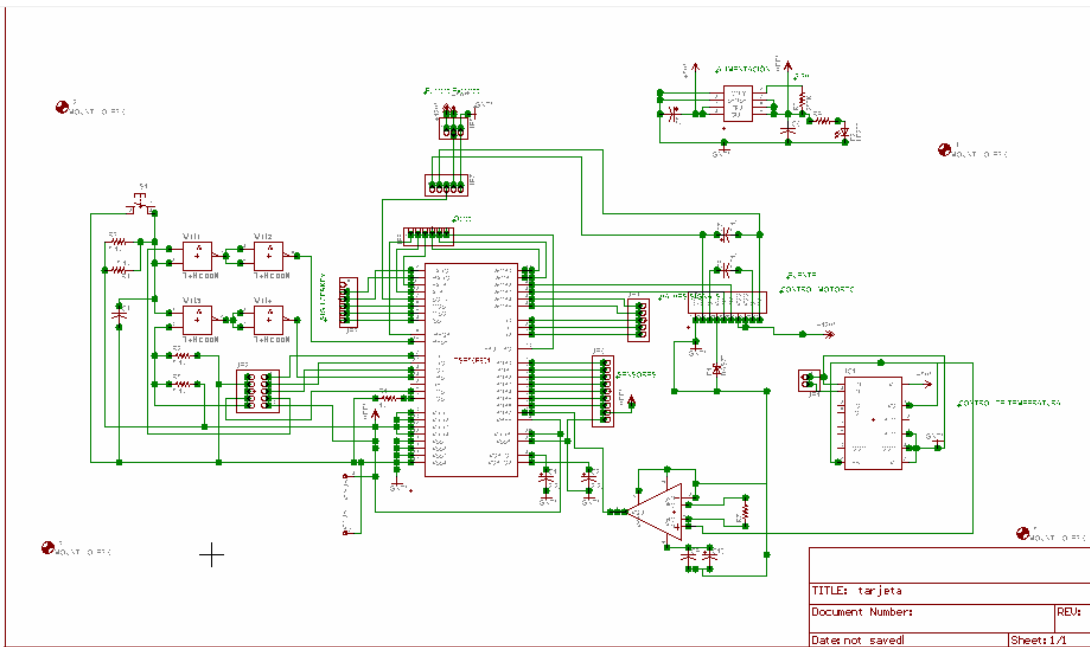


Figura 7.12 Esquema del controlador Principal

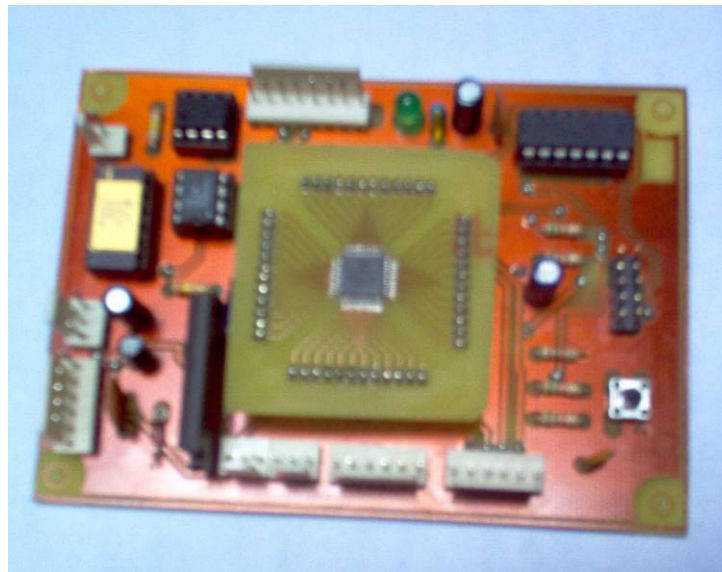


Figura 7.13 Tarjeta de Control.

CAPITULO 8. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO

8.1 FLUJO DE REACTIVOS

Teniendo en cuenta las consideraciones en el diseño, se necesita adquirir cinco electroválvulas, las válvulas adquiridas se pueden ver en la figura 8.1, son marca E.B.C, su consumo de corriente es de 75 mA y una potencia de 8.5 W, soportan presiones desde 0.5 a 10 Kg/cm², el tipo de rosca es NPT de ¼”.



Figura 8.1 Electroválvulas empleadas para el flujo de reactivos

Para hacer las conexiones a cada uno de los contenedores, se utiliza un par de racores y se unen por medio de una manguera flexible ajustable a los racores. Para evitar fugas de líquidos se puede usar abrazaderas para las mangueras. En la figura 8.2 se puede observar el acople explicado.



Figura 8.2 Acople entre válvula y manguera

Realizando las pruebas con agua, el flujo de líquido de los contenedores, hacia la cámara principal con un volumen de 3 Litros, que es el volumen hasta el nivel del sensor principal, se hace en 12 minutos, lo que da un caudal de 0.25 litros por minuto.

8.2 MOVIMIENTO DE LAS CANASTILLA

Para el movimiento de las canastillas se adquirió un motor de ac, este motor se consigue en el mercado como un generador síncrono cuya velocidad nominal es de 6 r.p.m. El motor tiene la ventaja de permitir rotación tanto en sentido horario como en sentido antihorario, ya sea por medio de un tope mecánico o el envío de un pulso eléctrico; en el montaje se hace uso de un tope mecánico.

Para el acople con el portacanastillas se hace necesario mecanizar una pieza para que realice la labor y no permita que algún reactivo se filtre, en la figura 8.3 se observa el motor con el acople mecánico.

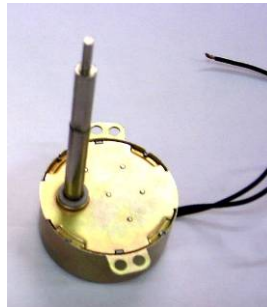


Figura 8.3 Motor ac para movimiento de las canastillas

Para la elaboración del portacanastillas se utilizó material plástico, la capacidad por nivel es de 32 canastillas, en la figura 8.4 se observa el portacanastillas acoplado a la cámara de reacción.



Figura 8.4 Portacanastillas dentro de la cámara de reacción.

Finalmente se hace el acople del motor a la cámara de reacción. Ver figura 8.5.



Figura 8.5 Acople mecánico entre el motor y la cámara de Reacción.

8.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN

El sistema de ventilación está compuesto por un ventilador y un electroimán alimentados a 12 V, ubicados sobre la tapa de la cámara de reacción como se muestra en la figura 8.6.

El desplazamiento de la tapa secundaria activada por el electroimán es de una corta distancia lo cual permite el flujo del aire, también es importante que en la tapa de la cámara de reacción se ubique un material transparente que permita visualizar como ocurre el proceso en ésta.



Figura 8.6 Tapa principal con el electroimán.

La bobina del electroimán que acciona la tapa que cubre el ventilador es de 43.62 mH y la corriente que circula por ésta es de 125 mA.

8.4 POSICIONAMIENTO DE LA ELECTROVÁLVULA

Cada uno de los elementos necesarios para el sistema de posicionamiento y de cuales se hace referencia en el capítulo 4 (Diseño del sistema electromecánico) y los elementos que han sido adquiridos para el montaje se pueden ver en la figura 8.7; el motor dc (izq), electroválvula UNI-D (der.) y fotosensor (centro), las características de cada uno de estos elementos se muestran en el Anexo D.

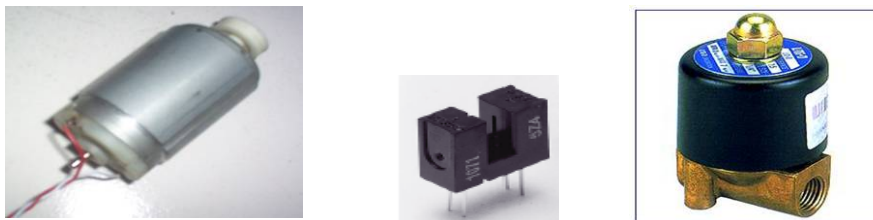


Figura 8.7 Elementos para el sistema de posicionamiento de la electroválvula.

Se midió el tiempo que tarda en desocupar los 3 litros de la cámara de reacción arrojando como resultado un tiempo de 6.5 minutos, lo que indica un caudal de 0.4685 Litros por minuto.

Para hacer uso del sensor es necesario polarizarlo, en la figura 8.8 se muestra el esquema propuesto y usado para tal fin, según pruebas, cuando el fotosensor se encuentra libre, la salida tomada del emisor del fototransistor está en alto (4.8 V

sin carga, y con carga, es decir con un led indicador, la salida es de 2.5 V), y cuando el fotosensor es interrumpido la salida es de cero).

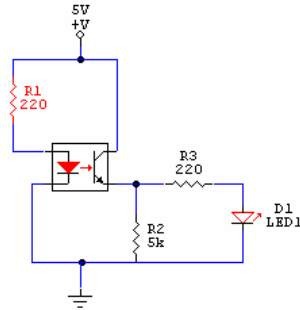


Figura 8.8 Circuito de Polarización para el fotosensor del sistema de posicionamiento

El sistema para posicionamiento construido con bases hechas en material acrílico y con barras de acero inoxidable se puede ver en la figura 8.9.

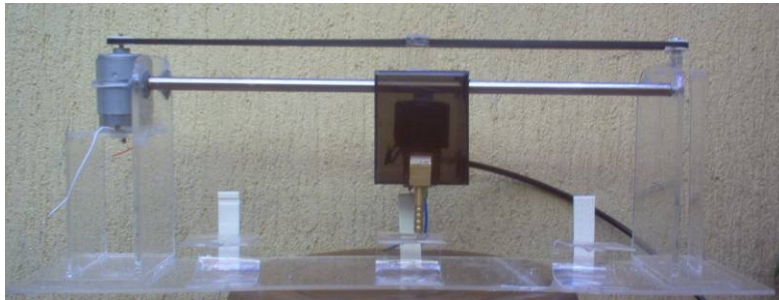


Figura 8.9 Sistema de posicionamiento para reciclaje terminado

CAPITULO 9. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO

La implementación de la estructura del prototipo se hizo en material de lámina de acero calibre 18, esto por su economía, la resistencia y duración que el material brinda; para la presentación se usa pintura de tipo laca color crema, para dar más durabilidad al prototipo.

En la figura 9.1 se observa la estructura del equipo tanto en la etapa de construcción como en la etapa de terminado.



Figura 9.1 Estructura del prototipo

PARTE IV. PRUEBAS Y RESULTADOS FINALES

CAPITULO 10. PRUEBA EN EL LABORATORIO DE PATOLOGÍA

Una vez construido el prototipo se procedió a realizar la primera prueba en el laboratorio de Patología de la Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander. Para poder visualizar todas las variables se realizó una ejecución asistida por computador, utilizando la herramienta *Debug* de *CodeWarrior IDE*, que permite la ejecución del programa desde el software y en la cual se pueden ver todas las variables del programa, ejecutar procesos paso a paso y omitir o efectuar nuevamente instrucciones.

Esta fue la primera prueba que se hizo con reactivos y tejidos reales, ya que su manipulación debe estar asistida por personal técnico del laboratorio, pues el Xilol es altamente tóxico y debe realizarse en instalaciones adecuadas y con la protección necesaria para el procesamiento, debido a los vapores que se producen en la cámara de reacción.

Antes de iniciar el proceso se configuraron los siguientes tiempos por medio de la interfaz con el usuario, teniendo en cuenta que las muestras no son frescas y el rango de temperatura es de 45 °C a 50 °C:

Fijación:

Formol 10% 120 min

Deshidratación gradual:

Alcohol 50% 70 min

Alcohol 70% 70 min

Alcohol 95% 70 min

Aclaramiento:

Xilol 70 min

Se tomó como referencia para estos tiempos, un estándar dado en el libro Laboratorio de Anatomía Patológica [García Raimundo], que se muestra en las tabla 10.1.

Baños***	Tiempo para procesamiento*	
	Manual	Automático
Formol 10 por 1000	2 horas	2 horas
Etanol al 70%	2 a 4 horas	2 horas
Etanol al 96%	2 horas	2 horas
Etanol absoluto	1 a 2 horas	1 horas
Etanol absoluto	1 a 2 horas	1 horas
Etanol absoluto	1 hora	1 horas
Xileno	1 hora**	1 hora
Xileno	1 hora**	1 hora
Xileno	1 hora**	1 hora
Tiempo total	16 a 22 horas	16 horas

Tabla 10.1 Tiempos para procesamiento

* Los tiempos reflejados son de referencia en nuestro laboratorio, pero pueden ser modificados.

** Los tres baños de aclaramiento pueden ser sustituidos por dos de cloroformo de 2 horas de duración cada uno.

*** Los tiempos de permanencia en cada baño están en función del tamaño de la muestra.

También se usó la tabla 10.2, tomada del mismo libro, como referencia para un procesamiento rápido elevando la temperatura.

Se tuvo en cuenta, además, las recomendaciones de tiempos dadas por los técnicos del laboratorio, quienes trabajan con temperatura de 80 °C y tiempos mucho menores, aproximadamente 30 min cada proceso.

Baños	Tiempo para procesamiento**		
	Rápido Manual	En horno microondas*	
		Tiempo	Intens
Formalina tamponada	30 min a 60°C	3 min	25%
Etanol al 70%	30 min a 60°C	5 min	25%
Etanol al 96%	30 min a 60°C	5 min	25%
Etanol absoluto	30 min a 60°C	5 min	25%
Etanol absoluto	15 min a 60°C	-	-
Etanol absoluto	15 min a 60°C	-	-
Etanol-acetona	15 min a 60°C	-	-
Acetona	15 min a 60°C	-	-
Xileno o tolueno	15 min a T ambiente	5 min	25%
Xileno o tolueno	15 min a T ambiente	5 min	50%
Xileno o tolueno	15 min a T ambiente	10 min	50%
Tiempo total	5 horas 30 minutos	38 minutos	

Tabla 10.2 Procesamiento rápido

* Según protocolo realizado en el hospital Nuestra Sra. De la Esperanza, Barcelona.

** Válido tan sólo para material fresco no fijado.

Se realizó el procesamiento con 28 tejidos entre quirúrgicos y necropsias. No se realizó ninguna biopsia por ser la primera prueba.

Sólo se le pudo hacer corte y coloración a 10 de estas muestras, debido al tiempo requerido y la necesidad de realizar otros procesamientos para diagnósticos por parte de los técnicos del laboratorio.

La revisión microscópica por parte de dos residentes de Patología mostró que algunos tejidos presentaban mejores características de las que normalmente se tienen con el procesamiento manual pero en otras hubo falta de deshidratación. Además, las de mejores características fueron necropsias, que ya vienen con algún grado de fijación

La recomendación de los expertos fue elevar el rango de temperatura, de 50 °C a 55 °C, y aumentar los tiempos de fijación y deshidratación.

Con este concepto se puede determinar que el procesamiento con el prototipo funciona, aunque necesitan realizarse los ajustes de tiempo y temperatura, y efectuar nuevas pruebas.

CAPITULO 11. CARACTERIZACIÓN DEL EQUIPO.

DIMENSIONES DEL EQUIPO

- Alto 123 cm, Ancho 70 cm , Profundidad 54 cm

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

- Conexión a un toma de corriente de 110 VAC a 60 Hz.
- Conversión interna de 5 VDC y 12 VDC.
- Consumo de potencia de 450 W.

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

- Pantalla LCD alfanumérica de 2 líneas de 16 caracteres, con visualización de tiempo faltante para cada proceso.
- Teclado numérico para programación de tiempos de 1 a 240 minutos con accesos directos para ejecución de estándares programados y medición de niveles.
- Grabación en memoria flash de tres estándares.
- Agitación de los tejidos y control de temperatura.
- Cámara de reacción con portacanastillas para 32 unidades en un solo nivel y de capacidad 6 litros.
- 5 recipientes contenedores y tres recicladores con capacidad de 5 litros cada uno.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mejorar los tiempos de llenado de la cámara de reacción usando electroválvulas con un orificio más grande en los contenedores. Se pueden usar electroválvulas UNI-D de 1/4" como la usada para el reciclaje de reactivos, pues su tiempo de vaciado equivale a la mitad del tiempo de la electroválvula EBC usada para cada contenedor, el sistema de tuberías no se afecta debido a que es compatible. Esto aumenta el precio del prototipo y el tamaño requerido para su ubicación
- Para evitar posibles derramamientos de reactivo en los recicladores por errores del operario al no desocuparlos después de un proceso, se pueden medir estos niveles al inicio con sensores iguales a los usados en los contenedores. Sin embargo, esto requiere nuevos canales análogos, lo cual implica adicionar hardware o el uso de un controlador con más entradas ADC.
- Para aumentar la capacidad de canastillas y por ende el número de tejidos por proceso se recomienda implementar uno o dos niveles más, es así que la nueva capacidad incrementaría a 64 o a 96, en consecuencia, los sensores de nivel para la cámara de reacción serían de dos más, implicando la necesidad de dos canales más de ADC o la implementación de un circuito comparador que permita hacer las lecturas por un canal o la utilización de un sensor de nivel de carácter continuo que elevaría el costo del prototipo.

CONCLUSIONES

- Partiendo del análisis de un proceso que se hace de forma manual se diseñó y se construyó el sistema electrónico, electromecánico y estructural de un prototipo para procesamiento automático de tejido biológico que satisface los requerimientos necesarios para el procesamiento histológico de tejidos. Tanto el diseño como la construcción se fundamentaron en técnicas de control digital para la operación de cada etapa del proceso y en la optimización de costos para la consecución de la materia prima para el desarrollo del prototipo.
- El procesamiento histológico de tejidos tiene como fin obtener un fragmento de tejido apto para su observación microscópica y comprende los pasos de fijación, inclusión, corte y coloración. Las técnicas usadas para estos pasos varían con el tipo de tejido y el análisis requerido. Con el prototipo se realiza la fijación y la preparación para la inclusión en parafina mediante baños en reactivos: se fija con formol, se realiza una deshidratación gradual con Alcohol y un aclaramiento con Xilol. Los tiempos de permanencia en cada baño varían con el tamaño de la muestra, la impregnación del reactivo y su temperatura. El prototipo ejecuta automáticamente la temporización de los baños, el cambio de reactivos, realiza una limpieza por secado eliminando los restos del reactivo anterior, mantiene en movimiento y en un rango de temperatura los tejidos facilitando la impregnación y acelerando los procesos. Este proceso automático permite dar un tratamiento homogéneo a todos los tejidos, disminuyendo los errores del procesamiento manual.

- Se desarrollaron los algoritmos necesarios para la visualización en la LCD, la entrada de datos por teclado, las temporizaciones, las mediciones con los sensores y el control de las electroválvulas, los motores y el sistema de limpieza. La programación de los algoritmos se elaboró en lenguaje C y se implementaron en el DSP por medio de *CodeWarrior IDE* utilizando *Processor Expert*. Se realizaron las pruebas con hardware de forma independiente por medio de archivos que luego se unieron en un proyecto *Processor Expert. Stationery*, que se probó con el control del prototipo en procesamientos completos obteniendo los resultados esperados.
- Se diseñó y construyó una interfaz con el usuario del prototipo, con un teclado que le permite realizar configuraciones, revisiones y ejecutar procesos, y una pantalla LCD que le guía visualmente durante su operación. Esta interfaz es un módulo de comunicación serial síncrono, basado en registros de desplazamiento que permiten manejar buses de datos, disminuyendo considerablemente el número de líneas necesarias para su manejo.
- Durante las pruebas de las mediciones con los sensores se estableció que la precisión de los ACD del DSP56801 no es buena, aproximadamente de 50 mV. En la medición de niveles esta baja precisión no es crítica, porque los sensores presentan cambios altos de tensión, alrededor de 150 mV. Por el contrario, la variación de temperatura es de $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ requiriendo una mayor precisión, que se logró aumentando al máximo el tiempo de conversión que es de $6.8 \mu\text{s}$ y elevando a 255 el número de mediciones para calcular una medida promedio, obteniéndose una precisión de 3 mV a costa de un tiempo de medida de 1.7 ms. Este tiempo no afecta el proceso dado que la variación de nivel y temperatura en la cámara es lenta, sin embargo, esto no se puede hacer en medición de señales donde se necesiten altas velocidades de conversión con los ADC.

BIBLIOGRAFÍA

[Flórez y Herrera, 2004] FLOREZ Jairo Iván y HERRERA Shirley Paola. Diseño y construcción de un prototipo de un medidor de armónicos de corriente basado en un procesador de señales digitales (DSP). Bucaramanga, 2004. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Industrial de Santander. Facultad Físico Mecánica. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

[Ruidiaz y Tijaro, 2005] RUIDIAZ Yair , TIRADO Omar. Analizador de espectros portátil utilizando la familia DSP5680x de Motorola. Bucaramanga, 2004. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad Industrial de Santander. Facultad Físico Mecánica. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

[Raimundo García] GARCÍA del Moral Raimundo. Laboratorio de anatomía patológica. McGraw Hill - Interamericana de España. Madrid, España. 1993.

[Motorola, DSP56F800 Family Manual, 2003] *Motorola digital dna, DSP56F800 16-Bit Digital Signal Processor (PDF), DSP56F800FM/D, 03, 2003.*

[Motorola, DSP56F800 User Manual, 2004] *Freescale semiconductor, DSP56F800 User Manual, 56800 Documentation(PDF), DSP56F801-7UM, 06, 2004.*

[Motorola, DSP56F801] *Motorola digital dna, 56F801 16 bit Hybrid Processor. Technical Data, Data Sheets DSP56F801, DSP56F801, 7, 2002.*

[Motorola, DSP56F801EVMUM, 2003] *Freescale Semiconductor, 56801 Evaluation Module "hardware" User's Manual. Technical Documentation, DSP56F801EVMUM (PDF) Application Notes, DSP56801EVMUM, 02, 2003.*

ANEXOS

ANEXO A. ELABORACIÓN DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS PARA EL PROTOTIPO DE PROCESAMIENTO DE TEJIDO BIOLÓGICO




Para el montaje del proyecto⁵ en general, se hace necesario implementar tres tarjetas⁶, en la elaboración de cada una de las tarjetas impresas, se hizo uso de la herramienta software EAGLE v4.01


Cuando se abre un nuevo proyecto, hay tres opciones: Schematic, Board y Library. La primera, como su nombre lo indica, es para crear dibujos esquemáticos, la segunda para la elaboración de la tarjeta como tal, y la tercera empleada cuando no se tiene referencia de algún elemento.

Al iniciar un nuevo proyecto se debe tener que cada uno de los circuitos integrados que se utilizan se encuentre en las librerías que vienen con el software, si no es así, la opción library se emplea para crear librerías donde se puede incluir los elementos faltantes.



En esta sección se presenta una breve descripción de cómo se elaboraron cada una de las tarjetas impresas, así como el manejo del software para tal fin.

Elementos como el DSP56801, el Puente H (KA3082), reguladores de voltaje (TPS7133 y TPS7150), y los teclados, no se encuentran en la base de datos del software, en consecuencia se debe crear la librería.

Cuando se crea una nueva librería tengo tres opciones; symbol , package , device , con lo que se implementan símbolos esquemáticos, paquetes y dispositivos, respectivamente.

Lo primero que se hace es el símbolo, en la figura A.1 se muestra la ventana donde se trabaja esta parte, allí se puede ver el símbolo del DSP que consta de 48 pines, el contorno del símbolo se hace con el comando wire  que permite al

⁵ Diseño y Construcción de un prototipo para procesamiento de tejido biológico.
⁶

usuario dar la forma que desea al símbolo, cada uno de los pines se puede incluir con la herramienta Draw pin , esta herramienta permite direccional en pin, es decir, si es de entrada, de salida, o entrada/salida, finalmente para diferenciar un pin de otro se nombra con el comando name .

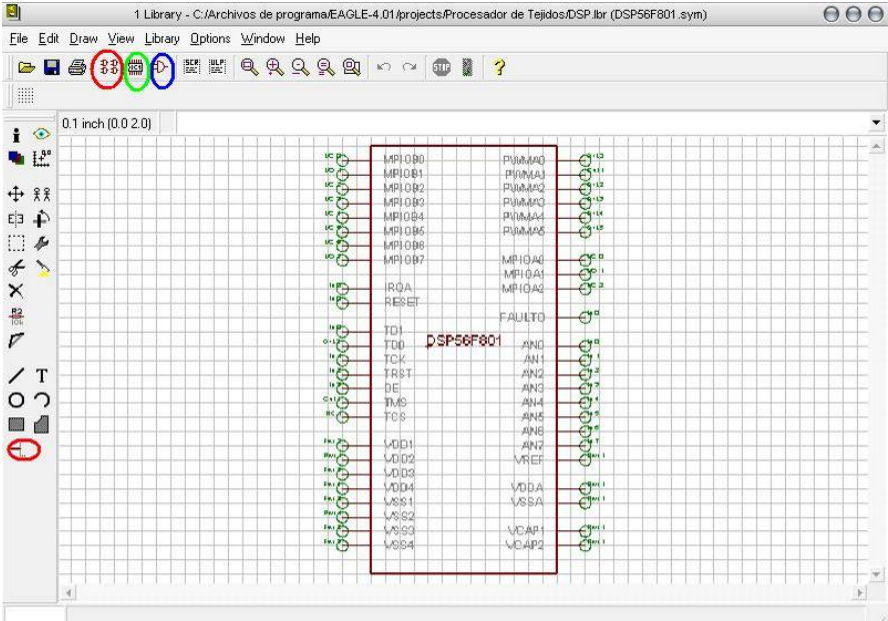




Figura A.1 Símbolo del DSP56801

Ahora que se tiene el símbolo esquemático, se debe crear el paquete, en la figura A.2 se ve el paquete del DSP56801, se debe aclarar que el integrado del DSP en mención en de tipo superficial, pero para facilidad del proyecto se hace una adaptación como la de los integrados DIP, como se ve en la figura A.2, para este caso la herramienta que se utiliza es Pad , en caso de montaje superficial se usa smd .

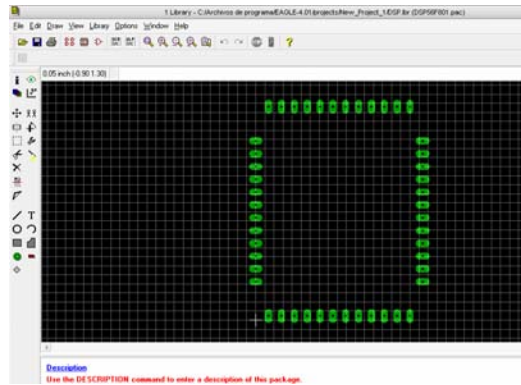


Figura A.2 Paquete para el DSP56801

Finalmente, se crea el dispositivo, allí se hace coherente el símbolo con el paquete, es decir se usa la herramienta connect para conectar los pines del símbolo y el paquete, en la figura A.3 se observa el dispositivo completo para el DSP56801

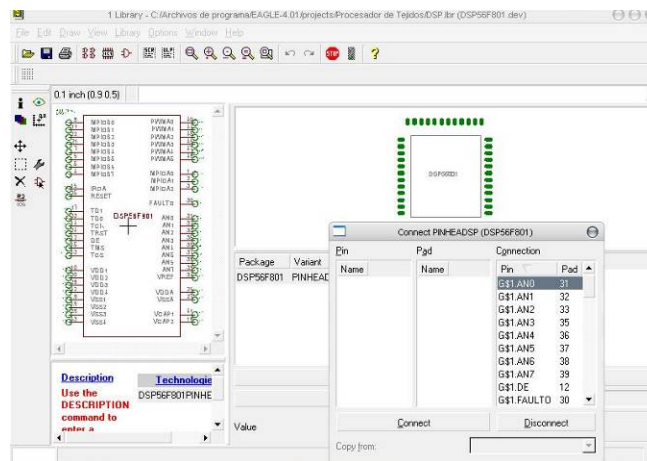





Figura A.3 Dispositivo para el DSP56801

Con las librerías en su totalidad, se crea el esquemático donde se agregan los elementos uno a uno con el comando add , una vez agregado todos los elementos se hacen las conexiones con net .

Los esquemas se puede ver en el capítulo 7, controlador principal (figura A.4), tarjeta de accionamiento eléctrico (figura A.5) e interfaz con el usuario (figura A.6).

Para la elaboración de la board, se puede partir del esquemático y con la herramienta board , para detalles de cada uno de los comandos referirse al tutorías publicado por el creador⁷

A continuación se muestra cada una de las tarjetas obtenidas a través del software, en las figuras A.4 a A.5, se ve tanto la capa superior como la capa inferior y la posición de los elementos en cada una de los circuitos impresos.

ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.

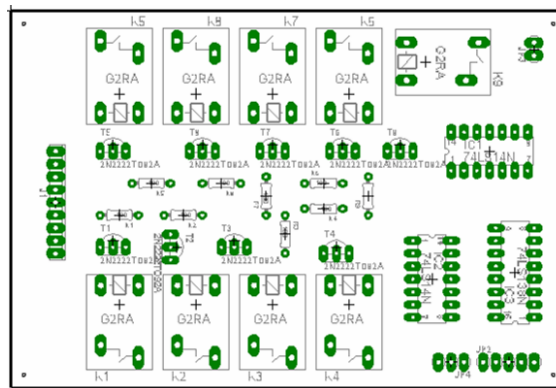


Figura A.4 Elementos de los accionamientos eléctricos dentro de la tarjeta

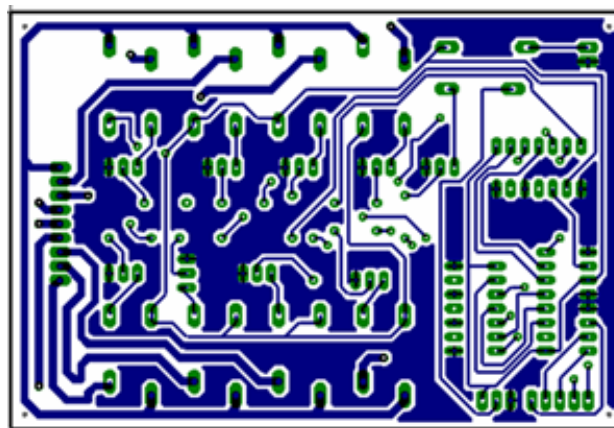


Figura A.5 Capa inferior de los accionamientos eléctricos

⁷ EAGLE 4.0 para Linux y Windows Tutorial CadSoft Computer, Inc. www.cadsoftusa.com Copyright © 2000 CadSoft Todos los derechos reservados

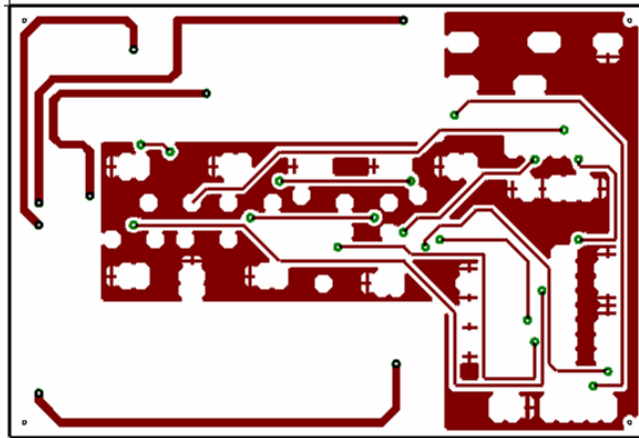


Figura A.6 Capa superior de los accionamientos eléctricos

MODULO INTERFAZ CON EL USUARIO.

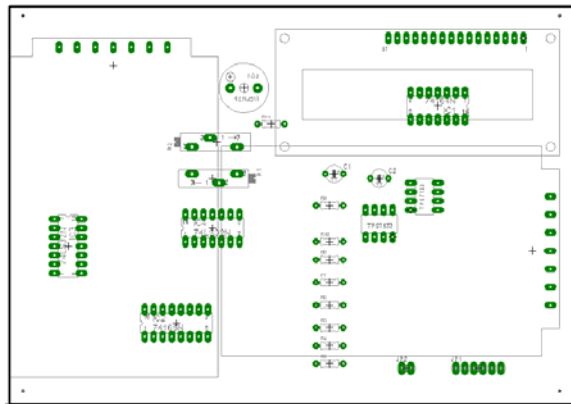


Figura A.7 Elementos de la interfaz con el usuario dentro de la tarjeta

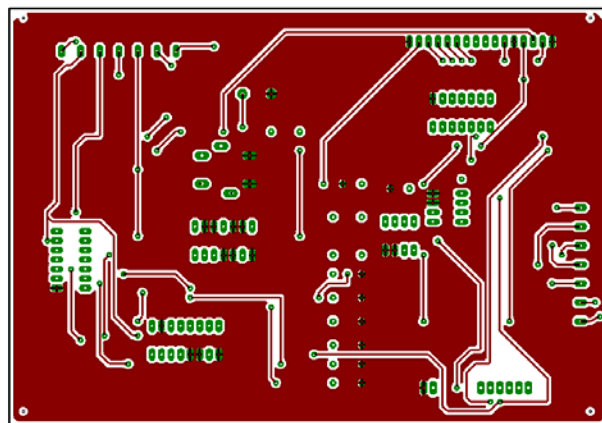


Figura A.8 Capa superior de la interfaz con el usuario

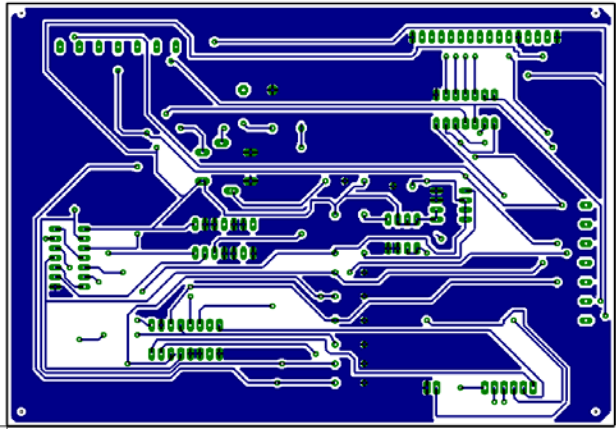


Figura A.9 Capa inferior de la interfaz con el usuario

CONTROLADOR PRINCIPAL.

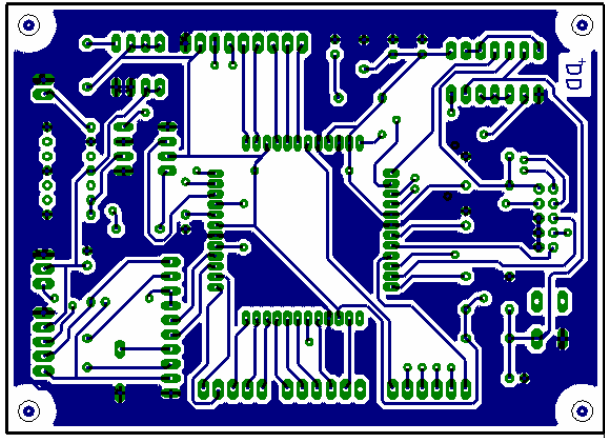


Figura A.10 Capa inferior del controlador principal

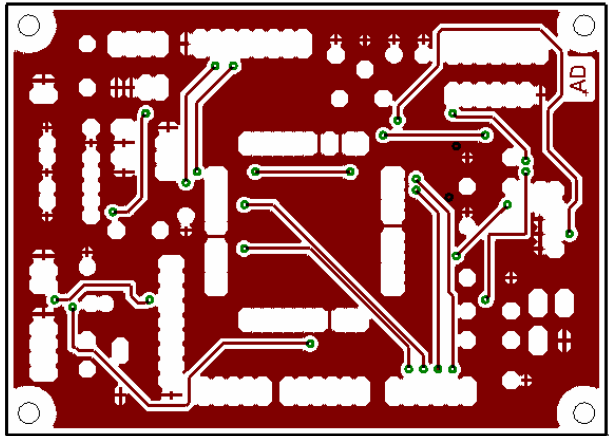


Figura A.11 Capa superior del controlador principal

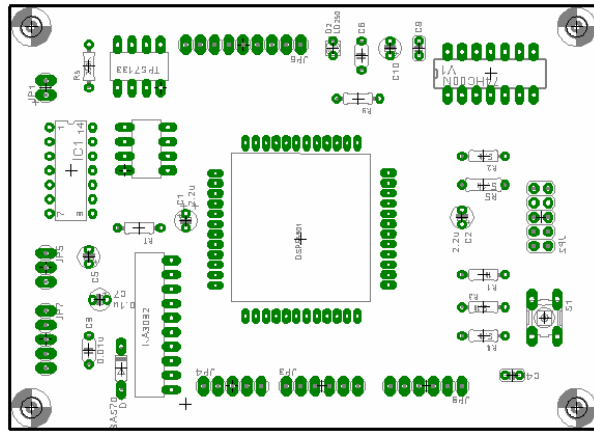


Figura A.12 Elementos del controlador principal dentro de la tarjeta

ANEXO B. ELABORACIÓN DE LOS PLANOS ESTRUCTURALES DEL PROCESADOR DE TEJIDO BIOLÓGICO

Para la implementación de la estructura del prototipo, es necesario elaborar los planos de este, para tal fin se hace uso de una herramienta software especial para esta labor, el software utilizado es Solid Edge Academic v12. Solid edge ejecuta operaciones de modelado tridimensional.

Para la construcción se utiliza “Pieza”; para el ensamblado se usa “Conjunto”; para la presentación se usa “Planos”. En esta sección se presenta una breve introducción del software y finalmente se muestra las piezas, el conjunto y los planos del prototipo para el procesamiento de tejido biológico.

Para la elaboración de cualquier proyecto se inicia solid edge pieza, donde se construye cada elemento del equipo por separado, Solid edge Pieza construye un cuerpo a partir de las vistas principales que la geometría de la pieza determine.

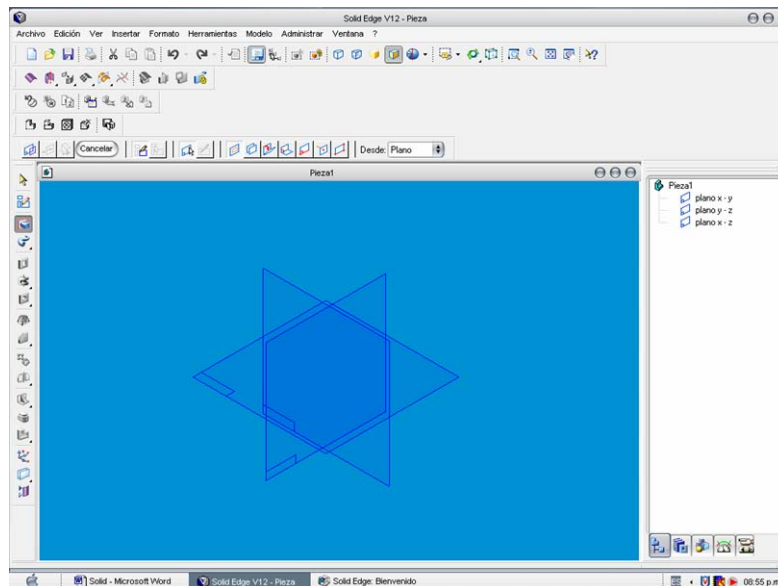

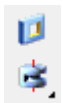


Figura B. 1 Ventana donde se realiza la elaboración de la pieza.

Se parte de un boceto en un plano principal o uno construido;  La herramienta boceto permite dibujar con líneas rectas o curvas, figuras geométricas, acotaciones y patrones. La ubicación de los elementos gráficos repercute en su finalidad, ya que si no se encuentran conectados el programa no reconoce el contorno dibujado.



Para realizar un cuerpo el programa extruye material con el contorno dibujado en el boceto con la herramienta Protusión. La dirección del proceso es variable; puedo hacer un cuerpo lineal, que siga una trayectoria o por revolución; también puedo adicionar material a un cuerpo protuido.



Teniendo ya un volumen definido, puedo a este seccionarle partes, perforarlo hasta la profundidad deseada con la geometría respectiva. La proyección de esta operación es similar a la de Profusión.

En la figura B.2, se puede ver cada uno de los componentes del prototipo diseñados con Solid Edge Pieza.

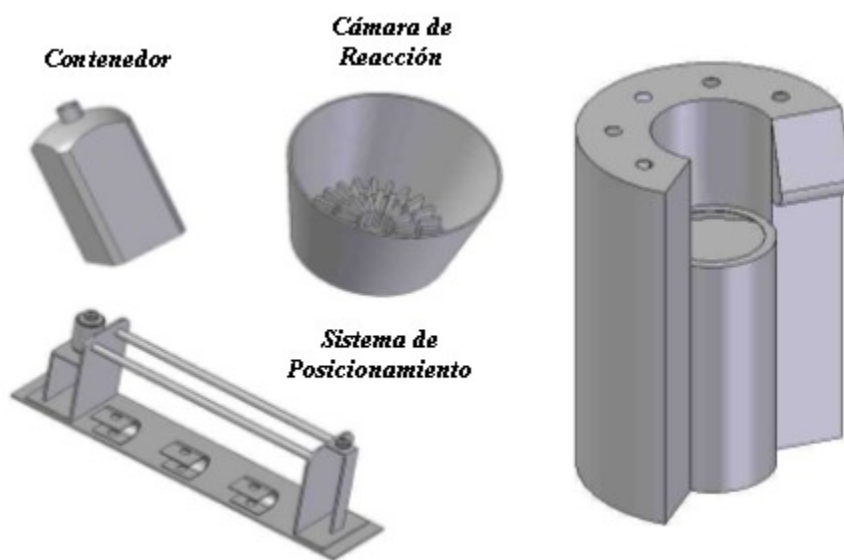


Figura B.2 Componentes del Prototipo

Solid Edge Conjunto posibilita las relaciones de unión o ensamble que dos o mas piezas presenten en el espacio; el programa permite exportar las piezas creadas en Pieza para luego establecer relaciones entre ellas, o devolverse con el conjunto de piezas para hacerle correcciones dimensionales a una sola. También puedo cambiar la situación de una pieza y afectar al conjunto por medio de la actualización.

Las piezas pueden examinarse en el Edgebar y copiarse como archivos.



Con la herramienta relaciones aproximo la ubicación de la segunda pieza.

Es así como se unen dos caras, o se hace paralela u oblicua la posición de las piezas: Pueden también insertarse las piezas alineando ejes, con piezas concéntricas. Las relaciones hacen que las piezas tengan menos grados de movimiento para que se puedan maniobrar estrictamente.

Conjunto permite simular la apariencia final de las piezas a través de texturizado o por analogía de material.

Como resultado de unir cada una de las piezas del prototipo se obtiene estructura física del equipo (figura B.3)

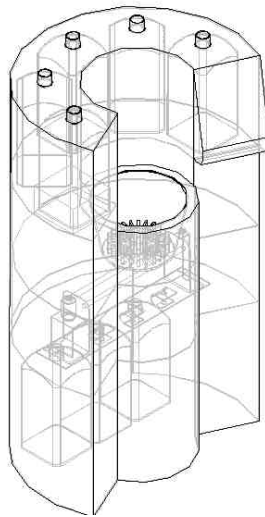


Figura B.3 Ensamble del sistema total

ANEXO C. PROGRAMACIÓN EN CODEWARRIOR

Este anexo no pretende ser una guía para iniciar al lector en programación con CodeWarrior. Se desea mostrar cómo se pueden organizar los proyectos por medio de archivos *.c que facilitan la organización y prueba de subprocesos de forma independiente. La programación de los algoritmos diseñados se basa en *Processor Expert*, una herramienta incluida en CodeWarrior, que permite trabajar en un alto nivel creando un proyecto que contiene archivos en los que se generan código mediante funciones en C. Se recomienda leer el tutorial de *Procesor Expert* que explica fácilmente cómo crear un proyecto, adicionar *beans* (programas encapsulados que generan funciones y configuran puertos) y generar el código. Se accede a este tutorial desde la ventana principal de CodeWarrior siguiendo las pestañas: *Help / Processor Expert / Tutorial*, como se observa en la figura C.1.

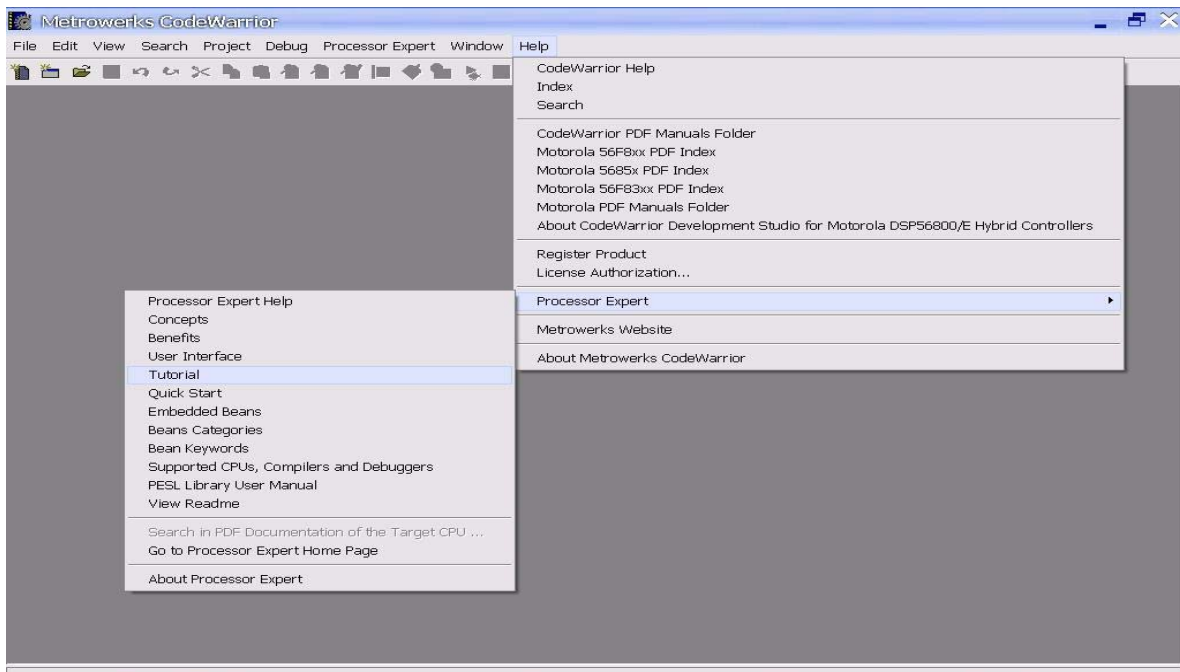


Figura C.1 Ventana para acceder el tutorial

En adelante se trata de explicar la creación de archivos, la organización de un proyecto para realizar funciones y subprocesos que es lo adecuado en casos como este programa, obteniendo como beneficio realizar pruebas independientes de estos subprocesos formados por funciones.

Después de crear un nuevo proyecto como *Procesor Expert Stationery* se un crea automáticamente un *bean* para la CPU seleccionada. Al generar el código con *Processor Expert*, se ubica al programador en la ventana nombre_del_proyecto.mcp. Esta ventana muestra los archivos (Files) que contiene el proyecto organizados en carpetas como: Support (soporte), Generated Code (código generado), User Modules (módulos del usuario). Esta última contiene el archivo donde está el *Main()* como se muestra en la figura 2. En la carpeta Generate Code se guardan los archivos creados por Processor Expert, uno por cada *bean*, por cada archivo generado como *.C, también se genera uno con el mismo nombre pero *.h (Header File) en donde están declaradas las funciones del archivo como se observa en la figura C.2

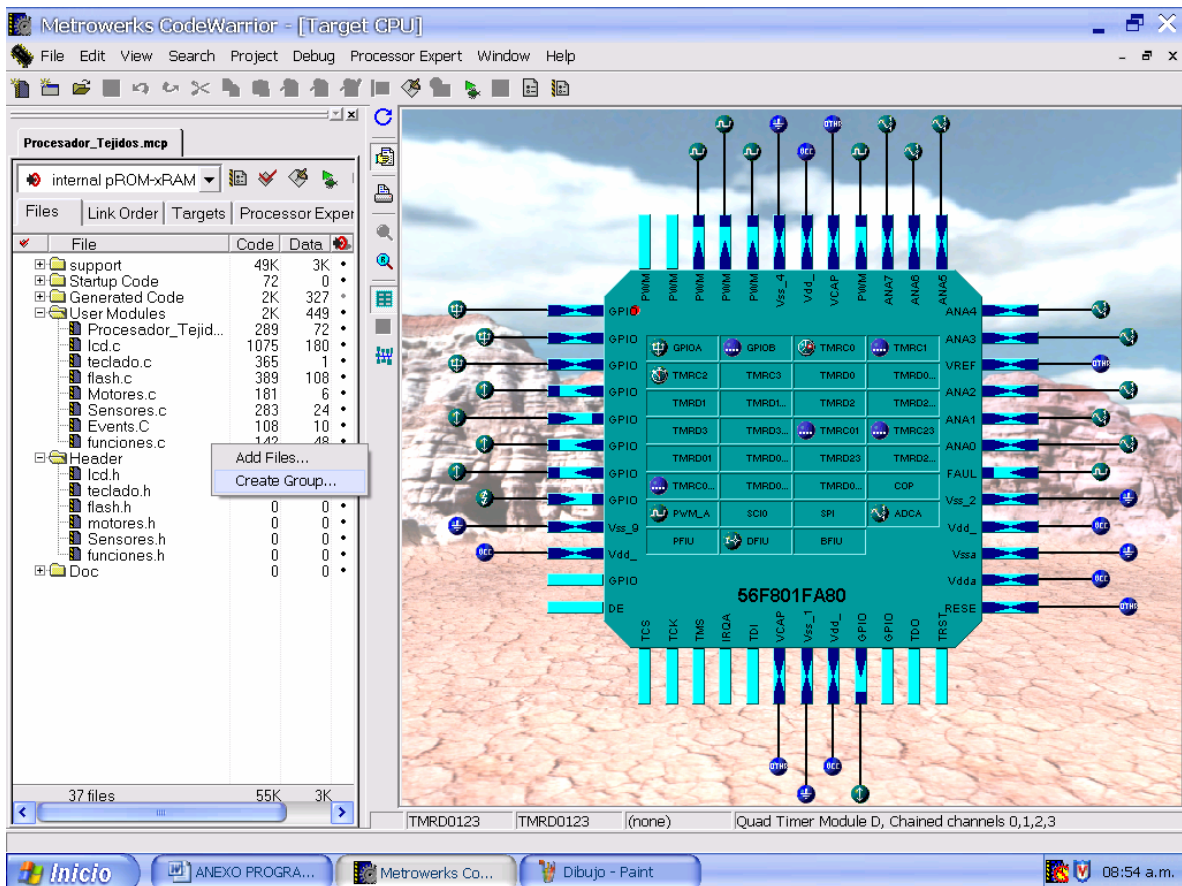


Figura C.2 Organización de archivos

Para crear un nuevo archivo se hace click en el icono *New Text File*, el primero en la parte superior izquierda. Se pueden crear dos archivos, uno *.c y otro *.h, de lo contrario hay que declarar las funciones en alguna parte del *.c, además, se guardan en la carpeta del proyecto por medio de las pestañas *File / Save as*. Para que estos archivos se puedan utilizar en el proyecto hay que adicionarlos haciendo click derecho sobre la carpeta donde se desean visualizar y seleccionando *add files* o se puede crear primero una nueva carpeta haciendo clic derecho en otra parte de la ventana y seleccionando *Add Group*. Esto también se puede observar en la figura C.2.

Los archivos *.h creados por los *beans* no se muestran en la ventana, pero se pueden abrir, editar y agregar a la ventana. Al adicionar *beans* se edita

externamente realizando su inclusión en el archivo del *Main()*, si estos beans se quieren usar en los nuevos archivos creados debe iniciarse con esta misma inclusión. Las variables globales usadas en un archivo sólo pueden ser identificadas en otro mediante la declaración de la misma como externa.

El fin de crear nuevos archivos es desarrollar en éstos funciones con ayuda de los *beans*, por ejemplo en el archivo Motores.C se definen funciones como *Mover_Derecha*, *Mover_izquierda()* que son específicas para el control de un motor en el proyecto, estas funciones están basadas en funciones del bean PWMMC (control de motores con PWM). De igual manera se crean archivos para manejar LCD (BitIO), Teclado (BitIO), Sensores (ADC), Temporizaciones (Timer), Interfaz con Flash (DFlas), Control de Válvulas (BitsIO).

En la figura C.3 se observa la organización que se da al proyecto con los beans usados y agrupados en categorías de control y subprocesos en la pestaña Processor Expert, además se observa el uso del DSP en el *Target CPU Package*.

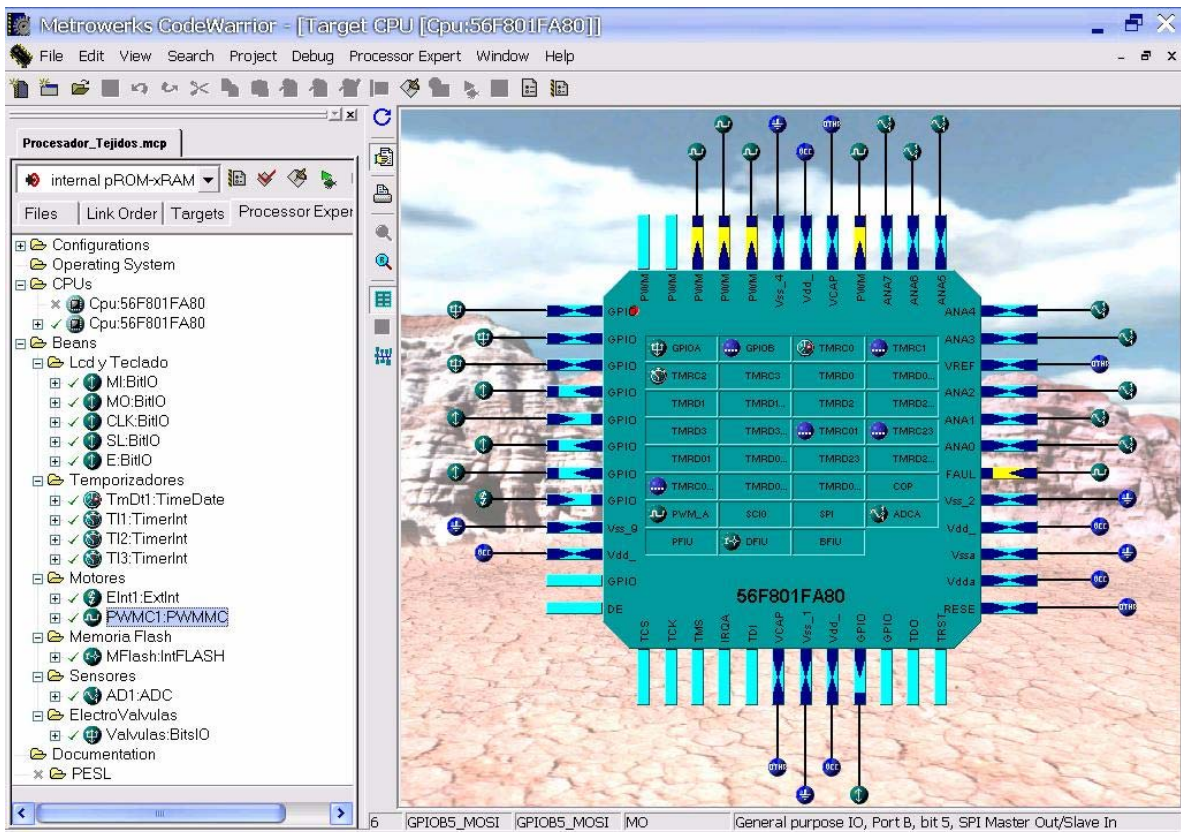


Figura C.3 Organización de beans

En la figura C.3 se muestra la pestaña *Processor Expert*, en donde se ven las carpetas que contienen los *beans* usados en el proyecto. Aquí se pueden organizar creando carpetas, subcarpetas y moviendo *beans* hacia ellas. En la parte derecha se muestra el *Tarjet CPU Package* que muestra algunos pines en amarillo debido a la selección de un *bean*, esto ocurre con todos los *beans* que usan pines del DSP.

ANEXO D. HOJAS DE DATOS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.

1. DSP56F801F80 www.freescale.com
2. AD595 (transductor de temperatura análogo) www.analog.com
3. KA3082 (Driver bidireccional de motor dc) www.fairchild.com
4. TPS7133, TPS7150 (Reguladores de voltaje a 3.3V y 5.0V) www.ti.com
5. 74HC164, 74HC165 (Registros de desplazamiento) www.ti.com
6. 74HC14, 74HC138 (Inversor y Decodificador) www.ti.com
7. SHF309 (fototransistor)
8. EE-SX1115 (Opto Switch) www.omron.com
9. KS0070B (Driver para LCD Samsung) www.samsung.com
10. LCD162A (Pantalla Displaytech 2x16 BL) www.displaytech.com
11. 74LS32 (Cuádruple compuerta OR de 2 entradas) www.ti.com
12. UD-8 (Válvula solenoide de ¼" marca UNI-D) www.UNID.com.tw
13. EBC 91110 (Válvula solenoide de ¼" marca E.B.C)
www.electricasbogota.com