



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO
CERRADO PARA UNA MÁQUINA DE CROMADO UTILIZANDO UN
MICROCONTROLADOR (PIC18F2525)**

CARMEN M HERRERA R.

CI: 16154049

ANGEL A MARRERO M.

CI: 15.608.050



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO PARA
UNA MÁQUINA DE CROMADO UTILIZANDO UN
MICROCONTROLADOR (PIC18F2525)**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

CARMEN M HERRERA

CI: 16.154.049

ANGEL A MARRERO M

CI: 15.608.050



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado “**Diseño de un sistema de control en lazo cerrado para una máquina de cromado utilizando un microcontrolador PIC18F2525**”, realizado por los bachilleres: Carmen M Herrera R. CI: 16.154.049 y Ángel A Marrero M. CI: 15.608.050, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Prof. Luis Llave

TUTOR

Prof. Wilmer Sanz

JURADO

Prof. Aida Pérez

JURADO

Naguanagua, 31 de octubre de 2011



AGRADECIMIENTO

A nuestro señor Dios por guiarme y protegerme.

A mi padre y madre por ayudarme en todo momento en mi formación tanto académica como personal.

A mis hermanos por ser parte de la guía a seguir.

A todos los profesores que formaron parte de mi crecimiento académico en cada etapa alcanzada durante el transcurso de la profesión.

Ángel Marrero



AGRADECIMIENTOS

Primero le doy gracias a Dios, por haberme guiado por el buen camino, dándome las fuerzas y sabiduría para superar todos los obstáculos presentados durante la carrera.

Gracias a mi familia, mi madre Loisa Rey y a mi padre Balbino Herrera por haberme dado todo el apoyo que necesitaba con el mayor de los sacrificios, amor y dedicación, gracias padres por su apoyo y palabras de aliento en los momentos que mas lo necesitaba.

Gracias a mi tía Rita Rey y a mi tío Julián medina por su apoyo y estar siempre pendiente de mi ,gracias por su ayuda y apoyo.

Gracias a mi hermana Arely Herrera por su apoyo incondicional y a ti hermano Ramón Herrera que esta en el cielo, aunque no estas aquí te doy las gracias por tu colaboración y ayuda.

Gracias a mi novio Robert Calzada y a mis amigos, por sus palabras de aliento y por siempre estar hay ayudándome.

Por ultimo gracias a mi tutor Luis Llaves, al profesor Wilmer Sanz y a todos los profesores que me ayudaron en el desarrollo de este trabajo de grado.

Carmen Herrera



DEDICATORIA

A Dios quien me dio la fortaleza y la salud para terminar este trabajo.

Ángel Marrero



DEDICATORIA

Primeramente le dedico este logro a Dios por haberme permitido llegar donde llegue y a ti hermanito que estas en lo cielo, a mis padre y hermana.

Carmen Herrera



ÍNDICE GENERAL

Portada 1.....	I
Portada 2.....	II
Certificado de Aprobación.....	III
Agradecimiento.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Dedicatoria.....	VII
Índice General.....	VIII
Índice de Contenido.....	IX
Índice de Figuras.....	XII
Índice de Tablas.....	XV
Introducción.....	XVI
Resumen.....	XVIII



ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I.	
Planteamiento del Problema.....	1
1.1 Formulación del Problema.....	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos y alcance de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance de la Investigación.....	4
1.5 Cronograma de actividades.....	4
Capítulo II.	
Marco teórico.....	6
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	7
2.2 Marco Teórico.....	8
2.2.1 El CROMO.....	8
2.2.1.1 Características del cromo.....	8
2.2.1.2 Aplicaciones del cromo.....	9
2.2.1.3 Ventajas y desventajas del cromo.....	10
2.2.3 El Proceso de cromado.....	10
2.2.4 Electrolisis.....	11
2.2.5 Cromoduro.....	12
2.2.5.1 Propiedades de la Película de Cromo Elemento metálico.....	13
2.2.5.2 Aplicaciones industriales del Cromoduro.....	14
2.2.5.3 Cromado de piezas de forma cilíndrica.....	14
2.2.5.4 Propiedades de la Película de Cromo Electro depositado.....	15
2.3.1 Microcontrolador.....	15
2.3.1.2 Diseño de sistemas con microcontroladores.....	16
2.3.1.3 Programa MIKROBASIC.....	16
2.3.1.4 Editor de código.....	17
2.4.1 Formas de control.....	17
2.4.1.1 Control en lazo cerrado.....	17
2.4.1.2 Los controladores se pueden clasificar según su acción.....	18
2.5.1 SCR.....	21
2.5.1.2 Curva características y funcionamiento de un SRC.....	22
2.5.1.3 Disparo del SCR.....	22
2.5.1.5 Puente rectificador semicontrolado.....	23



Capítulo III. Marco Metodológico.....	25
3.1 Proceso a ser Estudiado.....	26
3.2 Técnicas y métodos a ser aplicados (hardware y software).....	26
3.3 Desarrollo de algoritmo sistemas.....	27
3.4 Diseño del software.....	27
3.5 Aportes científicos y socio económicos.....	28
3.6 Metodología de la investigación.....	28
3.6.1 Técnicas de recopilación de análisis de datos.....	29
3.7 Fases para el desarrollo del proyecto.....	29
3.7.1 Fase 1: Análisis del sistema actual.....	29
3.7.2 Fase 2: Diseño del esquema general.....	29
3.7.3 Fase 3: Implementación de la estructura física.....	29
3.7.4 Fase 4: Integración del dispositivo.....	29
3.7.5 Fase 5: Montaje del prototipo y pruebas de calibración.....	30
Capítulo IV. Desarrollo y Análisis.....	31
4.1 Descripción técnica de la máquina.....	32
4.2 Sistema de control.....	34
4.3 Descripción del diseño del programa.....	34
4.3.1 Código del programa.....	35
4.4 Estudio de la tarjeta de control maestra.....	38
4.5 Descripción de la tarjeta disparo control.....	41
4.6 Sistema de control ajustado al diseño.....	45
4.7 Descripción del PIC 18F2525.....	48
4.7.1 Simulación del programa.....	49
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....	56
Bibliografía.....	58
Apéndice A Diagrama de flujo del programa.....	60
Apéndice B Fotos de las tarjetas del prototipo.....	62
Apéndice C Data Sheet PIC18F2525/4525.....	64
Apéndice D Data Sheet Puente rectificador W005M-W10.....	73
Apéndice E Data Sheet Voltaje comparators LM111-LM211-LM31.....	78
Apéndice F Data Sheet Regulador de voltaje MC78XX/LM78XX/MC78XXA.....	81



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de electrolisis.....	11
Figura 2.2 Símbolo del SCR.....	21
Figura 2.3 Estructura básica del SCR.....	23
Figura 2.4 Rectificador semicontrolado.....	24
Figura 4.1 Diagrama unifilar de la máquina de cromado.....	33
Figura 4.2 Sistema de control del proceso actual.....	34
Figura 4.4 Circuito electrónico de la tarjeta control maestra.....	39
Figura 4.5 Circuito electrónico: ubicación de los componentes.....	40
Figura 4.6 Circuito electrónico: ubicación de los componentes.....	40
Figura 4.6a Circuito esquemático de la tarjeta de control maestra.....	40
Figura 4.7 Circuito electrónico de la tarjeta disparo control.....	42
Figura 4.8 Circuito electrónico de la tarjeta disparo control (ubicación de componente.....	43
Figura 4.9 Circuito electrónico de la tarjeta disparo control (ubicación de las pistas.....	44
Figura 4.10 Circuito electrónico de la tarjeta disparo control(ubicación de las pistas).....	44
Figura 4.11 Diagrama unifilar con el dispositivo diseñado.....	44
Figura 4.12 Diagrama de control diseñado a la unidad de control.....	45
Figura 4.13 Circuito simulando los disparo del puente rectificador.....	46
Figura 4.14 Grafica mostrando el comportamiento del puente rectificador semicontrolado.....	47
Figura 4.15 Comportamiento del puente rectificador semicontrolado con disparos de 90.....	47
Figura 4.16 PIC18F2525.....	48
Figura 4.17 Simulación del funcionamiento del PIC.....	49
Figura 4.18 Simulación del PIC activada la variable de seguridad.....	50
Figura 4.12 Interconexión de las tarjetas en fisico con su respectiva alimentación.....	51



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades de la película del cromo elemento metálico.....	13
Tabla 4.1 Tabla de resultados (I vs V).....	55



INTRODUCCIÓN

La empresa Ingemeca se dedica al cromado de piezas mecánicas, ésta se encuentra ubicada en la Urb La Quizanda Galpón 136. Las piezas al terminar de ser cromada, no quedan uniformes debido a varios factores que ocasionan una corriente inestable, la cual no permanece constante, produciendo pérdidas y retrasos en el servicio prestado.

El propósito fundamental del trabajo de grado se basa en el diseño de un sistema de control en lazo cerrado para una máquina de cromado utilizando un microcontrolador (PIC18F2525) con el fin de mejorar la calidad del producto terminado que no es más que el cromado de piezas cilíndricas para usos industriales tales como rodillos, cilindros hidráulicos y para máquinas de trabajo pesados, como por ejemplo ejes de generación eléctrica, el fin específico de la instalación de este sistema de control es producir una mayor eficiencia en la calidad del cromado.

El capítulo I comprende el planteamiento del problema, donde se incluye la justificación, los objetivos generales, objetivos específicos y los alcances del trabajo.

En el capítulo II se presentan los antecedentes y las bases teóricas que se establecen como necesarias para la comprensión del funcionamiento del proceso que respalda el presente proyecto.

En el capítulo III se desarrolla el marco metodológico que describe los pasos seguidos para alcanzar los objetivos y resultados esperados.

En el capítulo IV se describe, en detalle el diseño del sistema de control para la máquina de cromado, los diseños las dos tarjetas que componen el prototipo, el funcionamiento del dispositivo, la programación, la ecuación de control que se está utilizando.



El capítulo V está conformado por conclusiones y recomendaciones.



RESUMEN

En el presente trabajo especial de grado se desarrollo el prototipo de un controlador inteligente en lazo cerrado que permita realizar el proceso de cromado, en especial el cromado duro, para la empresa Ingemeca, ubicada en la zona industrial norte de la ciudad de Valencia en el estado Carabobo.

La máquina principal de cromado operaba de manera deficiente e incluso requería el uso de una máquina de soldar como unidad de control averiada. Esto trae como consecuencia problemas de operatividad en la máquina de cromado, el cual necesitaba un dispositivo que hiciera estable el proceso, en cuanto a la operación y funcionamiento en condiciones adversas (temperatura o cambios de la concentración de la solución).

Para lograr el desarrollo de tal prototipo en este proyecto se cumplieron una serie de pasos y evaluaciones del estado de la máquina, modelado matemático y requerimientos para el diseño del dispositivo de control.

Posterior al estudio y levantamiento de planos del proceso usando métodos actuales y recursos necesarios, se genero la simulación del funcionamiento del dispositivo de control que mejor se ajustaba al proceso de una amplia gama de controladores conocidos.

Con el prototipo del controlador ya seleccionado y aprobado se implemento el mismo para su posterior puesta en marcha y calibración. Para ello fue importante el uso de métodos y herramientas para desarrollar tanto la programación o software del dispositivo como también la estructura física de acuerdo con los estándares mínimos para el desarrollo del dispositivo de control.

CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DEL
PROBLEMA



1.1_PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Ingemeca posee un aparato productor basado en el tratamiento de piezas metálicas con otros metales, revestimientos y procesos mecánicos.

Uno de sus procesos es el cromado por electrólisis, donde se suspende la pieza metálica y es sometida a una tensión eléctrica entre ella y unas placas de plomo, la pieza es sumergida a través de un líquido conductor que contiene el metal que va a recubrir la pieza. En este proceso por electrólisis al pasar una corriente por una solución salina, ácida o alcalina, sus compuestos se separan e ionizan moviéndose hacia los electrodos, aprovechando este fenómeno, al colocar una sal como cloruro de cromo y al conectar la pieza a un terminal negativo y un electrodo en el terminal positivo, con una corriente constante, la pieza sufrirá un recubrimiento de iones positivos del metal cromo de manera uniforme.

La máquina estaba trabajando a lazo abierto, auxiliada con una máquina de soldar; por ello existe la necesidad de implementar un dispositivo electrónico especializado en el control por lazo cerrado, el cual sensa la corriente eléctrica en el tanque y ejecuta o aplica cambios a nivel de tensión con el fin de mantener la corriente en un rango mínimo de error de 1% y permite tener un cromado uniforme.

1.2_JUSTIFICACION

El cromado por electrólisis es un proceso sumamente delicado y que por factores externos (temperatura humedad, concentración de la sal y demás) hacen que persistan variaciones de corriente que perjudican dicho proceso haciendo que generen capas no uniformes y el daño de la pieza.

Esto trajo como consecuencia la necesidad de hacer a la pieza un proceso de rectificación a profundidad, por lo que es importante y necesario el desarrollo de un dispositivo que sea de fácil manipulación y que posea una adecuada interfaz con el



usuario, con el fin de monitorear la corriente y establecer el valor de corriente correspondiente a la pieza y a la solución salina.

Este equipo fue capaz de sensar como mínimo la corriente de cromado para la acción de control necesaria a fin de lograr la corrección de la misma, y tiene límites de seguridad y señales de emergencia.

1.3_OBJETIVOS Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION

1.3.1 Objetivo general:

- Diseñar e implementar un prototipo de controlador para un proceso de cromado por electrólisis en la empresa Ingemeca.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el proceso de cromado por electrólisis para describir técnicas y requerimientos mínimos de la máquina.
- Estudiar los programas y herramientas necesarios para la construcción tanto del sistema físico como el programa que comandará el módulo de control.
- Diseñar los sistemas y subsistemas de los módulos electrónicos necesarios para el funcionamiento óptimo del prototipo.
- Integrar los módulos electrónicos y la programación requerida, para obtener el prototipo del controlador.
- Realizar pruebas y calibraciones para verificar el óptimo funcionamiento del prototipo final.



1.4_ALCANCE

Se implementara un dispositivo controlador con interfaz de usuario y capacidad de respuesta con la utilización de sensores de señales externas y de seguridad, con el fin de cerrar un lazo de control y optimizar el proceso de cromado para dicha empresa.

Este dispositivo electrónico se acoplara al proceso existente donde debe obtener la magnitud de la corriente a través de la resistencia patrón que posee la maquina antes del tanque de cromado. En este proceso es importante controlar el tiempo de cromado, si es posible con eventos programables, con el fin de maximizar el proceso y lograr aumentar la eficiencia, también un control de temperatura que ayude a cuidar el proceso, dar más precisión al producto final (la pieza con un correcto cromado).

CAPITULO II
MARCO TEORICO



2- Investigaciones y proyectos antecedentes:

2.1 Antecedentes

Para llevar a cabo la presente investigación se tomaron como base teórica los siguientes antecedentes:

Robles, Jean y Martínez, Wilfredo (2010). Diseño de un sistema modular de monitoreo para la supervisión de las pérdidas de agua en los procesos de sedimentación y lavado de filtros de una planta de potabilización [1]. Este trabajo tuvo como objetivo diseñar los módulos de monitoreo del sistema, basado en dispositivos digitales programables, el cual permitió conocer el estado de los procesos de la planta al recopilar la información suministrada por los sensores, el sistema central permitió integrar los datos provenientes de los módulos de monitoreo y enviarlos a un computador para su almacenamiento en una base de datos con la finalidad de visualizar de forma remota los datos recopilados. Dicho trabajo servirá de gran ayuda ya que presenta la utilización de un PIC como mecanismo de control, que es la finalidad principal de nuestro proyecto.

Jiménez, Rafael y Voglar Luis (2010). Diseño de un tablero de control de alarmas para la detección de incendios basado en micro controladores [2]. El enfoque de este trabajo está basado en estructurar el diseño de un tablero de control en función de subsistemas interconectados, con el fin de tener una unidad de control contra incendio. Este aporte de tesis permitirá manejar mejor la programación del PIC que se desea implementar o utilizar en la presente investigación también por el diseño del subsistema de control, en donde el enfoque a investigar en el proyecto que realizaremos tiene como objetivo esa metodología.

Rondón y Roger Pastrán (2000). Monitor computarizado multivariable para procesar termo-hidráulicos [3], donde se plantea los fundamentos de la adquisición de datos, monitoreo y control de proceso. Estos fundamentos sirven en la investigación



para la escogencia de tecnología de punta para el control y monitoreo de un proceso, con la necesidad de obtener cierta información en las manipulaciones de los datos requeridos en dicho proceso para abordar con las variables tanto de corriente como de voltaje que nos suministra la maquina a que finalmente le aplicaremos la automatización.

2.2_MARCO TEORICO

2.2.1 CROMO

En 1797 se realiza el descubrimiento del cromo por el químico Vauquelin el cual hizo una serie de estudios y en uno de sus experimentos aisló el ácido crómico del plomo rojo, es este una de las pocas fuentes de ácido crómico que existen; poco tiempo transcurrió en descubrir el más abundante de los minerales, que fue el cromito de hierro, fundamentalmente usado por este químico para la obtención del cromo [4]. El cromo es un elemento químico de número atómico 24 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cr. Es un metal que se emplea especialmente en metalurgia.

2.2.1.2 Características principales

El cromo es un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Es muy resistente frente a la corrosión. Su estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes. Los estados de oxidación +4 y +5 son poco frecuentes, mientras que los estados más estables SO_n +2 y +3. También es posible obtener compuestos en los que el cromo presente estados de oxidación más bajos, pero son bastante raros.

2.2.1.3 Aplicaciones del cromo

- El cromo se utiliza principalmente en la metalurgia para aportar resistencia a la corrosión y un acabado brillante.



- En aleaciones, por ejemplo, el acero inoxidable es aquel que contiene más de un 12% en cromo, aunque las propiedades antioxidantes del cromo empiezan a notarse a partir del 5% de concentración.
- En procesos de cromado (depositar una capa protectora mediante electro deposición). También se utiliza en el anodizado del aluminio.
- En pinturas cromadas como tratamiento antioxidante
- Sus cromatos y óxidos se emplean en colorantes y pinturas. En general, sus sales se emplean, debido a sus variados colores, como mordientes.
- El bicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) es un reactivo químico que se emplea en la limpieza de material de vidrio de laboratorio y, en análisis volumétricos, como agente valorante.
- Es común el uso del cromo y de alguno de sus óxidos como catalizadores, por ejemplo, en la síntesis de amoníaco (NH_3).
- El mineral cromita ($Cr_2O_3 \cdot FeO$) se emplea en moldes para la fabricación de ladrillos (en general, para fabricar materiales refractarios). Con todo, una buena parte de la cromita consumida se emplea para obtener cromo o en aleaciones.
- En el curtido del cuero es frecuente emplear el denominado "curtido al cromo" en el que se emplea hidroxisulfato de cromo ($Cr(OH)(SO_4)$).
- Para preservar la madera se suelen utilizar sustancias químicas que se fijan a la madera protegiéndola. Entre estas sustancias se emplea óxido de cromo (CrO_3).
- Cuando en el corindón ($\alpha-Al_2O_3$) se sustituyen algunos iones de aluminio por iones de cromo se obtiene rubí; esta gema se puede emplear, por ejemplo, en láseres.



- El dióxido de cromo (CrO_2) se emplea para fabricar las cintas magnéticas empleadas en los casetes, dando mejores resultados que con óxido de hierro (Fe_2O_3) debido a que presentan una mayor coercitividad.

2.2.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA APLICACIÓN DEL CROMO

Ventajas

Las principales ventajas son: resistencia a la corrosión en los hierros especialmente en los aceros inoxidable, dureza elevada, resistencia al desgaste tanto en la abrasión como a la corrosión fluida, resistencia a la temperatura hasta 800 grados centígrados, estabilidad ya que al material que se le desea aplicar no se modifica, revestimiento parcial para proteger determinadas piezas, acabados en superficies brillantes.

Desventajas

Problemas ambientales derivados del uso del cromo (hexavalente), adherencia del recubrimiento al sustrato en algunas aplicaciones (golpes, cromado de plásticos) pueden presentar ciertas deficiencias [5].

2.2.3 EL CROMADO

Es un galvanizado, basado en la electrólisis, por medio del cual se deposita una fina capa de cromo metálico sobre objetos metálicos e incluso sobre material plástico. El recubrimiento electrolítico con cromo es extensivamente usado en la industria para proteger metales de la corrosión, mejorar su aspecto y sus prestaciones [6].

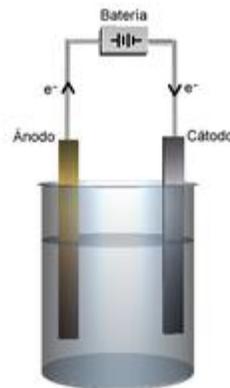
El llamado cromo duro son depósitos electrolíticos de espesores relativamente grandes (0,1 mm) que se depositan en piezas que deben soportar grandes esfuerzos de desgaste. Se realizan este tipo de depósitos especialmente en asientos de válvulas, cojinetes, cigüeñales, ejes de pistones hidráulicos y en general en lugares donde se requiera bastante dureza y precisión.

El cromo brillante o decorativo son finas capas de cromo que se depositan sobre cobre, latón o níquel para mejorar el aspecto de algunos objetos. La grifería doméstica es un ejemplo de piezas cromadas para dar embellecimiento.

El cromo tiene poco poder de protección, menos aún las capas que se depositan son tan delgadas como una micra. Por ello las superficies a cubrir deben estar bien pulidas, brillantes y desengrasadas. El cromo se aplica bien sobre el cobre, el níquel y el acero, pero no sobre el zinc o la fundición.

2.2.4 ELECTROLISIS

La electrólisis es un proceso para separar un compuesto en los elementos que lo conforman usando para ello la electricidad [7]. La palabra *Electrólisis* viene de las raíces *electro*, electricidad y *lisis*, separación. La fig. 1 muestra el tanque con las dos barras una positiva y otra negativa, en el cual se realiza el proceso de electrólisis.



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrolisis>

El proceso consiste en:

- Se funde o se disuelve el electrolito en un determinado solvente, con el fin de que dicha sustancia se separe en iones (ionización).



- Se aplica una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos conectados a una fuente de alimentación eléctrica y sumergida en la disolución. El electrodo conectado al polo positivo se conoce como cátodo, y el conectado al negativo como ánodo.
- Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los iones negativos, o aniones, son atraídos y se desplazan hacia el cátodo, mientras que los iones positivos, o cationes, son atraídos y se desplazan hacia el ánodo.

La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos es aportada por la fuente de alimentación eléctrica.

- Los iones negativos ceden electrones al ánodo (-los iones positivos o cationes toman electrones del cátodo (+)).

En definitiva lo que ocurre es una reacción de oxidación -reducción, donde la fuente de alimentación eléctrica se encarga de aportar la energía necesaria.

2.2.5 Cromo duro

El Cromado Duro conocido también como Cromado Duro Industrial o Cromado para Aplicación en la Ingeniería, es un proceso electro químico en la cual el cromo es electro depositado sobre la superficie de los materiales metálicos desde una solución (acuosa) que básicamente contiene iones de Cr^{+6} , Cr^{+3} , SO_4^{-2} y aditivos especiales [8].

El proceso de cromado duro se diferencia del cromado decorativo sustancialmente porque no tiene películas intermedias de cobre y níquel, por lo tanto las condiciones del proceso (temperatura, densidad de corriente, concentración de electrolitos y calizadores) y los tratamientos previos al cromado son muy diferentes; este hecho hace que el cromo electro depositado mediante el proceso del cromado duro para aplicación en ingeniería tenga las propiedades tan especiales en su



estructura cristalina que es muy similar al diamante, es decir cristales cúbicos al cual se debe esencialmente las propiedades como: dureza, homogeneidad de película, brillo y otras más que ningún otro elemento metálico reúne.

El cromado decorativo que tiene como base las películas de cobre y níquel se lleva a cabo en condiciones diferentes por lo que está muy lejos de reunir esas propiedades tan especiales del cromado duro. Las propiedades de la película de cromo de los elementos metálicos, tienen distintas características magnéticas y no magnéticas las cuales se pueden ver en la tabla 1.

2.2.5.1 Propiedades de la Película de Cromo Elemento Metálico.

Tabla 1: Propiedades de la película de cromo

SIMBOLO	Cr
PESO ATOMICO	52.01
DENSIDAD	7,15 g/cm ³ @ 20°C
PUNTO DE FUSION	1900 °C
RESISTIVIDAD ELECTRICA	12,7 /cm @ 0°C
DUREZA NORMAL	62 - 75 HRC
	850 - 1150 Vickers
	800 - 1000 Brinell
COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL	0,8 mm/m @ 0°C
PODER DE REFLEXION	60 A 66 %
CONDUCTIVIDAD TERMICA	0.939 W/(cm.k) @ 25 °C
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	50 Ohm/cm ²
MODULO DE ELASTICIDAD	E=147,1 KN/mm ²
RESISTENCIA A LA TRACCION	R=147,1 KN/mm ²
COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SOBRE EL ACERO	0.17
PROPIEDAD MAGNETICA	NO MAGNETICO

Fuente: http://www.agalsac.com/ag_cromado.htm



2.2.5.2 Aplicaciones Industriales del Cromado Duro

Las propiedades especiales de la película de cromo tales como:

La buena conductividad térmica de la película de cromo ha hecho insustituible el cromado de cilindros destinados a la cristalización, estampado, planchado de tejidos, fabricación de Films plásticos y de papel satinado.

La resistencia a la corrosión (oxidación) incluso en condiciones extremas de temperatura y presión de los elementos cromados mantiene una superficie casi inalterable en contacto con muchos productos químicos.

La elevada dureza y su **resistencia al desgaste** favorecen la duración de los pistones hidráulicos, neumáticos, vástagos, guía hilos, camisetas y elementos de máquinas en general.

2.2.5.3 Cromado de piezas de forma cilíndrica

El cromado duro tiene un enorme campo de aplicación en este tipo de piezas, que están destinadas a diferentes aplicaciones en la industria como por ejemplo: cilindros para laminación de metales, papel y cartón, estampado de tejidos, hueco grabado, cilindros, secadores de productos químicos, rodillos de laminación de films plásticos, pistones hidráulicos.

El cromado duro aporta una valiosa contribución en todas las industrias que utilizan estos elementos. En muchos casos reduce a una tercera parte los gastos de mantenimiento y reparación, particularmente en aquellos materiales que trabajan en continuo rozamiento y desgaste. Con el cromado duro se alarga el tiempo de vida útil de los diferentes elementos mejorando el rendimiento de las máquinas.



2.2.5.4 Propiedades de la Película de Cromo Electro Depositado

Los recubrimientos de cromo duro para aplicación en ingeniería, cuyo proceso ha sido realizado correctamente, reunirán las siguientes propiedades especiales:

- Elevada resistencia al desgaste.
- Resistencia al rayado
- Dureza
- Resistencia a la corrosión
- Bajo coeficiente de rozamiento.
- Buena conductividad térmica y eléctrica
- El recubrimiento de cromo duro soporta adecuadamente altas temperaturas de trabajo (hasta 400°C) sin variar significativamente sus propiedades.

2.3.1 Microcontrolador

Es un circuito integrado el cual tiene las características principales de un computador, tales como unidades de procesamiento, unidades de memoria y unidades de entrada y salida; dicho dispositivo electrónico se emplea para alguna tarea determinada y a su vez se le conectan en sus entradas y salidas elementos eléctricos para cubrir de esta manera la función específica que este requerirá para controlar señales analógicas y digitales [9].

Este dispositivo tiene la estructura de un microcomputador, la cual se maneja con técnicas de circuitos lógicos programables de pequeñas dimensiones de igual modo se encuentran incorporados en un solo bloque de silicio conjunto a elementos conductores.



2.3.1.2 Diseño de sistemas con microcontroladores

Cuando se pretende diseñar un sistema con microcontroladores aparecen dos aspectos claramente diferenciados y a la vez relacionados entre sí.

Diseño del hardware: A partir de las especificaciones del sistema que se va a desarrollar es necesario configurar el cableado y los componentes electrónicos y los componentes del circuito práctico. Para ello es necesario conocer los requisitos que deben cumplir los microcontroladores es decir los recursos que van a ser usados, números de entradas y salidas, convertidores A/D, comparadores, puertos de comunicación serie, memorias de datos RAM y EEPROM, etc. Es importante que la definición del sistema que se diseña sea lo más clara y concisa posible y lo más cercana al resultado final.

Diseño del software: Una vez planteado el circuito eléctrico del sistema hay que elaborar el programa que le dará a funcionalidad requerida en las especificaciones del diseño. Si un subsistema del circuito se puede implementar por software no se debe implementar por hardware [13].

Los microcontroladores requerirán del desarrollo de programaciones para cada una de las funciones a desempeñar, por ende se requerirá de la ayuda un programa traductor que permita generar código basado en la aplicación, lo compile y genere un programa en lenguaje a la máquina.

En la actualidad hay una amplia gama de programas dedicados a este fin de diversos fabricantes siendo mikrobasic uno de estos programas dedicados para este fin.

2.3.1.3.- PROGRAMA MIKROBASIC

MikroBasic es una herramienta poderosa, rica en función del desarrollo para microcontroladores PIC. Está diseñado para proporcionar al cliente la solución más



fácil posible para el desarrollo de diversas aplicaciones, sin comprometer el rendimiento o el control. Dispone de un amplio conjunto de bibliotecas de hardware y una completa documentación [14].

2.3.1.4 Editor de código

Es un editor de texto avanzado es similar trabajar con el editor de texto estándar incluyendo funciones como: pegar, copiar, deshacer y acciones comunes en el entorno Windows.

Las características avanzadas incluyen en el editor:

- Sintaxis ajustable.
- Asistente de código.
- Plantillas de código.
- Auto corregir errores ortográficos comunes.

2.4.1 FORMAS DE CONTROL

Es la manera en la cual un sistema de control hace correcciones en respuesta a un error o diferencia entre el punto de ajuste set point la variable de proceso o variable controlada. El controlador interpreta los cambios de la variable (variaciones del error) y produce una acción correctiva para mantener el balance deseado en el proceso.

Cada forma de control tiene sus ventajas, características y limitaciones, por esto no se puede concluir de manera absoluta que existe una forma de control mejor que las demás, simplemente debe tenerse en cuenta que todos los procesos se comportan de forma diferente, así que el sistema de control que se escoja deberá obedecer estrictamente a sus características dinámicas y a las posibles perturbaciones que se puedan presentar. También debe considerarse que mientras más difícil sea controlar



un proceso, si se desea controlar de la mejor manera posible, más complicado será el modo de control que se adapte al citado proceso [15].

2.4.1.1 CONTROL EN LAZO CERRADO.

Se denomina también sistema de control realimentado, mantiene una relación entre la salida y la entrada de referencia, usando la diferencia como medio de control. En un sistema a lazo cerrado se alimenta al controlador con la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación que puede ser la propia señal de salida o la función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. Los sistemas de control en lazo cerrado en comparación con los sistemas de lazo abierto tienen como ventaja que el uso de la realimentación vuelve la respuesta de sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema [16].

2.4.1.2 Los controladores se pueden clasificar según su acción en:

a- Control con acción inversa

Control que ante un incremento positivo (+) respecto del valor deseado de la variable controlada, responde con un incremento negativo (-) de la variable manipulada.

b- Control con acción directa

Control que ante un incremento positivo (+) de la variable controlada, responde con un incremento positivo (+) de la variable manipulada.

Dentro de los distintos tipos de control por realimentación tenemos:



1. Control de Dos Posiciones (On-Off)

El control de dos posiciones es aquel en el cual el elemento final de control se mueve de una posición extrema a la otra dependiendo si la variable de proceso está por encima (Error Positivo) o por debajo (Error negativo) del set point. El elemento final de control se coloca en una de las dos posiciones fijas, no tiene posición intermedia, para un valor único de la variable de proceso [15].

Esto permite una entrada y/o salida del proceso ligeramente superior a las necesidades de operación normal, obteniéndose una serie de oscilaciones en la variable de proceso, debido al desbalance de energía y/o masa que existe entre la entrada y la salida.

2. Control Proporcional: En el control proporcional existe una relación lineal continua entre la variable de proceso y la posición del elemento final de control dentro de una gama de valores denominada banda proporcional. Esto quiere decir que el elemento final de control se mueve proporcionalmente a los cambios que sufre la variable de proceso en referencia al punto de ajuste, este tipo de control responde únicamente a la magnitud de la variable controlada y es insensible a la relación de duración de la desviación.

La ecuación que describe al control proporcional es la siguiente:

Control Proporcional

$$m(t) = \bar{m} + K_c * e(t) \quad \text{Ec (1)}$$

Donde:

$m(t)$ = salida del controlador.

K_c = ganancia de l controlador.

$e(t)$ = señal de error, diferencia entre el punto de ajuste y la variable de proceso.



\bar{m} = Salida del controlador en régimen permanente.

El problema que dan los controladores proporcionales es el de poseer una característica indeseable como lo es la desviación en régimen permanente, también conocido como Offset, este error se origina cuando, existiendo una condición de equilibrio, se presentan cambios de carga permanente y el proceso se estabiliza pero en una nueva posición, fuera del set point.

3. Control Proporcional-Integral: Muchos procesos no pueden ser operados con off-set, es decir, deben ser operados en el punto de ajuste o set point, así que al controlador debe añadirse alguna inteligencia adicional para lograr este objetivo, esta inteligencia adicional es conocida como la acción integral o acción de reset [15].

La parte integral repite la acción tomada por el modo proporcional en una cantidad de tiempo (t_i), mientras mas pequeño sea el valor de t_i , mas rápidamente el controlador repite la acción proporcional y mientras más grande sea el valor de t_i menos rápidamente el controlador repite la acción proporcional. [15]

La ecuación que describe el controlador PI es:

Ecuación 2 Control PI

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{1}{t_i} \int e(t) \quad \text{Ec (2)}$$

t_i = tiempo integral.

4. Control Proporcional-Integral-Derivativo: Algunas veces al sistema de control se le añade un modo conocido como acción derivativa, su propósito es el de anticipar hacia donde se dirige el proceso, vigilando la velocidad de cambio del error o su derivada.

El control PID es usado principalmente en sistemas que tienen una gran constante de tiempo, lo cual los hace poco susceptibles al ruido.

La ecuación que describe el control PID es:

Controlador PID

$$m(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{1}{t_i} \int e(t) dt + t_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ec (3)}$$

2.5.1 SCR

Es un dispositivo semiconductor biestable formado por tres uniones pn con la disposición pnpn, está formado por tres terminales, llamados ánodo, cátodo y puerta. La conducción entre ánodo y cátodo es controlada por el terminal de puerta. Es un elemento unidireccional (sentido de la corriente es único), conmutador casi ideal, rectificador y amplificador a la vez [17].

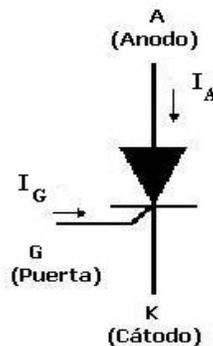


Figura 2: Símbolo del SCR

Fuente: [17]

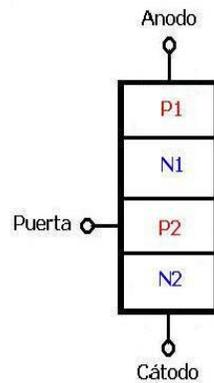


Figura3: Estructura básica del SCR

Fuente: [17]

2.5.1.2 CURVA CARACTERÍSTICA Y FUNCIONAMIENTO.

La curva característica del SCR, representa la corriente de ánodo (I_a) en función de la tensión aplicada entre ánodo y cátodo (V_{ak}). Cuando la tensión V_{ak} es nula, también lo es la intensidad de corriente I_a . Al aumentar dicha tensión en sentido directo, con corriente de puerta nula, si se supera la tensión V_{b0} , la transición de estado OFF a ON deja de ser controlada. Si se desea que el paso al estado "ON" se realice para tensiones V_{ak} inferiores a V_{b0} , será necesario dotar al dispositivo de la corriente de puerta (I_g) adecuada para que dicha transición se realice cuando la intensidad de ánodo supere la intensidad de enganche (I_L). Por el contrario, si el dispositivo está en conducción, la transición al estado "OFF" se produce cuando la corriente de ánodo caiga por debajo de la intensidad de corriente de mantenimiento (I_h).

Tanto para el estado de bloqueo directo, como para el estado de polarización inversa, existen unas pequeñas corrientes de fugas. Cuando se polariza inversamente se observa una débil corriente inversa (de fuga) hasta que alcanza el punto de tensión inversa máxima que provoca la destrucción del mismo [17].



El SCR es, por tanto, un dispositivo conductor solo en el primer cuadrante, en el cual el disparo se provoca por:

- *tensión suficientemente elevada aplicada entre ánodo y cátodo,*
- *intensidad en la puerta.* Se puede controlar así la tensión necesaria entre ánodo y cátodo para la transición OFF P ON, usando la corriente de puerta adecuada.

2.5.1.3 DISPARO DEL SCR

Se llama disparo del SCR al paso del estado de no conductor al de conducción. La forma más común de un SCR a su estado de conducción consiste en aplicar una tensión positiva entre la puerta y el cátodo. Esta tensión puede ser continua o un impulso. Una vez disparado el SCR este permanecerá conduciendo aunque desaparezca la tensión positiva entre la puerta y el cátodo.

2.5.1.4 Características dinámicas:

Tensiones transitorias:

- a) Valores de tensión superpuestos a la señal de la fuente de alimentación.
- b) Son breves y gran amplitud.
- c) La tensión inversa de pico no repetitiva (V_{rsm}) debe estar dentro de esos valores.

Impulsos de corriente:

- a) Para cada tiristor se publican curvas que dan la cantidad de ciclos durante los cuales puede tolerarse una corriente de pico dada.
- b) A mayor valor del impulso de corriente, menor es la cantidad de ciclos.



El tiempo máximo de cada impulso está limitado por la temperatura media de la unión.

Ángulos de conducción:

- a) La corriente y tensión media de un SCR dependen del ángulo de conducción.
- b) A mayor ángulo de conducción, se obtiene a la salida mayor potencia.
- c) Un mayor ángulo de bloqueo o disparo se corresponde con un menor ángulo de conducción.

2.5.1.5 PUENTE RECTIFICADOR SEMICONTROLADO

Durante el medio ciclo positivo, el tiristor T1 tiene polarización directa. Cuando éste se dispara en $v_t = a$, la carga se conecta a la alimentación a través de T1-D2 durante el periodo $v_t [p]$. Durante el periodo $v_t [(p + a)]$, el voltaje de entrada es negativo y el diodo de marcha libre D_m tiene polarización directa. Este diodo conduce para proporcionar la continuidad de corriente de la carga inductiva. La corriente de carga se transfiere de T1-D2 a D_m , pasando T1 y D2 al estado de desactivación [17].

Durante el medio ciclo negativo del voltaje de entrada el tiristor T2 queda con polarización directa, entrando en conducción en el instante $v_t = p + a$, hasta $v_t = 2p$ invirtiéndose entonces la polarización del diodo D_m y desactivándolo. La carga se conecta ahora a la alimentación a través de T2-D1.

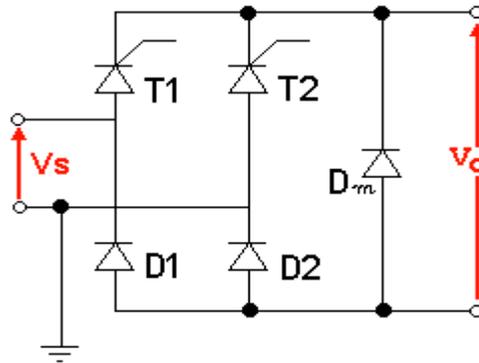


Figura4: Rectificador semicontrolado

Fuente: [http://rectificadores/semiconv/puente monofásico/funcionamiento](http://rectificadores/semiconv/puente%20monof%C3%A1sico/funcionamiento)



CAPITULO III
METODOLOGIA DE LA
INVESTIGACION



3.1 Proceso a ser Estudiado.

La empresa Ingemeca posee una máquina principal de cromado que en la actualidad se encuentra en operación de manera deficiente e incluso requiere del uso de una máquina de soldar como unidad de control averiada, esto trae como consecuencia problemas de operatividad en la máquina de cromado, por el cual se necesita un dispositivo que haga estable el proceso, en cuanto a la operación y funcionamiento en condiciones adversas (temperatura o cambios de la concentración de la solución).

3.2 Técnicas y métodos a ser aplicados (hardware y software)

Actualmente la máquina está trabajando a lazo abierto, auxiliada con una máquina de soldar, por tal motivo se aplicó un lazo de control cerrado con el fin de mantener la corriente constante y que el cromado salga uniforme.

Para eso se construyó construiremos un dispositivo en donde la interfaz entre el control y la fuerza ayudará a tener un uso adecuado del sistema, en donde se transforma la tensión alterna en tensión continua controlada. Se aplican los diferentes conocimientos obtenidos en la carrera en el área de la electrónica para la conexión del microcontrolador con los dos SCR 68-6105 B3. El trabajo que realizarán los SCR es transmitir el ángulo de conducción y en su defecto el voltaje que requiere cada pieza que se encuentra en el proceso de cromado, a mayor ángulo de conducción mayor es el voltaje que se genera, En la parte de control se tiene una variedad de controladores que podrán ser usados PD, PI, PID y acumulativo. Para la parte electrónica con los simuladores y otros programas de ayuda, se desarrollarán todas la interfaces y circuitos electrónicos de protección; necesarios para el desarrollo y funcionamiento del sistema. Estos programas pueden ser Live wire, Proteus, PCbwizard, para el diseño de los circuitos electrónicos.



3.3 Desarrollo de algoritmo sistemas.

En la elaboración del proyecto se utilizará un dispositivo encargado de recibir y suministrar la información para realizar el proceso de control requerido, con la utilización del PIC 18F2525 que llevara el control correspondiente de la corriente suministrada a la máquina de cromado, con reajuste del set-point, así como también señales de alarma en caso de emergencia o para la observación del nivel de la solución líquida (cromo), durante el cromado de las piezas, es necesario usar algoritmos con la finalidad de desarrollar las ejecuciones en un lenguaje de alto nivel, necesarias para automatizar la máquina de cromado.

El sistema que se desarrolla tendrá un control a lazo cerrado y se ajusta para manipular la corriente con el voltaje aplicado a la máquina; comenzando de esta forma con el lenguaje paso a paso de los cambios que dicho proceso pueda tener. El lenguaje de programación será en mikrobasic, en el cual primeramente se diseñará la estructura, sea en pseudocódigo o sea en diagrama de flujos para una mejor manipulación de los datos específicos.

3.4 Diseño del software.

El microcontrolador requerirá un programa diseñado en lenguaje máquina para ello se requerirá el uso de un compilador de alto nivel que permita desarrollar el programa mediante algoritmos conocidos, mediante funciones o diagrama de flujos.

En este caso se utilizará mikrobasic como lenguaje de programación el cual compilará la información suministrada. El software que se quiere desarrollar será cargado en el microcontrolador con el fin de ejecutar todas las secuencias y cálculos necesarios con el objetivo de estabilizar la máquina en el proceso, independientemente de la pieza que se le quiera hacer el cromado.



3.5 Aportes científicos y socio económicos.

Se va estudiar un programa adecuado y se desarrollaran diferentes estructuras electrónicas y códigos de programación con el fin de lograr el óptimo funcionamiento del proceso, por ende, quedaran documentados todas estas posibles soluciones para otros trabajos posteriores a este y no solo se dará solución a una problemática sino que dejará un antecedente físico e ilustrativo de todas las necesidades y soluciones planteadas por este proceso.

En el aspecto económico se busca con una inversión mínima, manufacturar un controlador especializado para controlar el proceso de manera óptima, evitando así el uso de de controladores de alto costo y los cuales no se ajustan a la necesidades de la empresa, por la cual un equipo como los PLC sobredimensionan los requerimientos que necesita el proceso.

3.6 Metodología de la investigación.

El proyecto tiene como finalidad la creación de soluciones, se debe seguir una metodología científica con la finalidad de cumplir un procedimiento lógico que permita seleccionar la solución más satisfactoria y luego proceder a la estructura de diseño que cumpla las necesidades

3.7 Técnicas de recopilación de análisis de datos:

Para la elaboración de este proyecto de investigación se aplicaron técnicas que sirven de base para recabar la información y datos del tema en estudio.

- Revisión bibliográfica de textos, de trabajo de investigación, artículos de diferentes publicaciones relacionadas con el tema de investigación, con el fin de obtener una amplia visión de soluciones y de procedimientos para cumplir el objetivo general.



- Observación directa: se obtendrán los datos que nos permitirán conocer con exactitud las condiciones operativas de los diversos componentes que conforman el circuito a realizar.

3.8- Fases para el desarrollo del proyecto:

3.8.1- Fase 1: Análisis del sistema actual

En esta etapa se obtendrá todos los valores necesarios no solo para la comprensión del sistema si no que también para el desarrollo del prototipo en cual se debe partir de la modelación matemática aproximada de la máquina de cromado todo esto a partir del análisis a ejecutar.

3.8.2- Fase 2: Diseño del esquema general.

Con los programas actuales de simulación, diseño, programación y con los datos obtenidos previamente durante el proceso de análisis, se busca obtener; el diseño final del dispositivo, que presente una ejecución correcta.

3.8.3- Fase 3: Implementación de la estructura física.

Esta fase será crucial para este proyecto, ya que con los datos obtenidos en la primera y en la segunda fase se realizaran los diseños necesarios para la construcción e implementación de dicho dispositivo.

3.8.4.- Fase 4: Integración del dispositivo.

Con los diseños de los diferentes sub-módulos y estructuras que conforman el dispositivo se procederá a la generación e integración con las interfaces necesarias para el correcto funcionamiento.



3.8.5.- Fase 5: montaje del prototipo y pruebas de calibración:

Con el prototipo desarrollado se procederá a la activación, puesta en marcha y pruebas en caliente para verificar el correcto funcionamiento, ajustes y calibraciones necesarias para su funcionamiento.

CAPITULO IV
DESARROLLO Y ANALISIS



4.1 DESCRIPCION TECNICA DE LA MÁQUINA

La máquina consta de una alimentación de energía eléctrica en forma sinusoidal trifásica, cuya función es alimentar el transformador T2 que tiene 2 entradas, una de ellas se alimenta de la red trifásica y la otra entrada se conecta a tensión continua. Este transformador, consta de seis bobinas por pares para cada fase logrando saturarlas con una séptima bobina a medida que se suministra potencia eléctrica en forma de tensión y corriente continua mediante la máquina de soldar.

Con la potencia controlada en forma de voltaje trifásico sinusoidal se alimenta el transformador reductor T1 que posee una capacidad en potencia de 120 KVA, con una tensión de salida de 12V sinusoidal y una corriente máxima de 5780A por fase. La conexión del transformador por el lado de alta es de 220V AC con conexión delta y el lado de baja con los 12V AC en conexión estrella.

A la salida del transformador reductor se encuentra el banco de diodos que convierte la tensión alterna en tensión continua así transformando la red trifásica sinusoidal en tensión continua con una capacidad en tensión máxima DC de 14V y en corriente de 10000 A aproximadamente. Con la acción del transformador reductor la salida regulada sería desde 13V AC como tensión máxima y de 1.2V AC como tensión mínima.

La máquina de soldar cuenta a su salida con una resistencia patrón que permite obtener una referencia de corriente de salida en forma de voltaje permitiendo así obtener la variable del proceso disponible para la realimentación. Esta señal está comprendida entre 1V y 10V, con un valor de corriente de 10000 A para el máximo de voltaje y 10000 A para el mínimo.

El transformador reactor T2 es el elemento final de control, y con la resistencia patrón a la salida se obtiene la variable de proceso, con esto se puede

lograr cerrar el lazo de control y hacer la acción necesaria para lograr la estabilidad requerida, tratando de mantener la corriente constante durante el proceso de cromado.

A continuación se presenta la fig.4.1 que muestra el diagrama unifilar que le suministra potencia a la máquina de cromado.

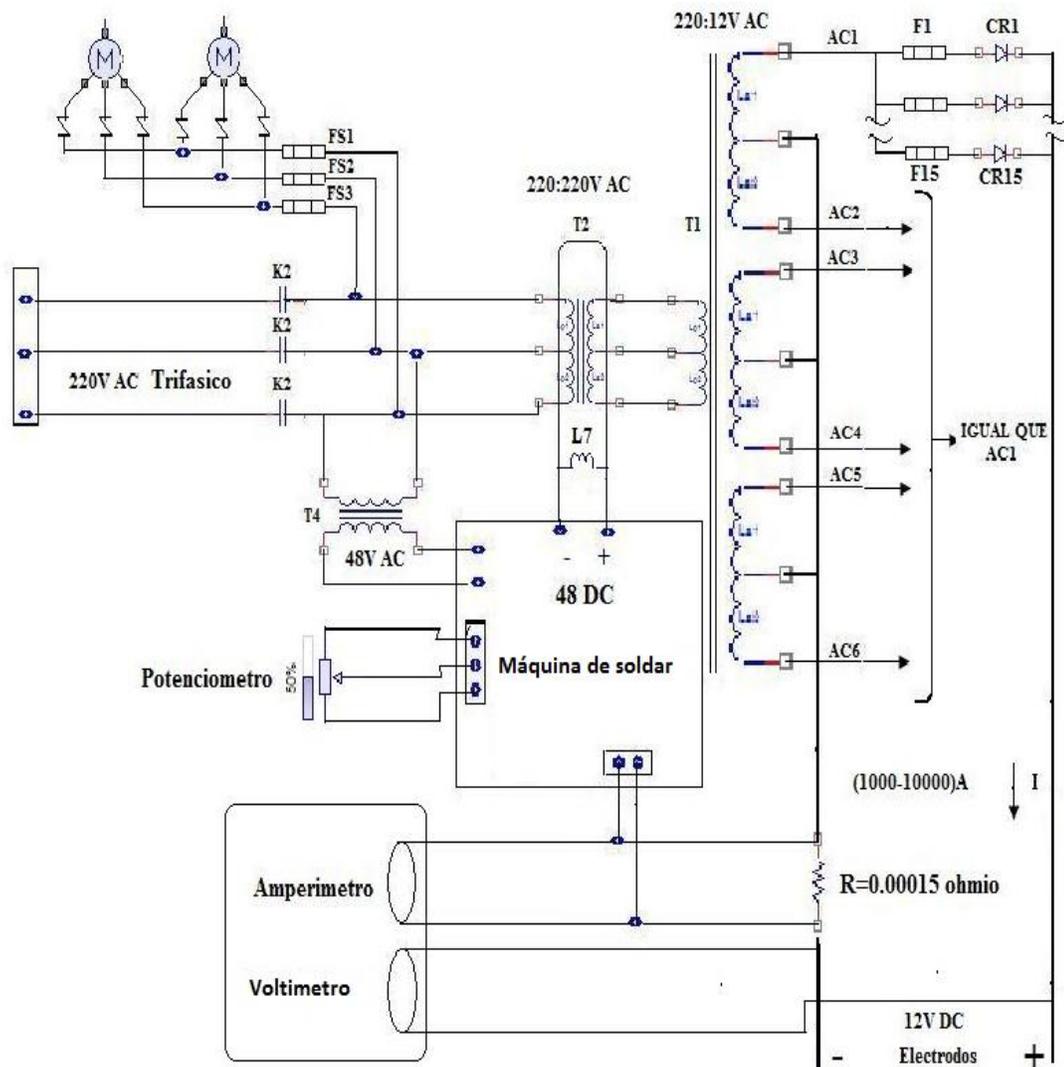


Fig. 4. 1 Diagrama unifilar de la máquina de cromado
Fuente: Plano de la empresa

4.2 SISTEMA DE CONTROL

La esquematización del diagrama de bloques que se tiene a continuación representa en forma simplificada el modelo de operatividad de la máquina de cromado, como puede apreciar tanto en el diagrama unifilar como en la figura que precede se denota los distintos cambios de tensión que el sistema posee, para así alimentar con una corriente lo más constante posible con el fin de obtener un cromado uniforme en las piezas sumergidas dentro del cloruro de cromo. La figura 4.2 muestra el sistema de control del proceso actual.

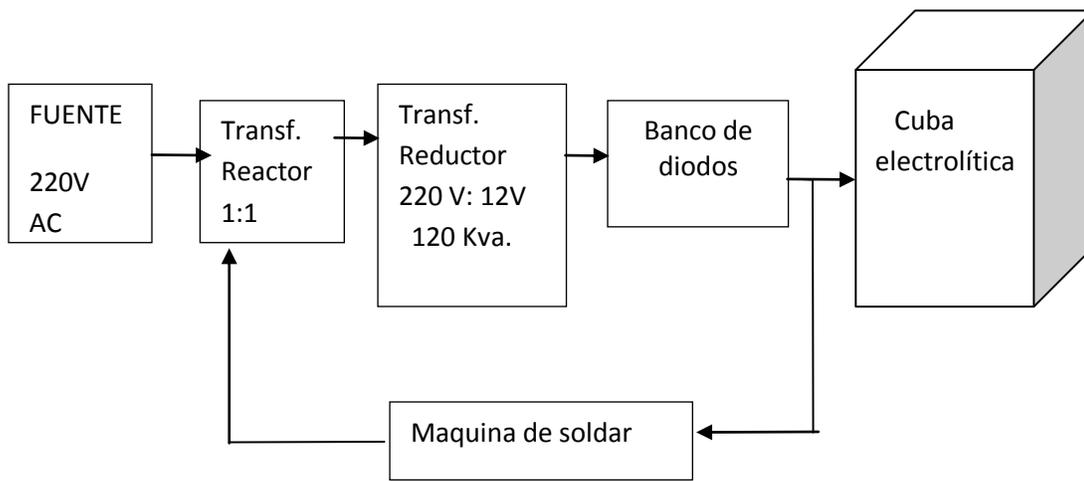


Fig. 4.2 Sistema de control del proceso actual.

Fuente: Elaboración propia

4.3.- DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DEL PROGRAMA

La unidad de control contará con un procesador con funciones especializadas y específicas.

El programa consta de tres partes fundamentales, la primera parte está constituida por las inicializaciones de las variables, declaraciones y lectura de seguridades, como es el nivel del tanque y la temperatura. Así mismo en esta parte



se define todas las variables imprescindibles que se requieren durante toda la ejecución del programa.

La segunda parte presenta las lecturas de las señales de campo y la direccionan a cada variable de interés que las relacione, como es la corriente del proceso y la temperatura, luego se comienza a ejecutar la acción de control con la ecuación del error:

$$\mathbf{ERROR = Kp (Sp - Vp)} \quad \text{donde} \quad \mathbf{VS = ERROR + ACUM}$$

Kp: Ganancia de valor unitario.

Sp: Set point

VP=Variable del proceso (se obtiene con la resistencia patrón).

Esta variable ACUM permite guardar el estado en que se mantuvo el error para así suministrarla de nuevo en la ecuación y poder definir el voltaje de salida.

En la tercera parte se llama a la función especial del microcontrolador, como lo es la interrupción externa, esto con el fin de identificar el inicio de la fase de la señal senoidal que se produce con la variable de salida (VS) obtenida de la etapa anterior, solo con la finalidad de que PIC encuentre el tiempo de espera para el momento que ocurre los flancos ascendentes de la señal senoidal que son necesarios para la activación del gate de los tiristores.

Finalmente mostrara por pantalla los valores de corriente real, set-point y temperatura para después arrancar con el ciclo nuevamente.

4.3.1. A continuación se muestra el código del programa:

program maquinadecromado

dim cnt as integer

dim til as byte

dim till,temp as word



```
dim til as word
DIM txt as string[16]
dim counter as word
dim point as word
dim ban as byte
sub procedure interrupt
if TestBit(INTCON,INTOIF) = 1 then ' incrementa el valor de til (variable de control
interna) y detecta inicio de fase para hacer el disparo correspondiente.
INTCON = %11010000 ' Set TOIE, clear TOIF
portc.1 = 0
inc (til) ' Representa que cada 80 veces va a representar la acción de control.
END IF
end sub
main:
portc.1 = 0
portb = 0
TRISB = %00100001
trisc = 0 ' declaracion de Puerto como salida
INTCON = %11010000 ' habitación del sistema de interrupciones
INTCON2 = %01000000
cnt = 0 '
Lcd_Config(PORTc,7,6,5,4,PORTc,3,1,2) 'Configuración de la pantalla LCD'
LCD_CMD(LCD_Cursor_OFF)
Lcd_Out(1, 1, "Unidad de Control")
delay_ms(1000)
Lcd_Out(2, 1, "Máquina de Cromado")
delay_ms(1000)
Lcd_Out(3, 1, "Control: SCR")
delay_ms(1000)
Lcd_Out(4, 1, "Introduzca I=?")
delay_ms(1000)
ban = 0
portb = 0
rec:
LCD_CMD(LCD_clear)
Lcd_Out(3, 6, "(C)Temperatura ")
```



```
Lcd_Out(1, 6, "(A)Setpoint  ")
Lcd_Out(2, 6, "(A)I Real  ")
Lcd_Out(4, 2, "Nivel NORMAL")
Inicio:
if portb.5 = 1 then
Lcd_Out(1, 1, "Nivel BAJO  ")
Lcd_Out(2, 1, "Proceso detenido  ")
Lcd_Out(3, 1, "por falta de Liquido ")
Lcd_Out(4, 1, "Llenar Cuba  ")
ban = 0
goto inicio
else
if ban = 0 then
ban = 1
goto rec
end if
end if.....
til = 0
ti = adc_read(0) 'Señal de realimentación
til1 = adc_read(1) 'Set point
temp = adc_read(2) 'Set point
wordToStr(temp, txt)
Lcd_Out(3,1,txt)
cnt = til1 - ti + cnt
til1 = 10*til1, (acondicionamiento de la señal para impresión por pantalla set- point)
wordToStr(til1, txt)
Lcd_Out(1,1,txt)
ti = 10*ti (acondicionamiento de la señal de corriente para la impresión por pantalla
wordToStr(ti, txt)
Lcd_Out(2,1,txt)
if cnt > 1022 then
cnt = 1022
end if
if 0 > cnt then
cnt = 0
end if
point = cnt
```



ciclo:.....

```
if til = 80 then
til = 0
goto inicio
end if
if portc.1 = 0 then
for counter = point to 1022
delay_us(4)
next counter
portc.1 = 1
end if
goto ciclo
end.
```

4.4_ESTUDIO DE LA TARJETA DE CONTROL MAESTRA

La tarjeta electrónica controla todo lo referente a los sistemas de alarmas y señales de control con la implementación del PIC 18F2525, el cual mantendrá la programación necesaria para la operatividad de la máquina de cromado.

Es así como la tarjeta es la encargada de habilitar la pantalla LCD y el arranque del proceso, por consiguiente recibirá el voltaje proveniente de la resistencia patrón $R=0.00015\Omega$, a su vez detecta la temperatura y nivel de la solución a través de la tarjeta de disparo para luego llevar las señales al PIC.

También posee un puerto para programación del PIC, el puerto de comunicación, el botón de reset que permite al microcontrolador volver a su condición inicial en caso de que quede en un ciclo infinito de ejecución debido a las distorsiones que puedan haber en el lugar tales como los ruidos proporcionados por las cargas inductivas y el resonador para generar ondas de 20 MHz; esta señal se obtiene mediante un oscilador de frecuencia que nos permita sincronizar el funcionamiento del microcontrolador.

Para la potencia de alimentación de los circuitos electrónicos, se empleó un transformador con derivación LP 575 con las características técnicas siguientes, a su entrada maneja una tensión de 110 V AC y en su salida 24V, teniendo como derivación +12 0 -12 V AC los cuales son llevados a los condensadores 2200 uF y 0.33 uF con el objetivo de disminuir el ruido de las señales que se generan en la red; la finalidad de usar este transformador es obtener una onda de mayor potencia para los circuitos electrónicos, de esta tensión de alimentación entramos a un puente rectificador de onda completa con el objetivo de pasar esta señal al regulador de tensión LM7805 que nos reduce la tensión de 12 v a 5 v DC para los componentes que requieren ese voltaje.

También tiene un amplificador operacional no inversor LM311M de ganancia alta que detecta el cruce por cero y conjunto al arreglo de resistencias y diodos nos darán el voltaje TTL necesario para la habilitación del PIC18F2525.

DISEÑO DE LA TARJETA CONTROL MAESTRA

A continuación se muestra en la figura 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7 las diferentes vistas y diseño de la tarjeta de control.

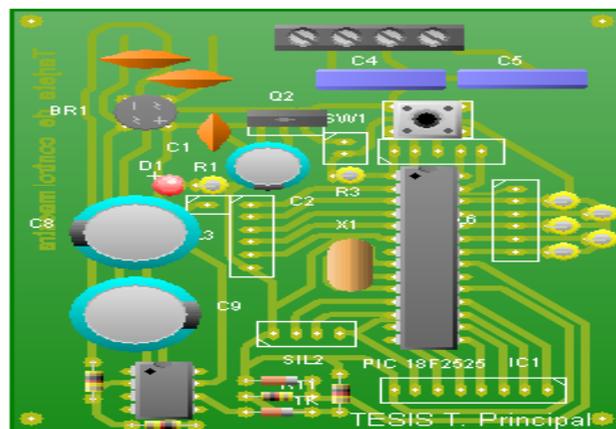


Figura 4.4- Circuito electrónico: Ubicación de componentes
Fuente: Elaboración Propia

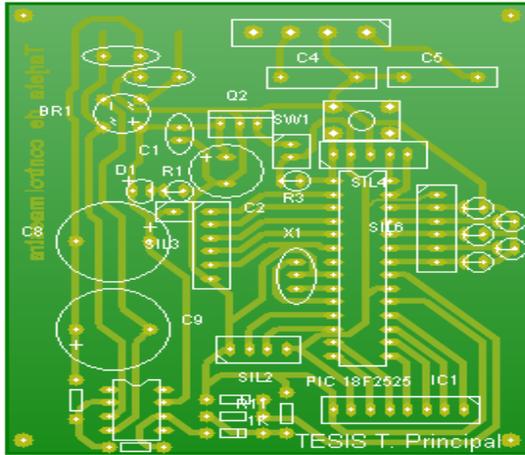


Figura 4.5- Circuito electrónico;
Ubicación de componentes

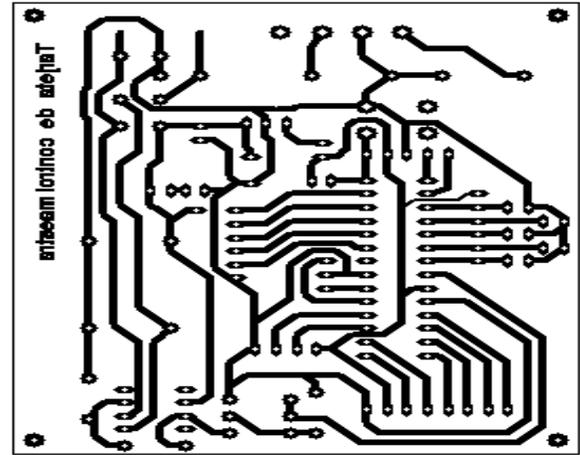


Figura 4.6- Circuito pistas

Fuente: Elaboración Propia

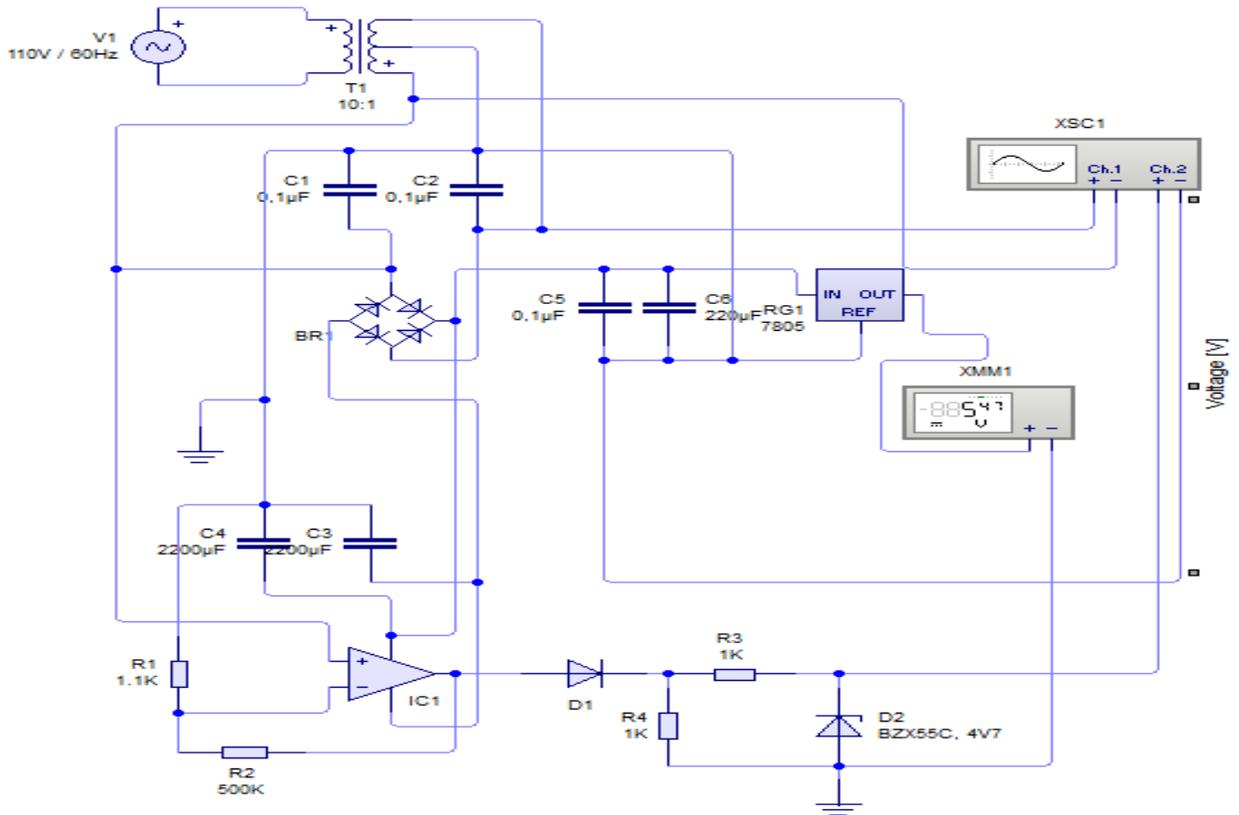


Figura 4.7- Circuito esquemático de la tarjeta de control maestra

Fuente: Elaboración Propia.



4.5-DESCRIPCION DE LA TARJETA DE DISPARO CONTROL

La tarjeta de disparo control está alimentada con 12V AC, en dicho arreglo se encuentran 2 transistores encargados de recibir la señal enviada del microcontrolador, para a su vez ser llevada a los transformadores de disparos cuya características en voltajes son: de 12V en sus entradas y con salidas de 4V aproximadamente, con el fin específico de colocar en funcionamiento los disparos que realiza los SCR.

El trabajo que realizan los SCR es de transmitir el ángulo de conducción y en su defecto el voltaje que requiere cada pieza que se encuentra en el proceso de cromado, a mayor ángulo de conducción mayor es el voltaje que se genera, en consecuencia es mayor el tiempo de los periodos en el disparo de estos dispositivos.

No obstante estos dispositivos como los SCR deben estar protegidos a fluctuaciones de corriente y voltaje, por el cual se les conecta Diodos Zener de 4.2V a la tarjeta con la finalidad de mantener el voltaje constante y un acoplamiento de un diodo de potencia para elevaciones de corrientes no deseadas en el momento de estar operando el sistema, ya que las inductancia a donde va a estar acoplado el dispositivo, pueden generar picos de voltaje que dañan los componentes electrónicos.

En el circuito de la figura 4.7 también podemos observar 1 amplificador operacional (UA741) de modo no inversor el cual soporta libertades de oscilaciones, con protecciones de sobrecargas tanto en la entrada como en la salida, con tensiones de operatividad entre los -22 y + 22 V, por consiguiente la tensión de 12V es la que operara en este amplificador y posee un rango de temperatura excelente el cual se encuentra en modo operativo entre (-55 a 125) grados centígrados soportables para el requerimiento en la condición de trabajo. También el circuito electrónico diseñado contiene 2 potenciómetros de 100K Ω para variar la ganancia del circuito amplificador que recibe dicha señal sensada con el fin de limitar y acondicionar la tensión que recibirá el PIC en su entrada analógica.

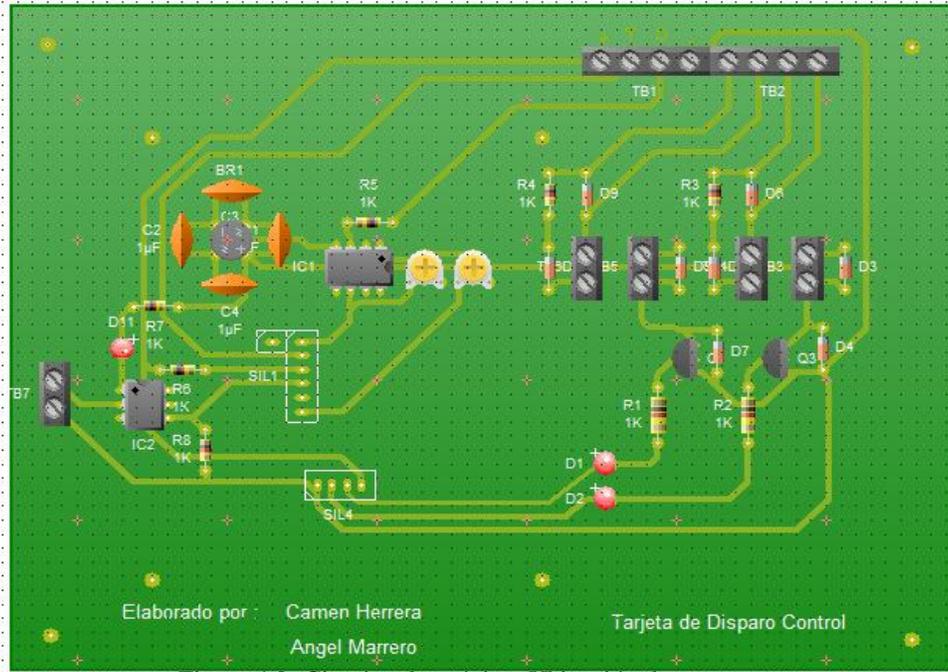


Figura 4.8- Circuito electrónico: Ubicación de componentes

Fuente: Elaboración Propia

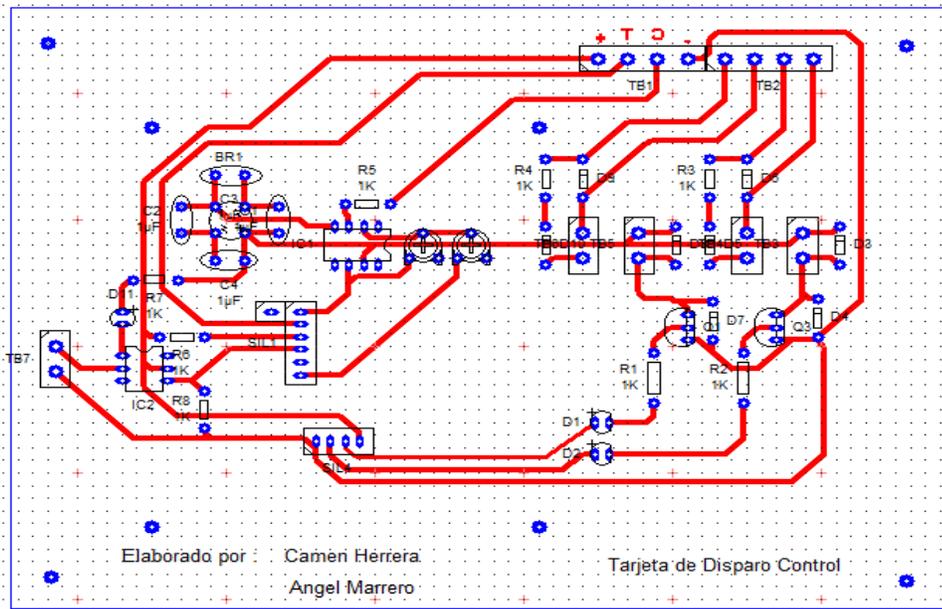


Figura 4.9- Circuito electrónico: tarjeta de disparo control

Fuente: Elaboración Propia

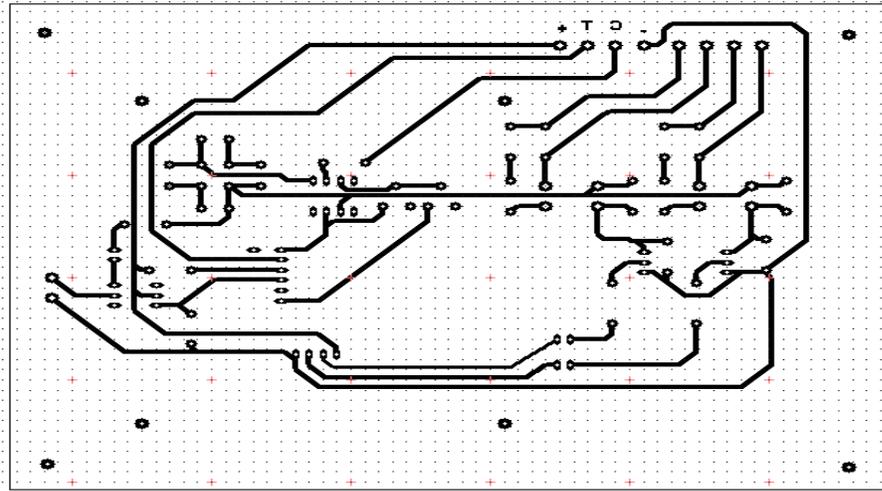


Figura 4.10- Circuito electrónico: vista de las Pistas
Fuente: Elaboración Propia

A continuación la figura 4.10 muestra el diagrama unifilar de la operatividad de la máquina de cromado ajustado al nuevo diseño.

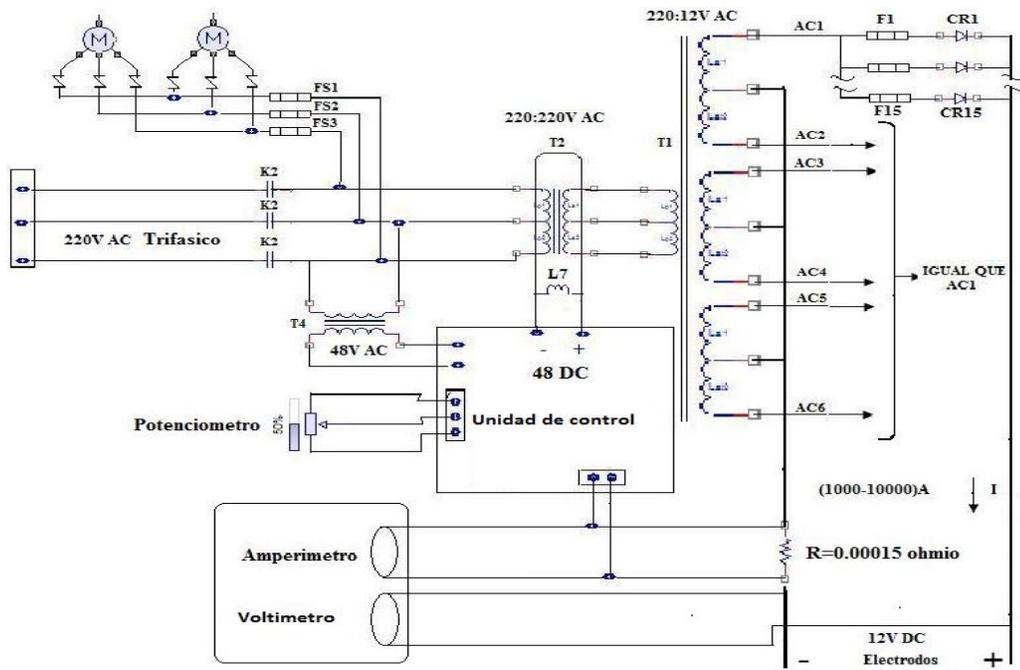


Figura 4.11- Diagrama unifilar con el dispositivo diseñado
Fuente: elaboración propia

4.6 SISTEMA DE CONTROL AJUSTADO AL DISEÑO

En el diagrama, notamos el lazo cerrado conjunto al diseño creado (fuente rectificadora de voltaje); la cual se puede explicar de la siguiente manera; se obtiene el valor de la corriente que circulara por la resistencia patrón de allí se sensa el voltaje y es donde las tarjetas electrónicas, junto al PIC y al puente rectificador dará una salida en un rango (0-48)V DC, que al ser acoplado al transformador de paso o reactor, este transformara la corriente constante necesaria para cada pieza sumergida en la tanque de cromado. Se modelo una ecuación del $\text{Error} = k_p (SP - V_p)$ que nos permite realizar el control , debido a esto se coloco un acumulador para guardar el valor de la salida y así mantener el sept-point., la ecuación quedo así:

$$V_S = \text{error} + \text{acum.}$$

A continuación la fig. 4.12 muestra el diagrama de control ajustado a la unidad de control.

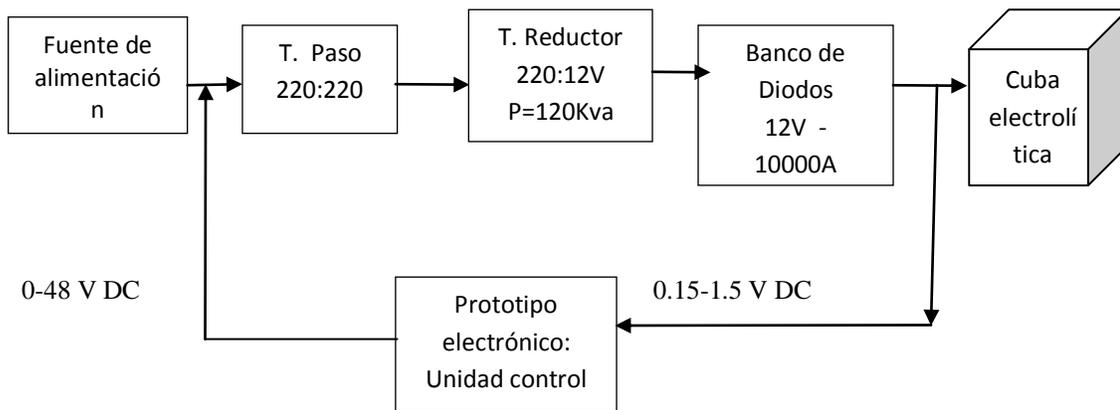


Figura 4.12 Diagrama de control ajustado a la unidad de control

Fuente: Elaboración propia

En el esquemático de la figura 4.13 se observa el comportamiento del puente rectificador semicontrolado de voltaje en cuyo caso, al tener 48V AC como tensión máxima, podemos notar el comportamiento del puente rectificador a su salida cuando se le envía 5V DC, simulando así la señal TTL enviada por el PIC a los transistores, los cuales permiten activar a los transformadores de disparos y estos a su vez a la puerta de los SCR, podemos notar lo antes descrito observando gráficamente la señal rectificada como también toda la tensión máxima que los SCR imparten.

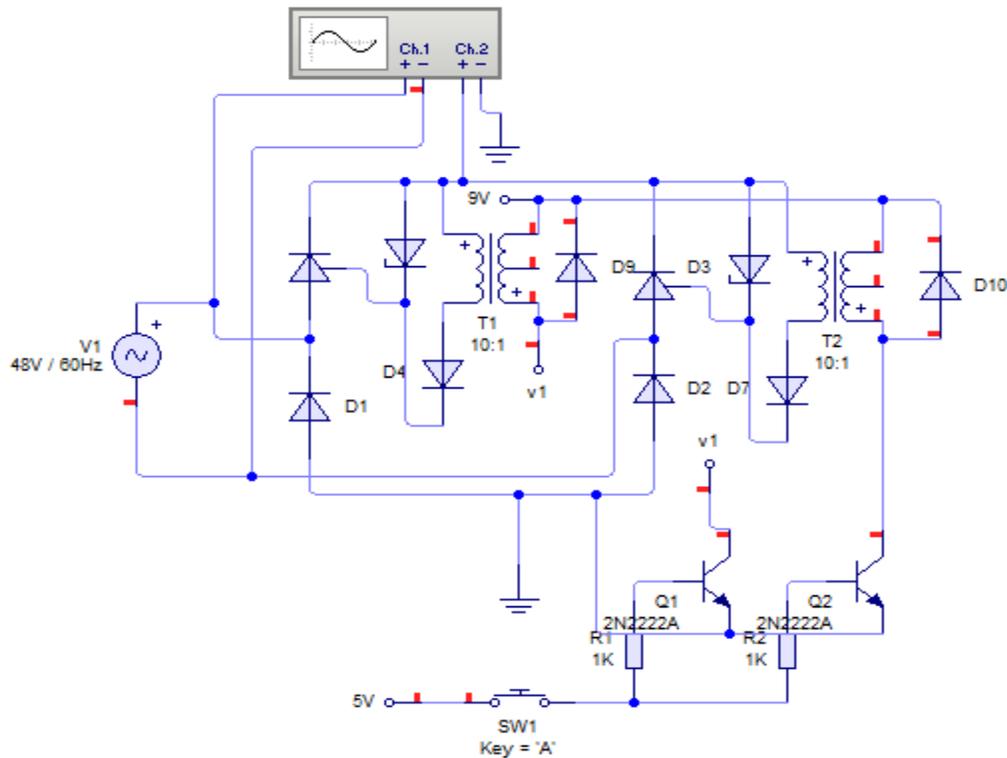


Figura 4.13- Circuito simulando los disparos del puente rectificador semicontrolado de onda completa
Fuente: elaboración propia

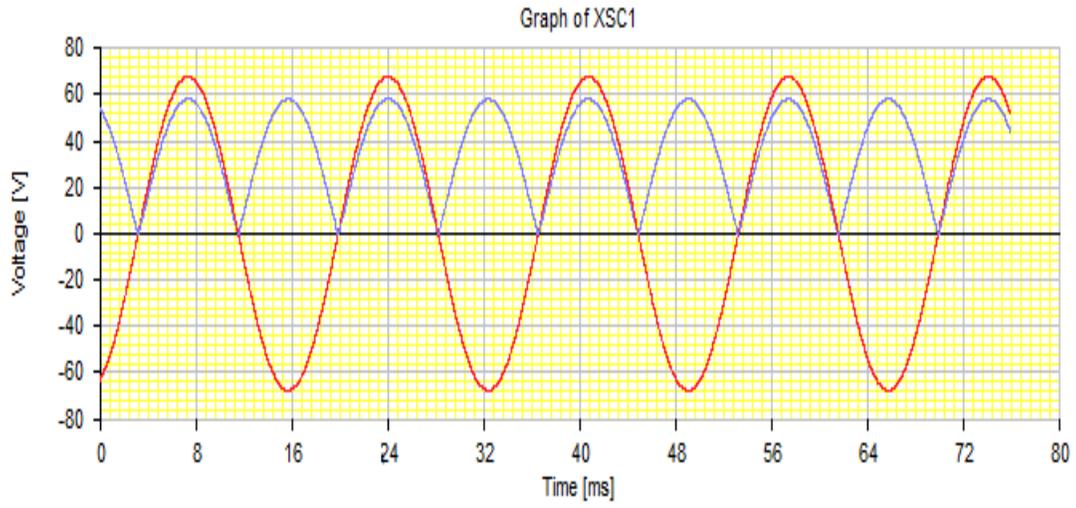


Figura 4.14- Gráfica del comportamiento del puente rectificador semicontrolado
Fuente: Elaboración propia

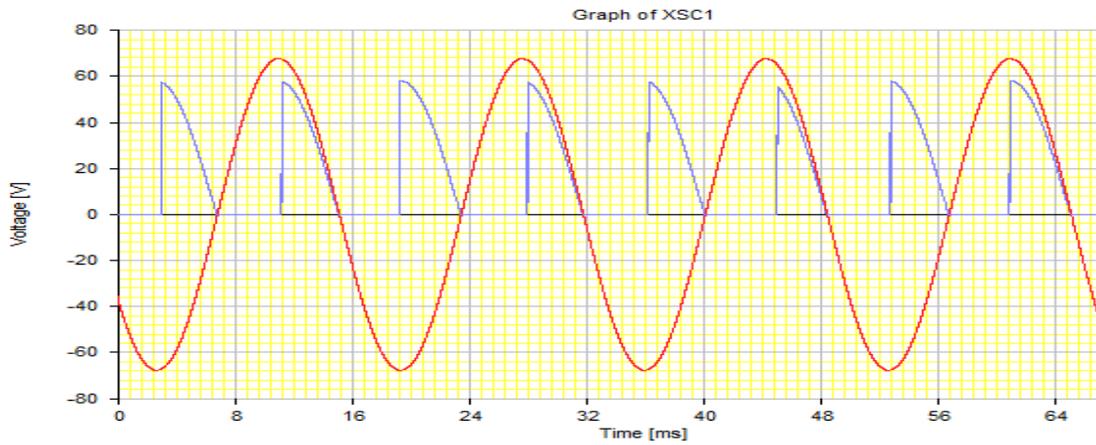


Figura 4.15- Gráfica del comportamiento del puente rectificador semicontrolado con disparos 90°
Fuente: Elaboración propia

Por último es de hacer notar que el set-point se introduce mediante un potenciómetro que dispone la planta como control actual, en cuyo caso en el diseño de la tarjeta de control maestra se dispuso entradas para acoplar dicho potenciómetro con la unidad de control.

4.7.1 SIMULACION DEL PROGRAMA

En los esquemas siguientes se realizaron las pruebas del programa que se cargo al PIC para el funcionamiento de la unidad de control en cuyo, se manipulo la variable del proceso con el set-point dado para lograr la estabilidad de la máquina de cromado en la medida que se realizaron las pruebas.

En las figuras 4.17 y 4.18 pueden notarse lo descrito anteriormente.

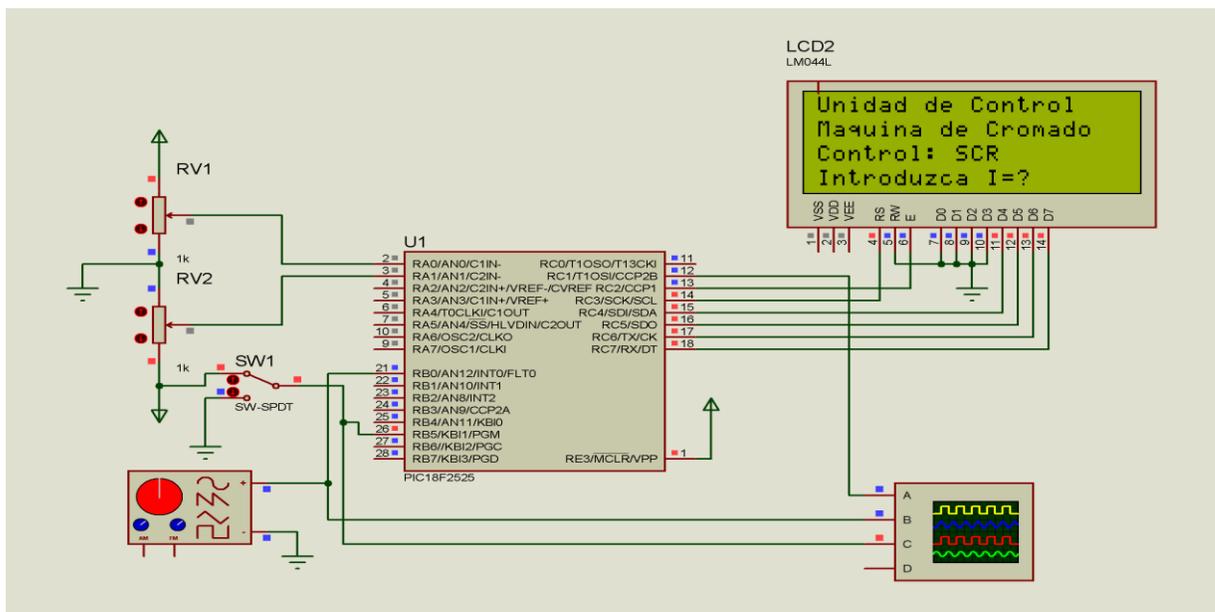


Figura 4.17 Simulación del Funcionamiento del PIC

Fuente: elaboración propia

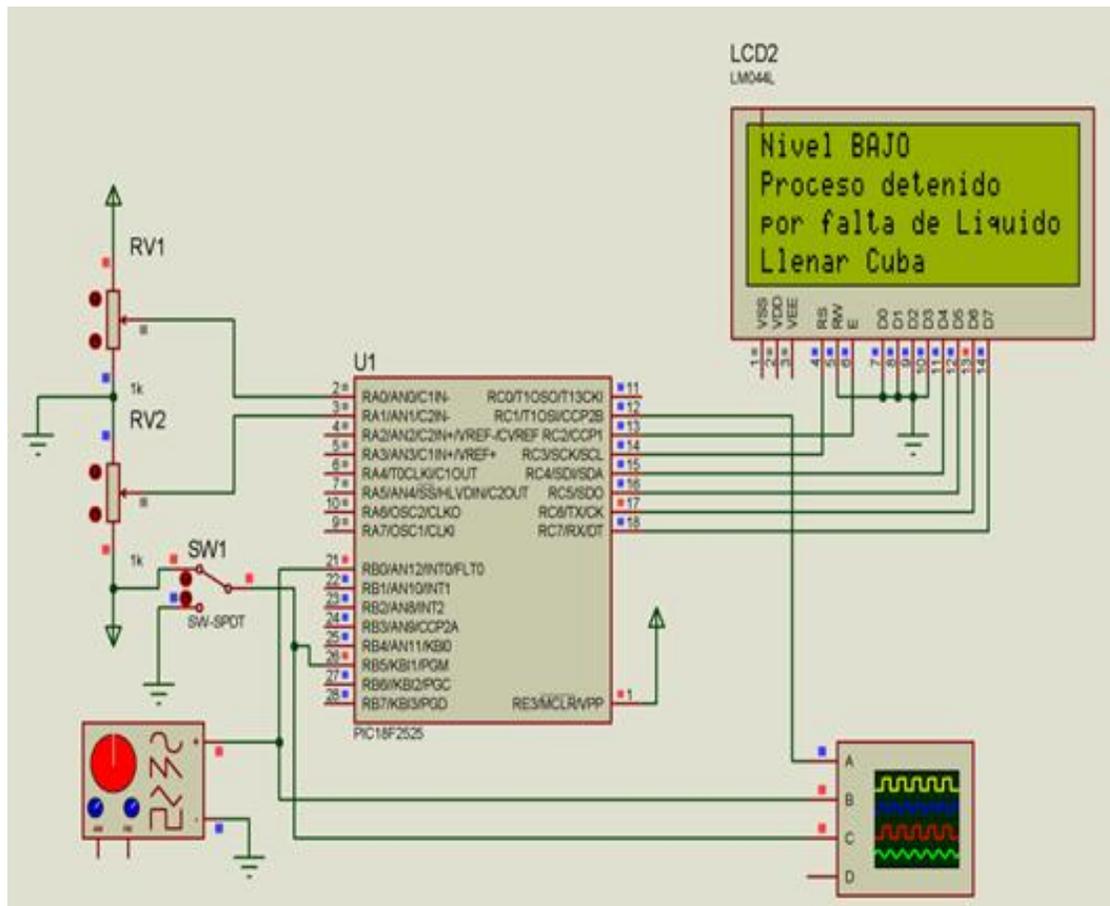


Figura 4.18 - Simulación del PIC activada la variable de seguridad
Fuente: elaboración propia

4.8.- ANALISIS DE RESULTADOS

Siguiendo la metodología de la investigación planteada en el Capítulo III para el desarrollo de este proyecto, se procede a la interconexión de las tarjetas brevemente diseñadas para finalmente obtener el prototipo final.

Una vez con el dispositivo terminado se fue probando el funcionamiento de las baquelitas de control maestro y la de disparo que tuviese alimentada con sus señales correspondientes y teniendo en cuenta que los niveles de tensiones correctas, el funcionamiento de la pantalla LCD y la ejecución de la programación del PIC

18F2525, seguidamente se procedió a cargar la programación que requerirá el microcontrolador para su posterior puesta en marcha ver (figura 4.19).

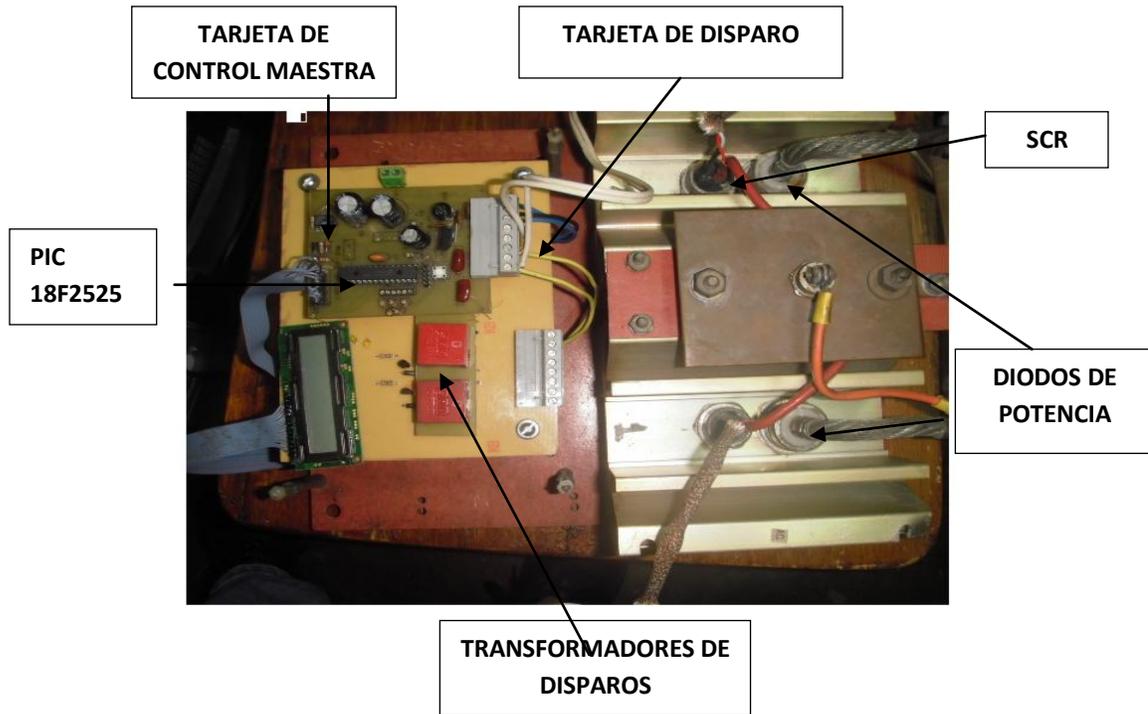


Figura 4.19.- Interconexión de las tarjetas en físico con sus respectiva alimentación
Fuente: Elaboración Propia

Por último nos dirigimos a la empresa para realizar las respectivas pruebas, lo primero que se realizó fue la calibración de la máquina de la siguiente manera se tomó una barra de calentamiento y se colgó en medio de las dos barras de plomo que contiene la cuba electrolítica sujeta a la vez de una barra de cobre que se encuentra por encima de dichas barras de plomo que va por encima de las dos barras de plomo, conectada la máquina de soldar se procedió a suministrar voltaje a medida que se movía la perilla de esta máquina y con la tensión que se puede observar en los medidores del tablero de la planta, se detectó la corriente que pasa por la resistencia patrón de valor $R= 0.00015 \Omega$ observando así la caída de voltaje por consiguiente para una corriente de 2000 A arrojó 0.3 V DC y para una corriente máxima de 10000 A esta arrojó 1.5V DC, de esta manera queda calibrada la máquina



de cromado, cabe destacar que dicho procedimiento es aplicado para tener el valor de tensión utilizando el nivel máximo de corriente con la finalidad de calibrar la unidad de control.

Finalmente la unidad de control se calibró de la siguiente manera: antes de acoplarla a la máquina de cromado, se utilizó una fuente de tensión variable de 9V DC; como se tiene 1.5V DC de la resistencia patrón producto de los 10000A máximos con que se puede cromar, se llevó a la fuente variable a dicho valor de tensión 1.5V DC y con los ajustes de los potenciómetros ubicados en la tarjeta de disparo control se obtuvo una ganancia del amplificador no inversor de 5V DC requeridos para el PIC.

Aplicando la ley del físico alemán [Georg Ohm](#) $R=V/I$ podemos obtener los voltajes siguientes: $R_{patron} = 0.00015 \Omega$, se pudo apreciar un error ± 500 .

TABLA DE DATOS

Corriente (A)	Voltaje (V)	Voltaje(V) experimental
2000	0.3	0.325
3000	0.45	0.441
4280	0.64	0.632
5520	0.83	0.823
6350	0.95	0.953
7240	1.09	1.026
8730	1.31	1.319
9250	1.39	1.387
10000	1.5	1.519

Tabla 4.1 Resultados I vs V
Elaboración propia

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

La ejecución del proyecto de investigación buscó obtener el cumplimiento de los objetivos planteados para así solventar la problemática existente a nivel de la industria Ingemeca, en cuyo caso se realizó el diseño de un sistema de control en lazo cerrado para una máquina de cromado utilizando un microcontrolador, con la finalidad de obtener una respuesta esperada de dicho diseño por lo que podemos concluir:

- Se diseñó y construyó el dispositivo para ajustarlo a la máquina de cromado como unidad de control en lazo cerrado tomando en cuenta los componentes eléctricos ya existentes en dicha planta, con la necesidad de reducir costos en la construcción de una etapa específica de dicha unidad.
- Los datos arrojados durante la puesta en marcha de la unidad de control con la máquina de cromado fueron muy cercanos a los obtenidos analíticamente, presentando así una buena implementación para mejorar la eficiencia de la máquina.
- La información aportada por el personal que labora en dicha planta permitió adquirir los conocimientos necesarios en cuanto al funcionamiento de la actual máquina de cromado, sumando así sus aportes que fueron claves para el levantamiento del problema.
- Se usó un microcontrolador PICF182525 que cumple con los requerimientos de la señales a manejar por la unidad de control, en la cual se colocaron medidas de protección proveniente de los ruidos emitidos por las cargas inductivas que vienen de los transformadores existentes para el cromado de las piezas. En otro sentido la instalación de la unidad de control permitió obtener un cromado con mayor eficiencia.



- En la programación del microcontrolador, se configuró para que detecte señales como el nivel de cloruro de cromo en el tanque, temperatura y corriente, donde el nivel trabajará como señal de arranque y alarma en caso tal que detecte la existencia o no existencia del cloruro de cromo en el tanque de cromado.
- Se instaló una pantalla LCD con el objetivo de que el operador observe los pasos mínimos para el arranque del proceso de cromado y a su vez pueda interpretar alguna parada durante el cromado por falta de cloruro de cromo.
- Con este diseño los niveles de seguridad aumentan considerablemente para el operario, ya que le permite trabajar lo suficientemente alejado de la zona de donde se labora, en vista de esto no corre el riesgo de contaminación, por la alta peligrosidad que presenta las evaporaciones del cloruro de cromo.

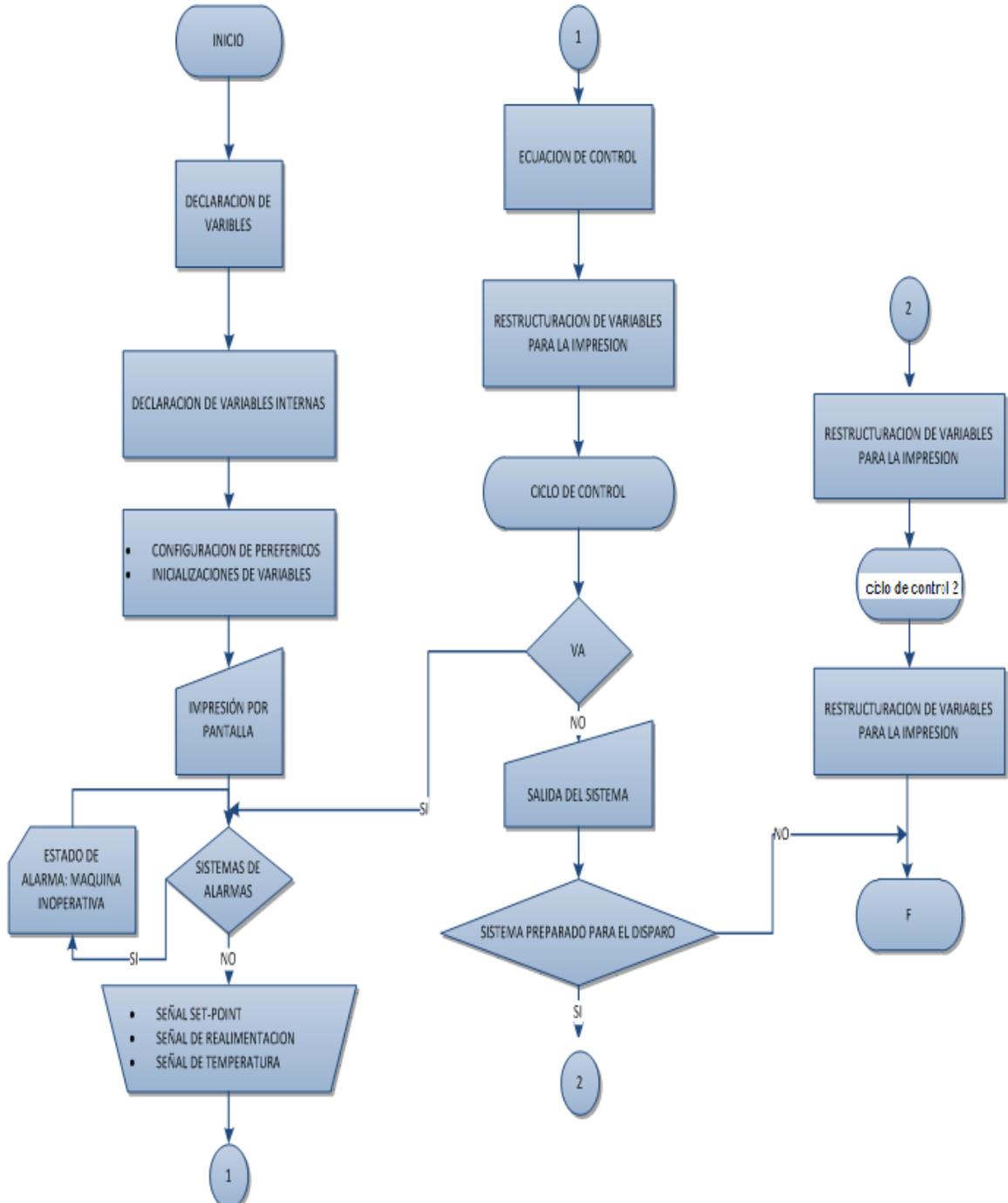


RECOMENDACIONES

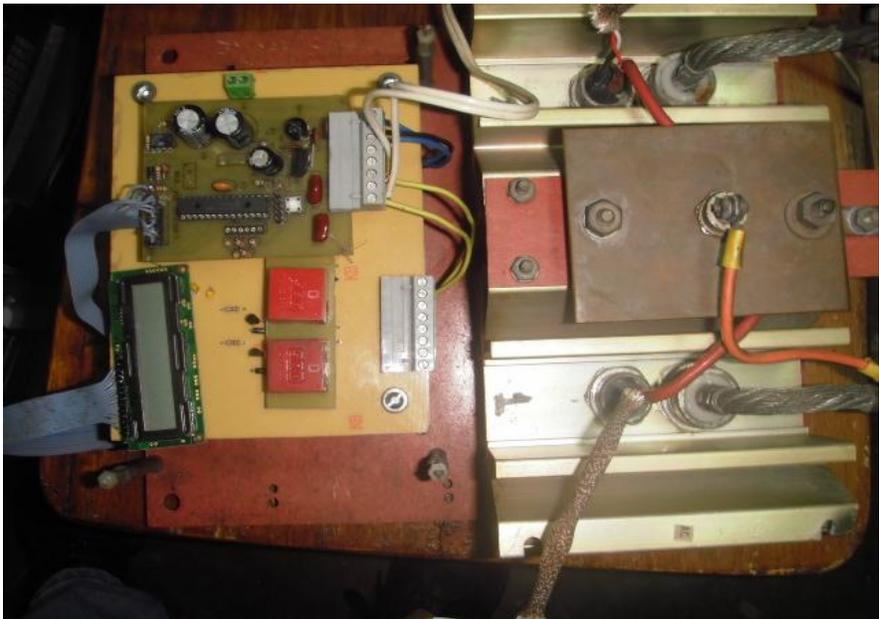
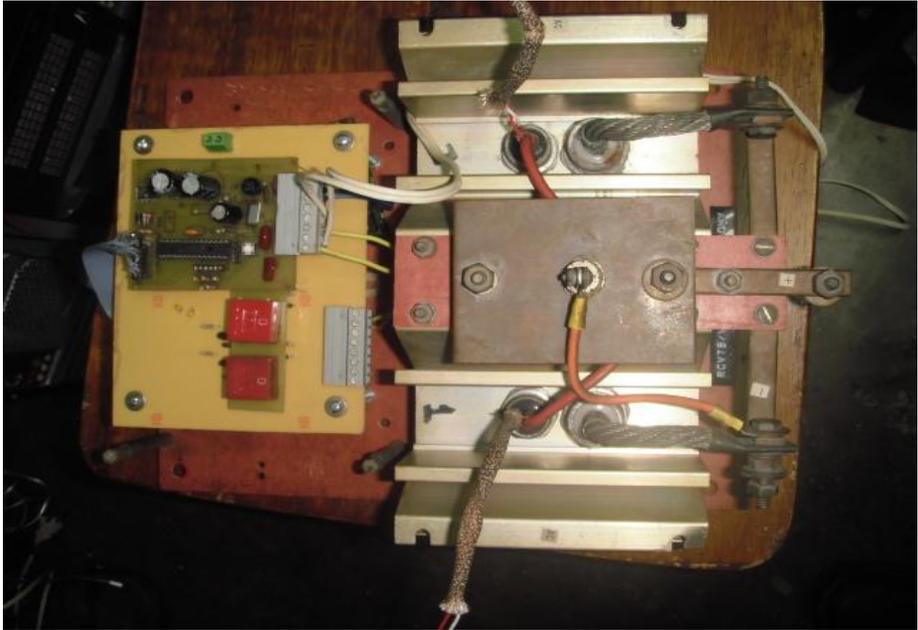
- Colocar un banco de condensadores a la entrada del transformador reactor, para evitar los flickers o ruidos provenientes de la red.
- Instalar un teclado al tablero para introducir las variables como por ejemplo: la corriente.
- Cambiar todos los instrumentos de medición como de instrumentación para hacer que el proceso sea más estable.
- Colocar una pantalla de visualización remota que se adapte al nuevo sistema.
- Llevar los planos del sistema a normas, ya que se encuentran obsoletos, y en los mismo no se encuentran los nuevos cambios realizados a la máquina.

Apéndice A
Diagrama de flujo del programa

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DISEÑADO PARA LA UNIDAD DE CONTROL



Apéndice B
Fotos del protipo final



Apéndice C
Datasheet PIC18F2525



PIC18F2525/2620/4525/4620

Data Sheet

28/40/44-Pin

Enhanced Flash Microcontrollers
with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoC, KEELoC logo, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE, rPIC and SmartShunt are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

FilterLab, Linear Active Thermistor, MXDEV, MXLAB, SEEVAL, SmartSensor and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, dsSPEAK, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, Mindi, MiWi, MPASM, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, mTouch, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PICtail, PIC³² logo, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, REAL ICE, rLAB, Select Mode, Total Endurance, UNiVO, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2008, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==**

Microchip received ISO/TS-16949:2002 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona; Gresham, Oregon and design centers in California and India. The Company's quality system processes and procedures are for its PIC[®] MCUs and dsPIC[®] DSCs, KEELoC[®] code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.



PIC18F2525/2620/4525/4620

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology

Power Management Features:

- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Ultra Low 50nA Input Leakage
- Run mode Currents Down to 11 μ A Typical
- Idle mode Currents Down to 2.5 μ A Typical
- Sleep mode Current Down to 100 nA Typical
- Timer1 Oscillator: 900 nA, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 1.4 μ A, 2V Typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, up to 40 MHz
- 4x Phase Lock Loop (PLL) – Available for Crystal and Internal Oscillators
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - Fast wake from Sleep and Idle, 1 μ s typical
 - 8 use-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - Provides a complete range of clock speeds from 31 kHz to 32 MHz when used with PLL
 - User-tunable to compensate for frequency drift
 - Secondary Oscillator or using Timer1 @ 32 kHz
 - Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source 25 mA/25 mA
- Three Programmable External Interrupts
- Four Input Change Interrupts
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules, one with Auto-Shutdown (28-pin devices)
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module (40/44-pin devices only):
 - One, two or four PWM outputs
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart

Peripheral Highlights (Continued):

- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module Supporting 3-Wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- Enhanced Addressable USART module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN/J2802
 - RS-232 operation using internal oscillator block (no external crystal required)
 - Auto-wake-up on Start bit
 - Auto-Baud Detect
- 10-Bit, up to 13-Channel Analog-to-Digital (A/D) Converter module:
 - Auto-acquisition capability
 - Conversion available during Sleep
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing
- Programmable 18-Level High/Low-Voltage Detection (HLVD) module:
 - Supports interrupt on High/Low-Voltage Detection

Special Microcontroller Features:

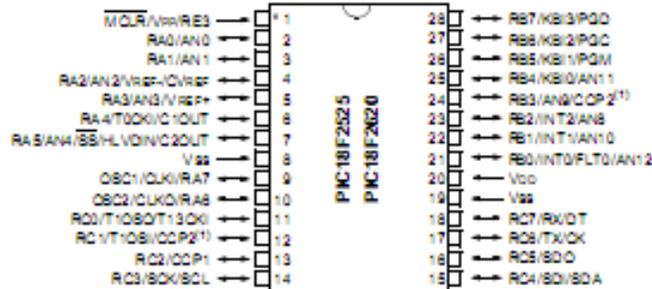
- C Compiler Optimized Architecture:
 - Optional extended instruction set designed to www.microchip.com/efl
 - 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory Typical
 - 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory Typical
 - Flash/Data EEPROM Retention: 100 Years Typical
 - Self-Programmable under Software Control
 - Priority Levels for Interrupts
 - 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
 - Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 131s
 - Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
 - In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins
 - Wide Operating Voltage Range: 2.0V to 5.5V
 - Programmable Brown-out Reset (BOR) with Software Enable Option

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		USART	Comp.	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI	Master I ² C™			
PIC18F2525	48K	24576	3968	1024	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2620	64K	32768	3968	1024	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4525	48K	24576	3968	1024	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4620	64K	32768	3968	1024	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3

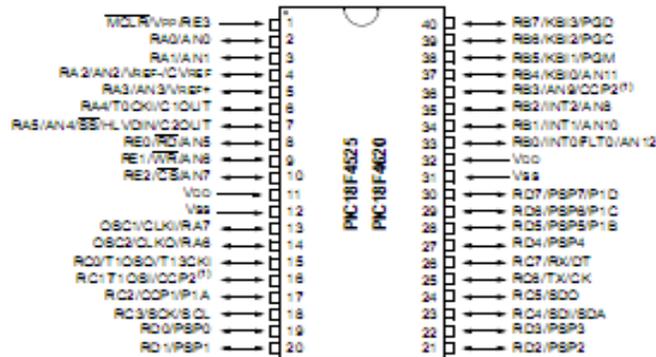
PIC18F2525/2620/4525/4620

Pin Diagrams

28-Pin SPDIP, SOIC



40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

PIC18F2525/2620/4525/4620

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device-specific information for the following devices:

- PIC18F2525
- PIC18F2620
- PIC18F4525
- PIC18F4620
- PIC18LF2525
- PIC18LF2620
- PIC18LF4525
- PIC18LF4620

This family offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price – with the addition of high-endurance, Enhanced Flash program memory. On top of these features, the PIC18F2525/2620/4525/4620 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high-performance, power sensitive applications.

1.1 New Core Features

1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F2525/2620/4525/4620 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be reduced by as much as 90%.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled but the peripherals still active. In these states, power consumption can be reduced even further, to as little as 4%, of normal operation requirements.
- **On-the-Fly Mode Switching:** The power-managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power-saving ideas into their application's software design.
- **Low Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer are minimized. See Section 26.0 "Electrical Characteristics" for values.

1.1.2 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F2525/2620/4525/4620 family offer ten different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- Four Crystal modes, using crystals or ceramic resonators
- Two External Clock modes, offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O)
- Two External RC Oscillator modes with the same pin options as the External Clock modes
- An internal oscillator block which provides an 8 MHz clock and an INTRC source (approximately 31 kHz), as well as a range of 8 user-selectable clock frequencies, between 125 kHz to 4 MHz, for a total of 8 clock frequencies. This option frees the two oscillator pins for use as additional general purpose I/O.
- A Phase Lock Loop (PLL) frequency multiplier, available to both the High-Speed Crystal and Internal Oscillator modes, which allows clock speeds of up to 40 MHz. Used with the internal oscillator, the PLL gives users a complete selection of clock speeds, from 31 kHz to 32 MHz – all without using an external crystal or clock circuit.

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fail-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low-speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset, or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available.

PIC18F2525/2620/4525/4620

2.0 OSCILLATOR CONFIGURATIONS

2.1 Oscillator Types

PIC18F2525/2620/4525/4620 devices can be operated in ten different oscillator modes. The user can program the Configuration bits, FOSC3:FOSC0, in Configuration Register 1H to select one of these ten modes:

1. LP Low-Power Crystal
2. XT Crystal/Resonator
3. HS High-Speed Crystal/Resonator
4. HSPLL High-Speed Crystal/Resonator with PLL Enabled
5. RC External Resistor/Capacitor with Fosc/4 Output on RA8
6. RCIO External Resistor/Capacitor with I/O on RA8
7. INTIO1 Internal Oscillator with Fosc/4 Output on RA8 and I/O on RA7
8. INTIO2 Internal Oscillator with I/O on RA8 and RA7
9. EC External Clock with Fosc/4 Output
10. ECIO External Clock with I/O on RA8

2.2 Crystal Oscillator/Ceramic Resonators

In XT, LP, HS or HSPLL Oscillator modes, a crystal or ceramic resonator is connected to the OSC1 and OSC2 pins to establish oscillation. Figure 2-1 shows the pin connections.

The oscillator design requires the use of a parallel out crystal.

Note: Use of a series out crystal may give a frequency out of the crystal manufacturer's specifications.

FIGURE 2-1: CRYSTAL/CERAMIC RESONATOR OPERATION (XT, LP, HS OR HSPLL CONFIGURATION)

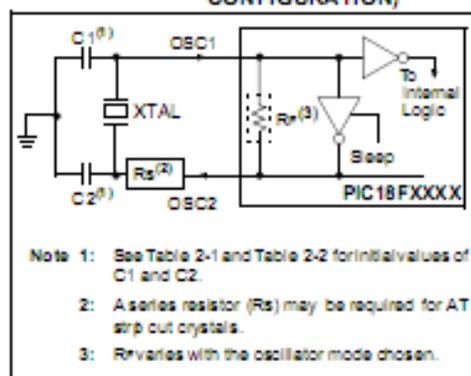


TABLE 2-1: CAPACITOR SELECTION FOR CERAMIC RESONATORS

Typical Capacitor Values Used:			
Mode	Freq	OSC1	OSC2
XT	3.58 MHz	15 pF	15 pF
	4.19 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	30 pF	30 pF
	4 MHz	50 pF	50 pF

Capacitor values are for design guidance only.

Different capacitor values may be required to produce acceptable oscillator operation. The user should test the performance of the oscillator over the expected VDD and temperature range for the application.

See the notes following Table 2-2 for additional information.

Apéndice D
Datasheet Puente rectificador
W005-W10M

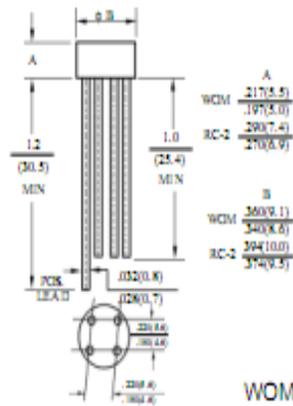
W005 – W10

1.5A WOM 桥式整流器

1.5A WOM BRIDGE RECTIFIERS

最大额定值、电性 MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS
 Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified. Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, diode current by 20%.

型号 TYPE	最大反向 峰值电压 Maximum Peak Reverse Voltage	最大平均 正向电流 Maximum Average Forward Output Current ($T_j=40^\circ\text{C}$)	最大正向 浪涌电流 Maximum Forward Peak Surge Current ($t=8.3\text{ms}$ Superimposed)	最大正向 峰值电压 Maximum DC Forward Voltage Forward Voltage drop per element at $I_f=1.0\text{ADC}$	最大反向 电 流 Maximum DC Reverse Current at rated DC Blocking Voltage per element		结 温 Operating Junction Temperature $^\circ\text{C}$	外型尺寸 Package Dimensions
	V_R	I_{AV}	$I_{SM}(\text{Surge})$	V_F	I_R	T_j		
W005	50	1.5	50	1.1	10	500	125	WOMRC-2
W01	100							
W02	200							
W04	400							
W06	600							
W08	800							
W10	1000							



WOM RC - 2

W005-W10

1.5A 桥式整流器额定值与特性曲线

1.5A BRIDGE RATING & CHARACTERISTIC CURVES

FIG. 1 • FORWARD DERATING CURVE

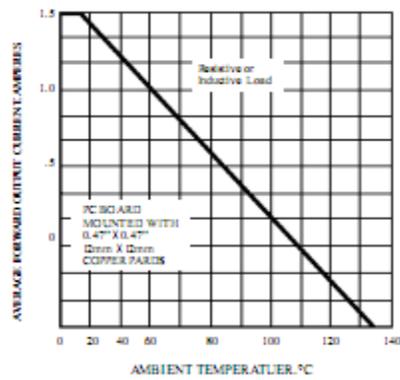


FIG. 2 • PEAK FORWARD SURGE CURRENT

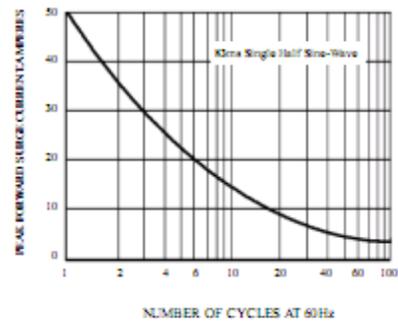


FIG. 3 • TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

