

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**

International Contracting Group.

ICG S.A.

**Diseño e implementación de un Sistema Experto para el control de la
temperatura de vulcanizadoras de moldes para joyería.**

**Informe de proyecto de graduación para optar por el título de ingeniero en
electrónica con el grado académico de licenciatura.**

Edgar Varela Cascante

CARTAGO 12/5/2005

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

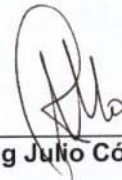
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



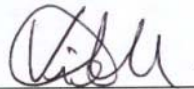
Ing. Gabriela Ortiz L

Profesor lector



Ing Julio Córdoba A

Profesor lector



Ing. Victorino Rojas M.

Profesor asesor



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 13 de abril de 2005

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 13 de abril 2005

Edgar Varela
Edgar Varela Cascante
Céd: 1-960-545

RESUMEN

En la industria de maquila de joyería nacional, se utiliza un proceso llamado de “*cera perdida*”, el cual consiste en realizar moldes en hule del modelo que se producirá; el tamaño y el peso de la pieza final dependerá de la dureza de estos moldes, ya que en estos se inyecta cera caliente a presión, lo que provoca la expansión del modelo, lo que causa un mayor consumo de materia prima en la elaboración del mismo.

A nivel mundial y local, se sabe que en el proceso de vulcanizado, la temperatura es la variable principal en la determinación de la dureza del hule, por lo tanto un control preciso de la misma es indispensable para la joyería.

En la actualidad existen sistemas rígidos de control, los cuales cumplen únicamente con la función de controlar la temperatura de un equipo específico, pero últimamente se desarrollan sistemas inteligentes, como los **sistemas expertos**, el cual es un tipo de software que imita el comportamiento de un experto humano en la solución lógica de un problema.

El sistema desarrollado, además de realizar el control de la temperatura de las vulcanizadoras utilizadas, cuenta con un sistema experto capaz de ayudar al usuario del mismo a resolver los problemas más comunes en el proceso de vulcanizado, transmitiendo sus sugerencias al bloque de control de temperatura de cada máquina.

Palabras clave: sistema experto, joyería, vulcanizado, hule, molde.

ABSTRACT

In the industry of national jeweler's, a process call of "lost wax" is used, this consists on carrying out molds in rubber of the pattern that will take place; the size and the weight of the final piece will depend on the hardness of these molds, in these hot wax is injected to pressure, that causes the expansion of the pattern, what causes a bigger matter consumption prevails in the elaboration of the same one.

At world and local level, it is known that in the process of having vulcanized, the temperature is the main variable in the determination of the hardness of the rubber, therefore a precise control of the same one is indispensable for the jeweler's.

At the present time rigid systems of control exist, which only fulfill the function of controlling the temperature of a team specify, but lately intelligent systems are developed, as the expert systems, which is a software type that she/he imitates the behavior of a human expert in the logical solution of a problem.

The developed system, besides carrying out the control of the temperature of the used vulcanizadoras, it has an expert system able to help the user of the same one to solve the problems but common in the process of having vulcanized, transmitting their suggestions to the block of control of temperature of each it schemes.

Words key: expert system, jeweler's, vulcanized, rubber, mold.

Dedicatoria.

A mi familia, por los años de esfuerzo y dedicación, invertidos en con el único propósito de alcanzar una meta personal de convertirme en ingeniero en electrónica, por sus grandes sacrificios tanto materiales como personales, les dedico el mayor de los logros alcanzados por mi persona hasta este momento.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción.	11
1.1 <i>Problema existente e importancia de su solución.</i>	11
1.2 <i>Solución Seleccionada.</i>	16
Capítulo 2: Meta y objetivos.	17
2.1 <i>Meta.</i>	17
2.2 <i>Objetivos generales.</i>	17
2.3 <i>Objetivos específicos.</i>	17
a. <i>Objetivos de hardware.</i>	17
b. <i>Objetivos de software.</i>	18
c. <i>Objetivos de documentación.</i>	18
Capítulo 3: Marco teórico.	19
3.1 <i>Descripción del sistema o proceso a mejorar</i>	19
3.2 <i>Antecedentes Bibliográficos.</i>	21
3.3 <i>Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.</i>	21
Capítulo 4: Procedimiento metodológico.	23
4.1 <i>Estudio del problema presente.</i>	23
4.2 <i>Estudio de cada variable del proceso y su efecto.</i>	23
4.3 <i>Estudio de la máquina a utilizar.</i>	23
4.4 <i>Planteamiento de posibles soluciones.</i>	23
4.5 <i>Escogencia de la mejor solución.</i>	23
4.6 <i>Evaluación de la solución.</i>	24
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.	25
5.1 <i>Análisis de soluciones y selección final.</i>	25
5.2 <i>Descripción del hardware utilizado.</i>	25
5.3 <i>Descripción del software del sistema.</i>	29
5.3.1 <i>Generalidades.</i>	29
5.3.2 <i>Pantalla principal.</i>	32
5.3.3 <i>Pantalla de problemas.</i>	33
5.3.4 <i>Pantalla de Ajustes.</i>	35
5.3.5 <i>Pantalla Ayuda.</i>	35
5.3.6 <i>Programación del microcontrolador.</i>	36
Capítulo 6: Análisis y resultados.	38
6.1 <i>Resultados.</i>	38

6.2	<i>Análisis.</i>	53
Capítulo 7.	Conclusiones y recomendaciones.	58
7.1	<i>Conclusiones.</i>	58
7.2	<i>Recomendaciones.</i>	59
Bibliografía		60
Apéndices		61
A.1	<i>Glosario, abreviaturas y simbología.</i>	61
A.2.	<i>Manual de usuario.</i>	62
A.3	<i>Información sobre la empresa.</i>	70
A.3.1	<i>Descripción de la empresa.</i>	70
A.3.2.	<i>Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto.</i>	71
A.3.3.	<i>Antecedentes Prácticos.</i>	72
Anexos.		73
Anexo B.1.	<i>Datos técnicos sobre el hule utilizado.</i>	73
Anexo B.2.	<i>Vulcanizadora Deluxe vulcanizar 110V.</i>	73
Anexo B.3.	<i>Componentes utilizados.</i>	75
Anexo B.4.	<i>Información para el sistema experto.</i>	84
Anexo B.4.1.	<i>Traducción de Información para el sistema experto.</i>	85
Anexo B.5.	<i>unidades de dureza shore A.</i>	86
Formulas		87

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.	Proceso de maquila de joyería.	15
Figura 2.	Diagrama de bloques del sistema.	16
Figura 3.	Preparación del Hule.	19
Figura 4.	Cortado del hule adecuado al tamaño del molde.	19
Figura 5.	Preparación del molde.	20
Figura 6.	Proceso de vulcanizado.	20
Figura 7.	Circuito de control de señales luminosas y sonora.	27
Figura 8.	Circuito de potencia para las resistencias de calefacción.	28
Figura 9.	Temperatura vs Voltaje medido.	30
Figura 10.	Linealización mediante recta.	31
Figura 11.	Linealización mediante polinomio de orden 2.	31
Figura 12.	Curva Característica temperatura vs tiempo.	38
Figura 13.	Modelo matemático del sistema.	40
Figura 14.	Temperatura vs Tiempo, con el controlador.	42
Figura 15.	Circuito acondicionador de temperatura.	44
Figura 16.	Voltajes para el acondicionador de temperatura.	45
Figura 17.	Pantalla principal Sistema Experto hule Blanco.	47
Figura 18.	Pantalla principal Sistema Experto hule Rosado.	47
Figura 19.	Pantalla principal del software desarrollado.	48
Figura 20.	Pantalla de solución de problemas.	48
Figura 21.	Pantalla de configuración.	49
Figura 22.	Pantalla de ayuda.	49
Figura 23.	Diagrama de flujo del sistema inicio.	50
Figura 24.	Diagrama de flujo del sistema temperatura.	51
Figura 25.	Diagrama de flujo del sistema soque.	51
Figura 26.	Diagrama de flujo bloque final.	52
Figura 27.	Diagrama de flujo bloque soque final.	52
Figura B.2.1.	Vulcanizadora a controlar.	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.	Definición de pines para las variables de entrada.	26
Tabla 4.2.	Definición de pines para las variables de salida.	26
Tabla 5.3.1.	Palabras de comunicación entre la PC y el microcontrolador.	32
Tabla 6.1.	Datos de temperatura del modelo real y matemático.	41
Tabla 6.2.	Datos de temperatura del sistema con el controlador.	42
Tabla 6.3.	Dureza de los moldes antes y después del control.	43
Tabla 7.1	Temperatura vs voltaje medido.	46
Tabla B.2.1.	Características de la vulcanizadora.	74

Capítulo 1: Introducción.

1.1 Problema existente e importancia de su solución.

En **I.C.G. S.A.** se trabaja la maquila de joyería mediante el proceso de cera perdida. Este proceso consiste en obtener modelos en cera de la pieza original, estos se obtienen de la elaboración de moldes en hule de las piezas solicitadas.

Estos modelos en cera son dispuestos sobre un eje de cera, en una distribución que recibe el nombre de árbol, por su forma.

Posteriormente estos árboles ingresan en un cilindro metálico el cual es rellenado con yeso. Una vez que el yeso adquiere la firmeza necesaria se ingresan los cilindros en hornos para endurecer el yeso y para que la cera se evapore, con el objetivo de obtener una cavidad en el yeso con la forma del árbol de cera original, lo que da nombre al proceso **cera perdida**.

Después del horneado los moldes de yeso ingresan en la máquina de inyección del oro, la cual se encarga de llevar a un estado líquido la materia prima con la que se obtendrá la joyería; este oro líquido es vaciado en la cavidad que dejó la cera y se deja enfriar, obteniéndose de nuevo el árbol pero ahora en oro o plata, finalmente estos árboles se desarman para obtener las diferentes piezas.

Los ingenieros en producción industrial y metalurgia de la empresa detectaron pérdidas de materia prima desde hace varios años.

Se concluyó que al realizar moldes en hule se presentan variaciones en el volumen de la pieza que se obtiene de los mismos, debido principalmente a variaciones en la temperatura en el proceso de vulcanizado del hule el cual modifica las propiedades físicas del caucho, lo que hace al caucho muy elástico, resistente a la rotura y poco sensible a las variaciones de temperatura..

Estas variaciones de volumen significan un incremento en la cantidad de materia prima (oro o plata), necesaria para elaborar la pieza final.

Se detectó, además, que existían deformaciones en los moldes de hule debido al tiempo de vulcanizado, lo que limita la vida útil del molde producido.

Anterior a la elaboración del presente proyecto se realizaron las siguientes pruebas:

Vulcanizado de una misma pieza, variando solamente la temperatura con la que se estaba trabajando.

Se elaboraron moldes de la misma pieza a una temperatura específica, pero variando el tiempo de moldeo.

Se tomaron mediciones de las temperaturas, las presiones y tiempos más adecuados a los cuales se debería trabajar cada tipo de hule.

Se intentó que los operarios prestaran más atención al tiempo de trabajo de cada muestra en las vulcanizadoras, sin embargo por la cantidad de funciones que cumplen los operarios del departamento se siguen presentando pérdidas de material por descuidos en las diferentes variables del sistema.

Con estos antecedentes se estableció que el problema de volumen de las piezas finales, se debía a variaciones en la temperatura de vulcanizado, con las que no se alcanzaba la dureza necesaria de los moldes de hule.

Al trabajarse con 2 tipos de hule, se deben de manejar diferencias en las variables del sistema para cada uno, sin embargo en el departamento de moldeo se ajusta cada una de las ocho vulcanizadoras (figura B.2.1), sin tener en cuenta el tipo de material que se está utilizando en ese momento.

Este procedimiento utilizado en el departamento de moldeo, induce una serie de inconvenientes:

- Recalentamiento de los moldes, lo que causa fisuras en los mismos y por tanto deformaciones en los modelos obtenidos.
- Los moldes son retirados del proceso del vulcanizado en un tiempo menor al adecuado, lo que causa mala contextura del hule y por ende deformaciones en los modelos.
- Una presión no uniforme durante el vulcanizado, se transformará en deformación del molde en hule y fallas en el producto final.

Por las características de los tipos de hules utilizados en el departamento, al presentarse variaciones muy marcadas de temperatura, más de 4 °F o menos de 4 °F, con respecto a la temperatura Teórica de trabajo; el molde en hule no presenta la dureza necesaria, más de 39 unidades de dureza “shore A”¹ (anexo B.5.), lo que implica que al momento de realizar la inyección de la cera, esta expandirá el molde y presentará un aumento en su volumen con respecto a la muestra original, que se traduce en un mayor consumo de materia prima.

¹ Shore A: Unidad de medición de dureza de algunos materiales como hule, plásticos y siliconas.

Es de suma importancia para los intereses de la empresa el poder solucionar el problema de volumen de los modelos de cera, ya que se ven en la necesidad de utilizar personal extra en el proceso de pesado de estos modelos, para de esta forma disminuir las pérdidas de materia prima.

Por último la empresa presenta pérdidas de horas de trabajo de los operarios de este departamento, debido a la necesidad de repetir el proceso de moldeo hasta que se obtenga el molde adecuado de la pieza que está trabajando. Para la elaboración de un molde se tarda aproximadamente 55 minutos.

Por recomendación del ingeniero encargado del departamento se realizaron cambios severos en el proceso de vulcanizado para tener un mayor control de la temperatura y el tiempo con los que se están trabajando los moldes; el objetivo es obtener la dureza máxima que presenta cada uno de los tipos de hule que se utilizan en este proceso.

El proceso de producción utilizado por la empresa se ilustra en la figura 1.

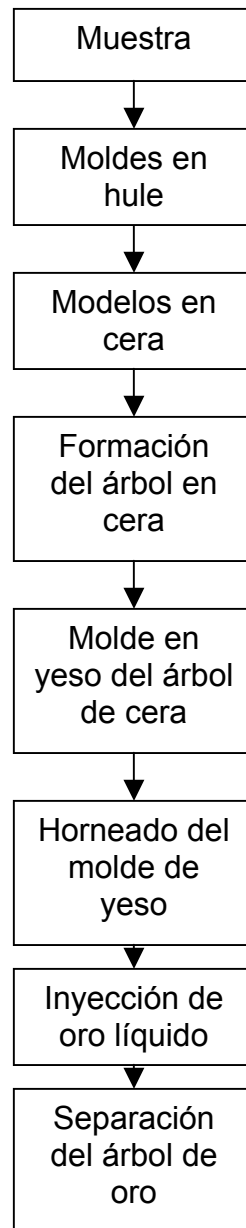


Figura 1. Proceso de maquila de joyería.

1.2 Solución Seleccionada.

A. La empresa requiere que se tenga un control más exacto de la temperatura y el tiempo de trabajo con el que se realiza el proceso de vulcanizado.

B. Este control debe estar acorde con lo que establece el fabricante del hule que se utiliza, ya que se determinó que estos valores (Teóricos), son los que cumplen mejor los requerimientos de la empresa, para la obtención de la dureza máxima de cada tipo de hule utilizado.

C. Es de suma importancia que la temperatura a la cual se trabaja cada tipo de hule no presente variaciones de más o menos 3 °F de la temperatura Teórica, y que el tiempo de trabajo sea el indicado por el fabricante (Valores teóricos de temperatura y tiempo Anexo B.1).

Para cumplir con los requerimientos de la empresa, se desarrollo un control de temperatura tipo ON / OFF, la interfase con el usuario se basa en un Sistema Experto el cual se encarga de ayudar a los operarios del sistema en la corrección de problemas comunes en los moldes de joyería, además de presentar la información necesaria, para un adecuado funcionamiento.

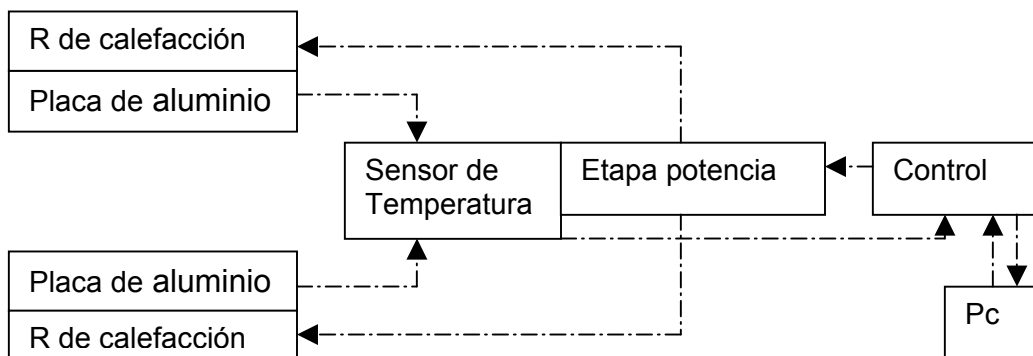


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema.

Capítulo 2: Meta y objetivos.

2.1 Meta.

El proyecto se desarrolló con la meta de solucionar los problemas más comunes de moldeo del departamento de moldes, los cuales se debían principalmente a las variaciones en la temperatura durante el proceso de vulcanizado.

2.2 Objetivos generales.

1. Aumentar dureza de los moldes de hule.
2. Liberar a los operarios del sistema de labores simples.
3. Mejorar corrección de fallas mediante un Sistema Experto, para errores de moldeo.

2.3 Objetivos específicos.

a. Objetivos de hardware.

1. Desarrollar e implementar un circuito acondicionador del voltaje medido, para medición del microcontrolador.
2. Desarrollar un circuito para control de los diferentes componentes del sistema, para el adecuado funcionamiento de cada módulo.
3. Desarrollar e implementar un circuito de control de la potencia de las resistencias de calentamiento, para controlar la temperatura de la máquina.

b. Objetivos de software.

1. Desarrollar un software para comunicación del sistema de control y PC.
2. Disponer de un software para el control de las señales luminosas.
3. Implementar un software para el control de señales sonoras.
4. Implementar un Sistema Experto, para la corrección de errores comunes de moldeo.
5. Desarrollar un software para el control de la temperatura de cada máquina.

c. Objetivos de documentación.

1. Desarrollar un manual de usuario, para el uso del sistema.

Capítulo 3: Marco teórico.

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

El proceso de vulcanizado utilizado en el departamento de moldeo, consiste en preparar placas de hule en grupos de 3 capas (figura 3), posteriormente estos grupos se cortan al tamaño del marco a utilizar para el moldeo (figura 4), se procede a empaquetar el modelo entre dos capas de hule (figura 5), seguidamente se procede a aplicar temperatura constante y presión constante para que el hule se vuelva elástico y adquiera la forma del modelo en su interior (figura 6), después de 50 minutos el molde es retirado y llevado a temperatura ambiente.

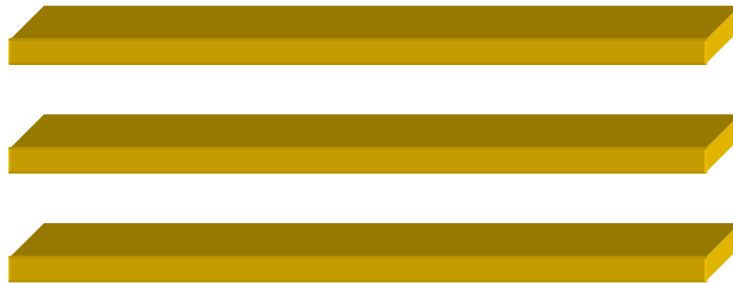


Figura 3. Preparación del Hule.



Figura 4. Cortado del hule adecuado al tamaño del molde.



Figura 5. Preparación del molde.

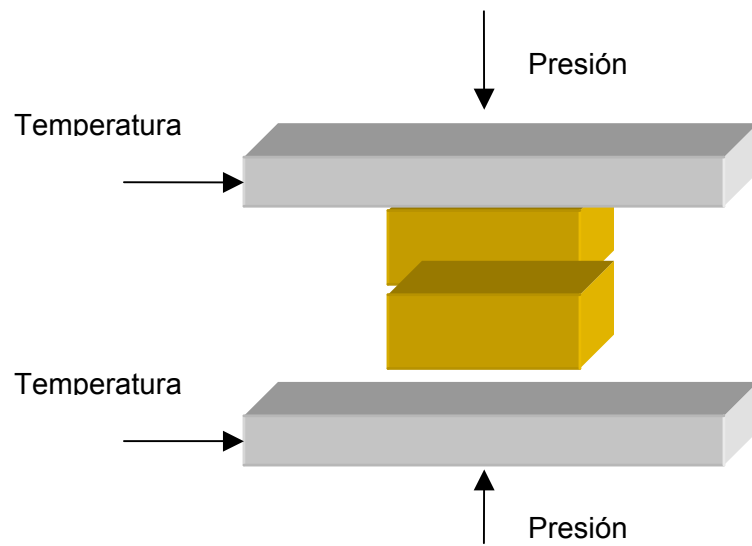


Figura 6. Proceso de vulcanizado.

3.2 Antecedentes Bibliográficos.

Mediante la investigación bibliográfica se dedujo que el mejor método de control para temperatura, eran los sistemas tipo ON / OFF, según las fuentes bibliográficas 4,5 y 6, ya que son sistemas sumamente lentos.

En cuanto al desarrollo del Sistema Experto se utilizó las fuentes bibliográficas 1,2,3. Para un mejor entendimiento de estos sistemas y hacer un aporte a la información de los expertos del tema.

3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema.

El principal principio físico utilizado en el desarrollo del proyecto es la distribución del calor en materiales metálicos y en el hule, ya que el proyecto se enmarca en el proceso de vulcanizado, el cual modifica las propiedades físicas del caucho, por este proceso el caucho se hace muy elástico, resistente a la rotura y poco sensible a las variaciones de temperatura.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó un modelado matemático con base en la gráfica de temperatura versus tiempo de la máquina (figura 12), dando como resultado un modelo, el cual ayuda a calcular la constante de tiempo del sistema y de esta forma seleccionar el sistema de control más adecuado.

$$T(t) = 146.3 \left(1 - e^{-\frac{(t-2.75755)}{4.12035}} \right) * u(t - 2.75755)$$

Donde:

- T : temperatura en grados Celsius.
- t: tiempo en segundos.
- e: función matemática exponencial que describe el comportamiento de la temperatura.
- u: función escalón, $u(t)=0$ $t \leq 0$ y $u(t)=1$ $t \geq 0$.

En este modelo se especifica el valor final al cual se espera que alcance el sistema, además se tiene un valor exponencial que especifica el comportamiento del mismo, seguidamente se presenta la constante de tiempo del sistema que especifica la velocidad de cambio de la temperatura respecto al tiempo, por ultimo se tiene un desplazamiento en el tiempo, para valores menores al valor inicial, ya que sin este desplazamiento de tiempo la temperatura calculada instantes antes del inicio del sistema presentaría valores negativos, lo cual contradice la naturaleza del sistema.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico.

4.1 Estudio del problema presente.

Se realizó una investigación de la problemática que presentaba el departamento de moldes, para plantear la solución más adecuada, esta investigación se realizó mediante cuestionarios a los operarios del departamento y al ingeniero a cargo (estudios almacenados en documentación de la empresa).

4.2 Estudio de cada variable del proceso y su efecto.

Se realizó un estudio técnico acerca del efecto que ejerce cada variable del sistema en el proceso de vulcanizado, este estudio permitió determinar cuáles eran las variables más relevantes en el proceso, para de esta forma intervenir en las variables adecuadas (estudios almacenados en documentación de la empresa).

4.3 Estudio de la máquina a utilizar.

Se realizó un estudio de la máquina para determinar su comportamiento, características y limitaciones, para determinar si el control implementado podría ser implementado en la máquina (estudios almacenados en documentación de la empresa).

4.4 Planteamiento de posibles soluciones.

Se plantearon varias soluciones, que podrían ayudar a solucionar el problema del departamento, con el fin de determinar la mejor solución al problema (soluciones propuestas, almacenadas en documentación de la empresa).

4.5 Escogencia de la mejor solución.

Se optó por un sistema tipo ON / OFF, ya que cumple con los requerimientos y se hace uso adecuado de los recursos.

4.6 Evaluación de la solución.

Una vez seleccionada la mejor solución y haberla implementado se procedió a realizar una evaluación de la misma, con el fin de determinar su eficacia para resolver el problema (esta evaluación se realizó, mediante mediciones de la temperatura vs el tiempo, y verificando el margen de error en el control de la temperatura, datos almacenados en documentación de la empresa).

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.

5.1 Análisis de soluciones y selección final.

Para la solución del problema se planteó hacer uso de un sistema de control de temperatura de tiempo continuo, sin embargo al modelar el sistema se obtuvo una constante de tiempo de aproximadamente 4 segundos, lo que lo convierte en un sistema sumamente lento, por esta razón se optó por un sistema de control tipo ON / OFF.

El sistema de control se desarrolla para la parte estable de la curva del sistema ya que en la parte transitoria de la misma, no se realiza el proceso de vulcanizado.

5.2 Descripción del hardware utilizado.

Para la interfase entre el operario y las Vulcanizadoras se utilizó una computadora personal, esta cuenta con un procesador Pentium 2 de 300 Mhz y un puerto de comunicación serial de 9 pines.

Para la parte de control se utilizó un microcontrolador PIC 16F877 (anexo B.3.) el cual cuenta con las siguientes características:

- Un set de instrucciones de 35 palabras.
- 8 K x 14 palabras en memoria de programa Flash.
- 368 x 8 bytes de memoria de datos (RAM).
- 256 x 8 bytes de memoria de datos (EEPROM).
- Direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- Bajo consumo <2 mA típico @ 5V, 4 Mhz.
- 10 BIT multicanal de conversión en el módulo analógico a digital.
- Comunicación vía puerto serial.

Se definió la siguiente declaración de pines para cumplir con los requerimientos del diseño:

Tabla 4.1. Definición de pines para las variables de entrada.

Entrada	Función	Tipo	Pin	Puerto
Tcp 1	Medición	Analógica	2	A0
Tcp 2	Medición	Analógica	3	A1
Tcp 3	Medición	Analógica	4	A2
Tcp 4	Medición	Analógica	5	A3
Tcp 5	Medición	Analógica	7	A5
Tcp 6	Medición	Analógica	8	E0
Tcp 7	Medición	Analógica	9	E1
Tcp 8	Medición	Analógica	10	E2
Vulcanizadora socada	Información	Digital	6	A4
Se sacó molde	Información	Digital	27	D4
Rx	Recepción de datos	Digital	26	C7

Tabla 4.2. Definición de pines para las variables de salida.

Salida	Función	Tipo	Pin	Puerto
Rp 1	Control actuador 1	Digital	33	B1
Rp 2	Control actuador 2	Digital	34	B2
Rp 3	Control actuador 3	Digital	35	B3
Rp 4	Control actuador 4	Digital	36	B4
Rp 5	Control actuador 5	Digital	37	B5
Rp 6	Control actuador 6	Digital	38	B6
Rp 7	Control actuador 7	Digital	39	B7
Rp 8	Control actuador 8	Digital	40	D5
Lp 1	Señal vulcanizadora 1	Digital	15	C0
Lp 2	Señal vulcanizadora 2	Digital	16	C1
Lp 3	Señal vulcanizadora 3	Digital	17	C2
Lp 4	Señal vulcanizadora 4	Digital	18	C3
Lp 5	Señal vulcanizadora 5	Digital	23	C4
Lp 6	Señal vulcanizadora 6	Digital	24	C5
Lp 7	Señal vulcanizadora 7	Digital	19	D0
Lp 8	Señal vulcanizadora 8	Digital	20	D1
Socar	Señal de acción	Digital	21	D2
Final	Señal de acción	Digital	22	D3
Tx	Transmisión de datos	Digital	25	C6

Para la interfase entre RS232 (computadora) y TTL (microcontrolador), se utilizó el sipex 233ACP (anexo B.3.) que cuenta con las siguientes características:

- Opera con un voltaje de 5V.
- Dos canales de transmisión.
- Alta tasa de transferencia 120 Kbps
- Funcionamiento a 15 mA.

Para el uso de las 16 señales lumínicas se utilizó un circuito combinacional el cual determina si se debe de encender la señal de aplicar presión o la señal de sacar el molde listo para cada una de las 8 Vulcanizadoras, este se muestra a continuación en la figura 7.

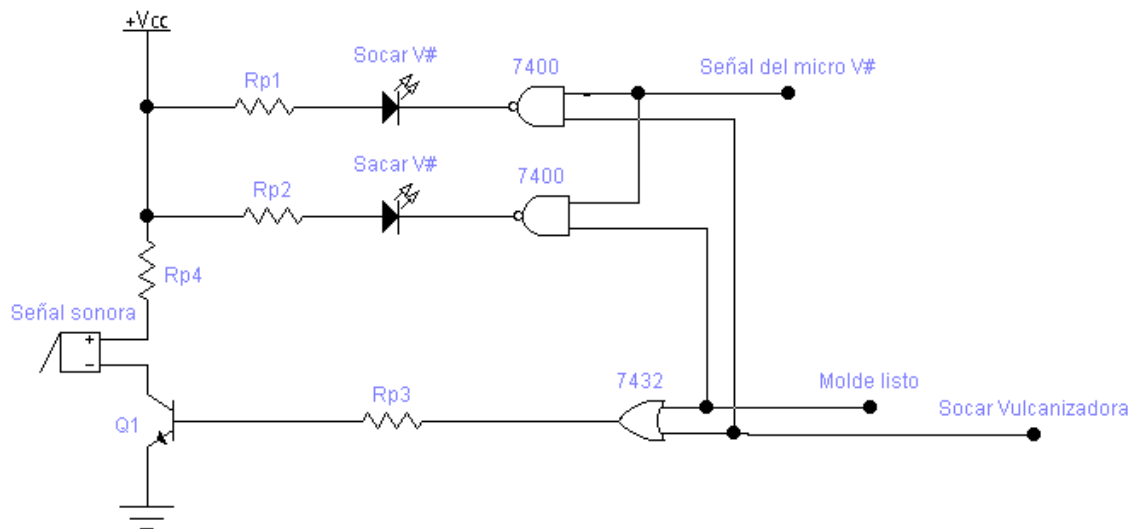


Figura 7. Circuito de control de señales luminosas y sonora.

Para el uso de la señal sonora se utilizó un circuito de conmutación de baja potencia para activar y desactivar un Buzzer.

En cuanto a la etapa de control de la potencia suministrada a las resistencias de calentamiento de las placas de la vulcanizadora, se implementó un circuito de conmutación para los dos semiciclos de la fuente de alimentación de 110V AC, para esta función se utilizó un Triac NTE 5636 que soporta una alimentación de 200V AC, y una corriente de 8 A (anexo B.3.), las cuales cumplen con los requerimientos de potencia de la máquina (anexo B.2. tabla B.2.1), el circuito utilizado para esta función se presenta a continuación en la figura 8.

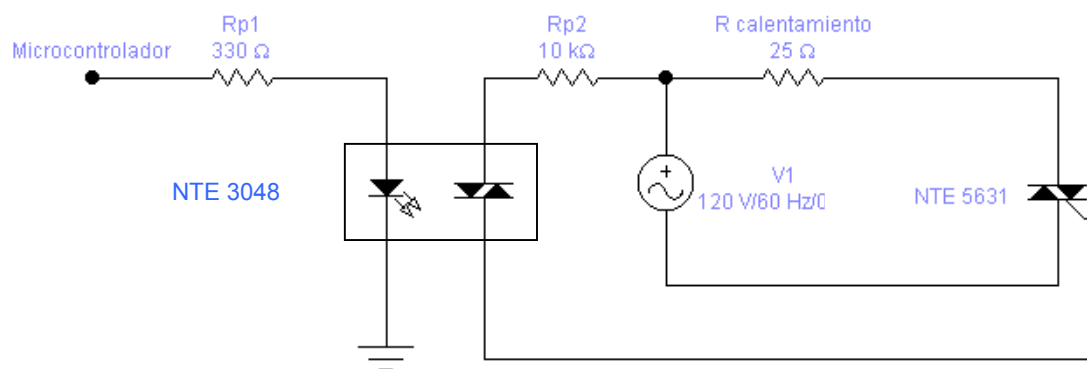


Figura 8. Circuito de potencia para las resistencias de calefacción.

5.3 Descripción del software del sistema.

5.3.1 Generalidades.

El software se encarga de servir de interfase entre el operador de la máquina y la misma; ya que recibe información sobre tiempo y temperatura por parte del usuario y lo transmite al sistema de control.

Ayuda al operario a solucionar problemas de moldeo al realizar una serie de preguntas y presentar sugerencias para la corrección de estos problemas.

Se encarga de recordar al operador en que momentos se debe aplicar presión a cada vulcanizadora, esto durante cuatro ocasiones en intervalos de 1 minuto, y en que momento finaliza el proceso de vulcanización de cada molde.

Si un molde no es sacado 5 minutos después de dar la señal, el sistema envía al controlador una señal para apagar la vulcanizadora en la que se encuentra el molde.

Se crea un archivo de texto, que recibe por nombre la fecha en que se está trabajando, este archivo almacena el número de House, la hora en que se empezó a vulcanizar y la hora en que finalizó este proceso, además de la temperatura con que se trabajó, esto por pedido de la empresa para llevar un control de tiempos y tener un historial de los moldes trabajados.

En la programación se emplearon una serie de palabras para la comunicación entre la computadora personal y el sistema de control, con la finalidad de poder tener un control permanente de las señales que se reciben en ambos dispositivos.

Para el despliegue de la temperatura en la pantalla principal, se procedió a linealizar la curva Temperatura versus voltaje, esta figura representa el voltaje que mide el microcontrolador a cada temperatura de la máquina, esta se presenta a continuación en la figura 9.

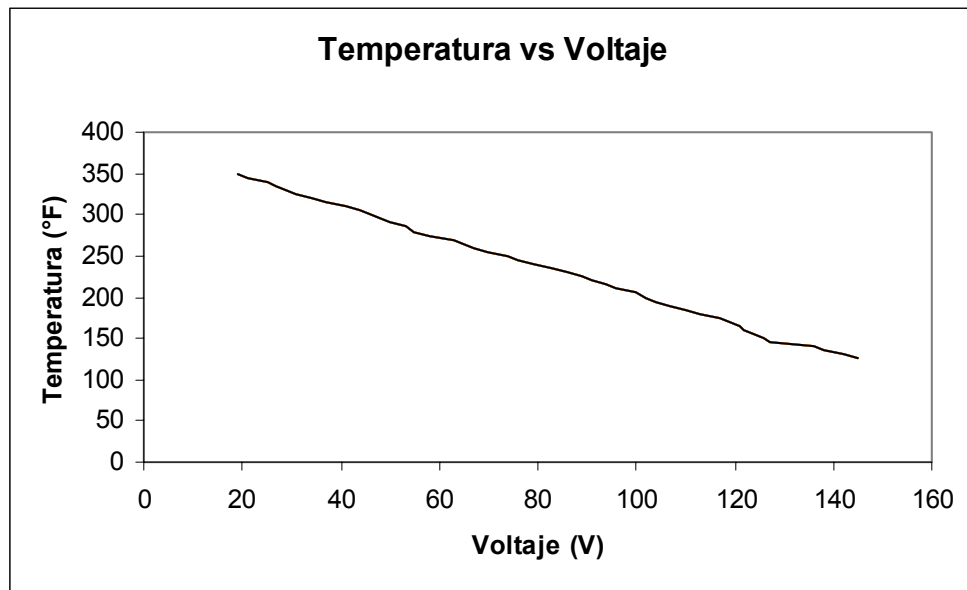


Figura 9. Temperatura vs Voltaje medido.

Se utilizaron dos tipos de linealizado, uno mediante una recta y el segundo mediante un polinomio de orden dos, (figuras 10 y 11). Al realizar el análisis del coeficiente de correlación de ambas figuras, se optó por programar la ecuación lineal ya que ambas presentan el mismo coeficiente de correlación y la lineal es más simple.

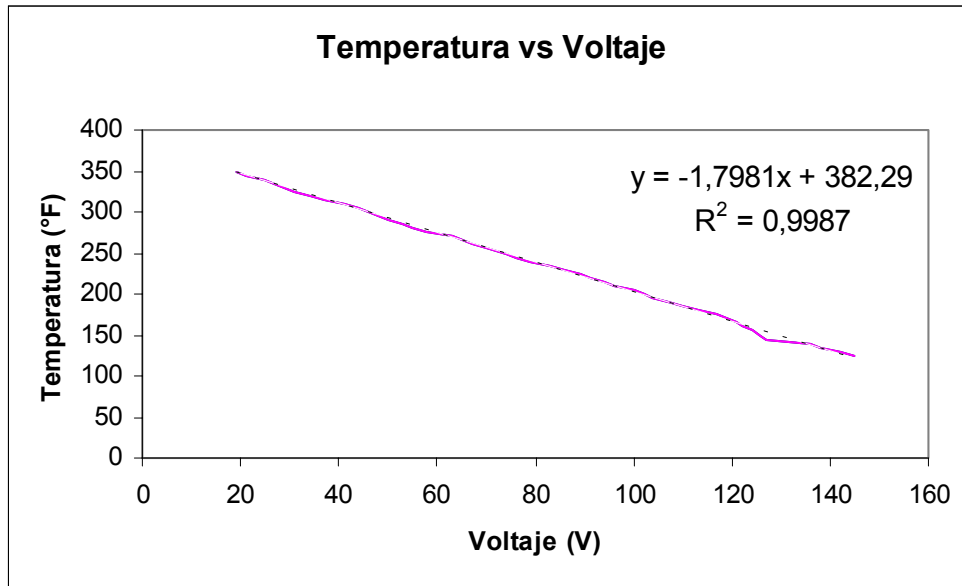


Figura 10. Linealización mediante recta.

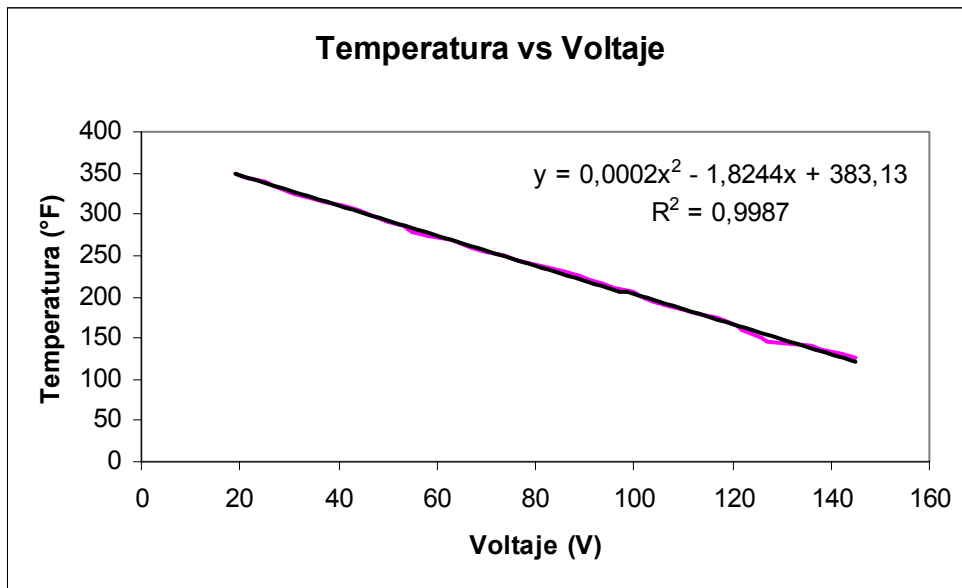


Figura 11. Linealización mediante polinomio de orden 2.

Tabla 5.3.1. Palabras de comunicación entre la PC y el microcontrolador.

Palabra	Función	Ejemplo	Explicación
#tValor	Especificar temperatura	1t250	Indica al sistema que la vulcanizadora 1 presenta una temperatura de 250 °F
#fn	Activación de señal molde listo	1fn	Indica al sistema que active las señales de molde listo en la vulcanizadora 1
#fs	Señal de se retiró el molde de la vulcanizadora	1fs	Indica al sistema que se retiró el molde de la vulcanizadora 1 y que apague las señales
#sn	Activación de señal aplicar presión a vulcanizadora	1sn	Indica al sistema que active las señales de aplicar presión a la vulcanizadora 1
#ss	Señal de se aplicó presión a vulcanizadora	1ss	Indica al sistema que se aplicó la presión a la vulcanizadora 1, y que apague las señales

5.3.2 Pantalla principal.

En esta al operador se le presentan 8 botones llamados Vulcanizadora 1,...,8, con los cuales se inicia el proceso de vulcanizado de cada una de las 8 vulcanizadoras del departamento.

Se cuenta con un espacio en el que el operario ingresa el número de House, número que la empresa le da a cada tipo de pieza que se produce.

Junto al número de House se encuentra una sección en la cual se muestra el tiempo que le resta a cada molde en el proceso de vulcanizado.

Seguidamente se tiene una casilla en la que se indica la temperatura con la que se está trabajando cada máquina.

Además de una sección que indica la acción que se debe de realizar para cada una de las ocho vulcanizadoras, estas pueden ser, aplicar presión o sacar un molde terminado.

En esta misma pantalla se presentan los botones:

- **Ajustes**, al hacer un clic sobre este se muestra la pantalla de Ajustes, figura 21.
- **Corrección de problemas**, con el cual se ingresa a la pantalla del Sistema Experto, figuras 17,18 y 20.
- **Vulcanizadora Presionada y molde listo**, estos funcionan como señales para el sistema, que indican el momento en que el operario cumplió la acción requerida.
- **ayuda** el cual enseña la pantalla de ayuda general, figura 22.

5.3.3 Pantalla de problemas.

Esta pantalla es la correspondiente al Sistema Experto, el cual es el encargado de suministrar la ayuda necesaria al operario del sistema, para la corrección de los problemas más comunes en el proceso de vulcanizado, con la intención de que cualquiera de los operarios del sistema pueda corregir problemas normales que se presentan en el vulcanizado de hule. Figuras 18,18 y 20.

En esta pantalla se presenta un selector del tipo de hule, con este el operario selecciona entre Hule Blanco y Hule Rosado que son los dos tipos de hule que se utilizan en la empresa.

Una vez que se selecciona el tipo de hule se presentarán una serie de preguntas que dependerán de esta selección, estas preguntas son los problemas más frecuentes que se presentan en los moldes, al seleccionar los problemas que presenta el molde en la sección de sugerencias se presentarán las posibles soluciones, a los problemas seleccionados.

Por último al escoger la vulcanizadora que presenta el problema, se activan las soluciones propuestas por el sistema, estas se presentan como:

- Incrementar el tiempo 2 minutos.
- Reducir el tiempo 2 minutos.
- Incrementar la temperatura 2 °F.
- Reducir la temperatura 2 °F.

Estas variaciones son las recomendadas por el fabricante del hule que utiliza la empresa.

Al momento de oprimir el botón **volver**, en caso de que el operador seleccione alguna de las recomendaciones, se procederá a guardar los cambios y enviarlos al controlador para que este realice las correcciones necesarias.

5.3.4 Pantalla de Ajustes.

En esta pantalla se presentan una serie de selectores con los cuales el operario puede seleccionar:

- La vulcanizadora.
- La temperatura.
- El tiempo.

Estos valores están ya predefinidos en el sistema y determinan el valor de las variables con las cuales se llevara acabo el proceso de vulcanizado.

Además está el botón para realizar configuraciones en el puerto de comunicación que se está utilizando.

En esta pantalla el operario realiza variaciones de temperatura y tiempo de vulcanizado, sin tener ningún tipo de asistencia por parte del sistema, esta operación se utiliza en las ocasiones en que se vulcanizan moldes con un tamaño diferente al utilizado normalmente, por lo que se deben variar los parámetros de vulcanizado.

Por último se presenta el botón **cargar**, que almacena los cambios que se realicen y los comunica al controlador para que este realice las correcciones necesarias, figura 21.

5.3.5 Pantalla Ayuda.

En esta pantalla se describe en forma general el sistema de vulcanizado que se está utilizando. Se cuenta con el botón **volver** que se encarga de regresar a la pantalla principal, figura 22.

5.3.6 Programación del microcontrolador.

Para la programación del microcontrolador se utilizó el software PCW, que es un lenguaje de programación en C para los microcontroladores PIC's de microchips.

El sistema de control recibe las palabras de comunicación por medio de comunicación serial.

La palabra **#tvalor** le indica al sistema la temperatura a la que debe mantenerse cada vulcanizadora.

Las entradas "**Tcp#**" se encargan de medir la temperatura que presenta cada máquina, por medio de un convertidor analógico a digital.

Esta temperatura medida es comparada contra el valor suministrado por la computadora y en caso que la temperatura supere el rango establecido, se procede a colocar un 0 lógico en la salida "**Rp#**", correspondiente a la vulcanizadora que lo requiera, en caso de que la temperatura se encuentre por debajo del rango se procede a colocar un 1 lógico en esa misma salida, para de esta forma controlar el actuador de cada vulcanizadora.

La palabra **#fn** le indica al control que se debe retirar un molde de una de las Vulcanizadoras.

El control procede a activar la salida "**lp#**" que se esté indicando en la palabra, y activa la salida "**final**", estas dos salidas se combinan para activar las señales correspondientes y así indicar al operario que se debe retirar el molde.

En el momento que el operario retira el molde y activa la entrada “**se sacó molde**” el sistema de control le comunica a la computadora la palabra **#fs**, que indica que se ha retirado el molde que esta listo y se procede a desactivar las salidas “**lp#**” y “**final**”, con lo que se apagan las señales tanto lumínica como sonora.

La palabra **#sn**, le indica al controlador que se debe aplicar presión a una vulcanizadora específica. Lo que implica la activación de las salidas “**lp#**” y “**socar**”, que se combinan para activar las señales tanto lumínica como sonora, para que el operario se entere de a cual vulcanizadora es necesario aplicarle presión.

Una vez que el operario aplique la presión y active la entrada “**vulcanizadora Presionada**”, el controlador transmite a la computadora la palabra **#ss**, la que le indica a la misma que ya fue aplicada la presión requerida y que se deben de apagar las señales.

Capítulo 6: Análisis y resultados.

6.1 Resultados.

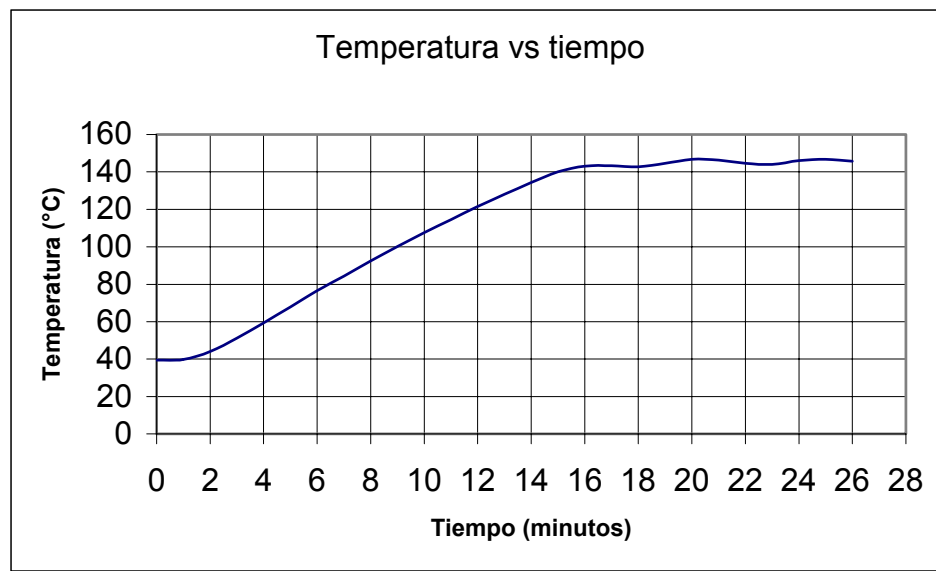


Figura 12. Curva Característica temperatura vs tiempo.

La figura 12 representa la temperatura de la máquina en función del tiempo, las mediciones se realizaron con la ayuda de un cronómetro digital y un termómetro digital.

Modelo matemático.

$$\Delta t = 146.3$$

$$T = 4.12035$$

$$\theta = 2.75755$$

$$T(t) = 146.3 \left(1 - e^{-\frac{(t-2.75755)}{4.12035}} \right) * u(t - 2.75755)$$

Donde:

- T : temperatura en grados Celsius.
- t: tiempo en segundos.
- e: exponencial que describe el comportamiento de la temperatura.
- u: función escalón, $u(t)=0$ $t \leq 0$ y $u(t)=1$ $t \geq 0$.

En este modelo se especifica el valor final al cual se espera que alcance el sistema, además se tiene un valor exponencial que especifica el comportamiento del mismo, seguidamente se presenta la constante de tiempo del sistema que especifica la velocidad de cambio de la temperatura respecto al tiempo, por ultimo se tiene un desplazamiento en el tiempo, para valores menores al valor inicial, ya que sin este desplazamiento de tiempo la temperatura calculada instantes antes del inicio del sistema presentaría valores negativos, lo cual contradice la naturaleza del sistema.

Mediante un sistema gráfico se procedió a plantear el modelo matemático de la planta basados en la figura 12, obteniendo como resultado la figura 13, la cual describe el comportamiento del modelo matemático.

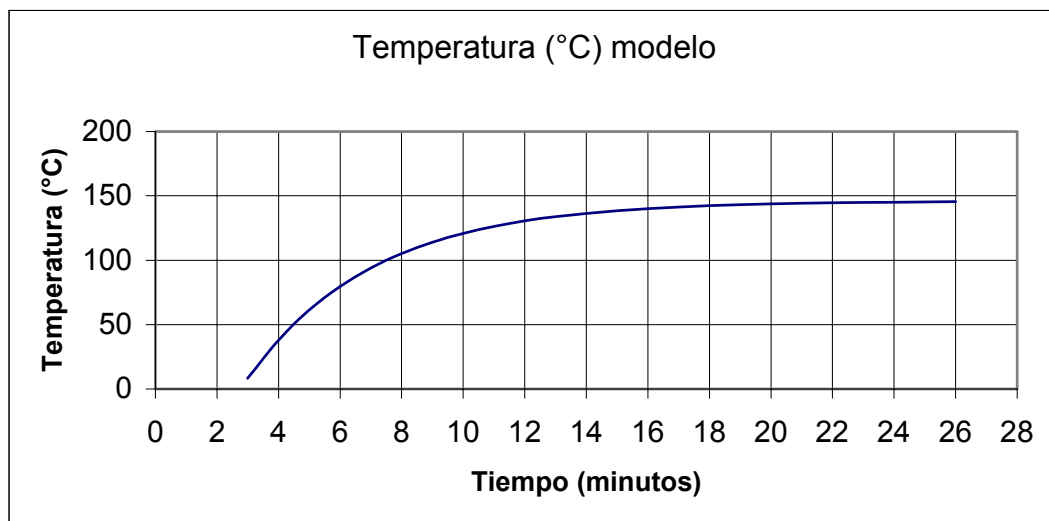


Figura 13. Modelo matemático del sistema.

Tabla 6.1. Datos de temperatura del modelo real y matemático.

Real		Modelo Matemático		% Error
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	
3	51,2	3	8,34307583	83,70493
4	59,3	4	38,00696827	35,9073048
5	67,8	5	61,27854504	9,61866514
6	76,5	6	79,5352956	3,96770667
7	84,4	7	93,85787221	11,2060097
8	92,5	8	105,0940558	13,6151954
9	100,2	9	113,9089377	13,6815745
10	107,6	10	120,8242878	12,2902303
11	114,6	11	126,2494389	10,1653045
12	121,5	12	130,5055163	7,41194756
13	128,1	13	133,8444453	4,4843445
14	134,3	14	136,4638636	1,61121639
15	140	15	138,5188196	1,05798599
16	143,1	16	140,1309502	2,07480772
17	143,3	17	141,3956803	1,32890418
18	142,7	18	142,3878719	0,21873027
19	144,6	19	143,1662547	0,99152511
20	146,7	20	143,7769026	1,99256808
21	146,3	21	144,2559611	1,39715575
22	144,6	22	144,6317866	0,02198245
23	144	23	144,9266249	0,64348954
24	146	24	145,1579281	0,57676157
25	146,8	25	145,3393874	0,9949677

Una vez que se obtuvo el modelo matemático de la planta se procedió a realizar una comparación mediante el porcentaje de error para demostrar la validez del modelado mostrado en la tabla 6.1.

Tabla 6.2. Datos de temperatura del sistema con el controlador.

Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
3	52,1
4	60,0
5	66,2
6	76,1
7	85,0
8	91,9
9	101,0
10	107,4
11	114,8
12	122,6
13	129,2
14	134,1
15	141,1
16	142,9
17	143,5
18	143,0
19	143,9
20	144,0
21	144,7
22	145,3
23	145,1
24	145,0
25	145,5

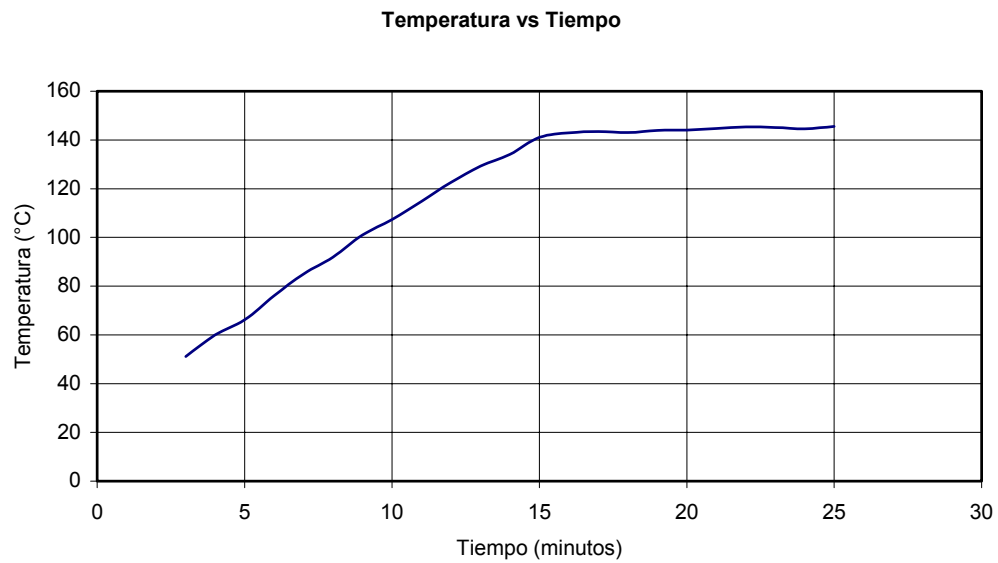


Figura 14. Temperatura vs Tiempo, con el controlador.

Mediante la medición de la temperatura en función del tiempo, para el sistema después de implementar el control, se obtuvo los datos de la tabla 6.2, esto mediante un cronometro digital y un termómetro digital, posteriormente se graficaron estos datos en la figura 14.

Tabla 6.3. Dureza de los moldes antes y después del control.

Sin con control		Con control	
i. Molde	Dureza	Molde	dureza
AE419/S18A	39	AE419/S18A	41
8686	38	8686	41
8837	39	8837	40
2237	38	2237	42
2191 A+B	37	2191 A+B	41
Promedio	38	Promedio	41

Una vez implementado el sistema de control se realizaron mediciones de la dureza de ciertos moldes, utilizando tanto el control de temperatura implementado y el control de temperatura anterior, estos datos se muestran en la tabla 6.3.

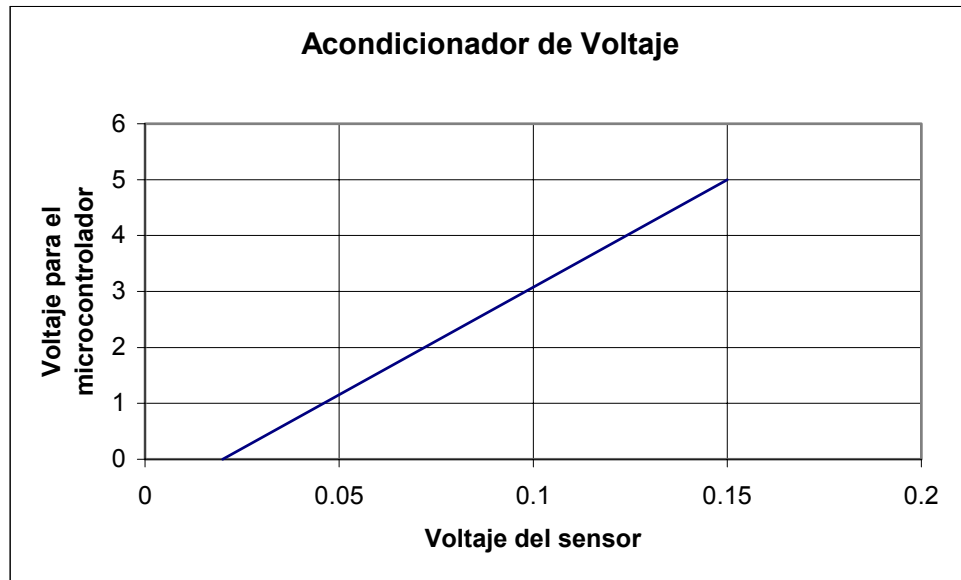


Figura 15. Voltajes para el acondicionador de temperatura.

En la figura 15 se presenta el voltaje medido por el sensor de temperatura y el voltaje correspondiente para el microcontrolador.

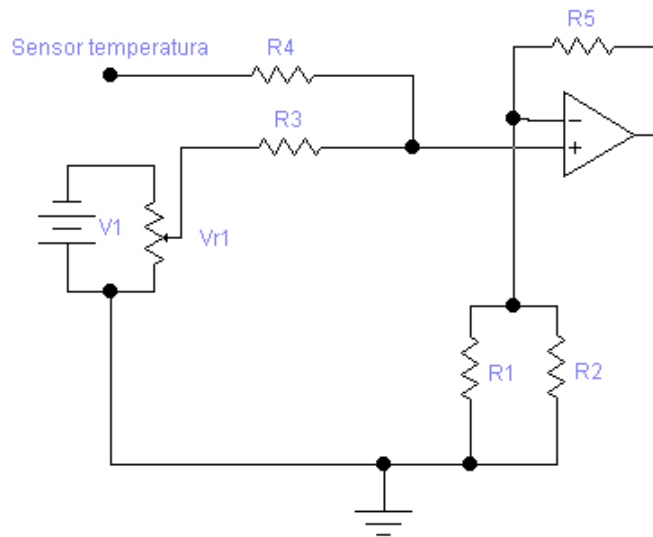


Figura 16. Circuito acondicionador de temperatura.

El sistema cuenta con un circuito acondicionador del voltaje medido por los sensores de temperatura, para que estos sean valores entendibles por el microcontrolador este circuito se presenta en la figura 16. Para el desarrollo de este circuito se tomaron los datos de la figura 15, que corresponden a la transformación de voltaje requerido para el adecuado funcionamiento del sistema y se procedió a calcular la pendiente del sistema la cual da como resultado 38.46, con esta pendiente se procede a calcular la ganancia del sistema dado por la ecuación $G = 1 + \frac{R5}{R1 // R2}$, lo que permite realizar un arreglo de resistencias adecuado para esta ganancia, en cuanto las resistencias R3 y R4 son resistencias de 10 K, además se calculó una intersección con el eje “y” de 0.77, este valor se ajusta al circuito restándole los 0.77 V mediante el potenciómetro Vr1, lo que da como resultado el circuito mostrado en la figura 16, el cual cumple con los requisitos del circuito acondicionador de señal buscado.

Tabla 7.1 Temperatura vs voltaje medido.

Temperatura °F	Voltaje medido
125	145
130	142
135	138
140	136
145	127
150	126
155	124
160	122
165	121
170	119
175	117
180	113
185	110
190	107
195	104
200	102
205	100
210	96
215	94
220	91
225	89
230	86
235	83
240	79
245	76
250	74
255	70
260	67
265	65
270	63
275	58
280	55
285	53
290	50
295	48
300	46
305	44
310	41
315	37
320	34
325	31
330	29
335	27
340	25
345	21
350	19

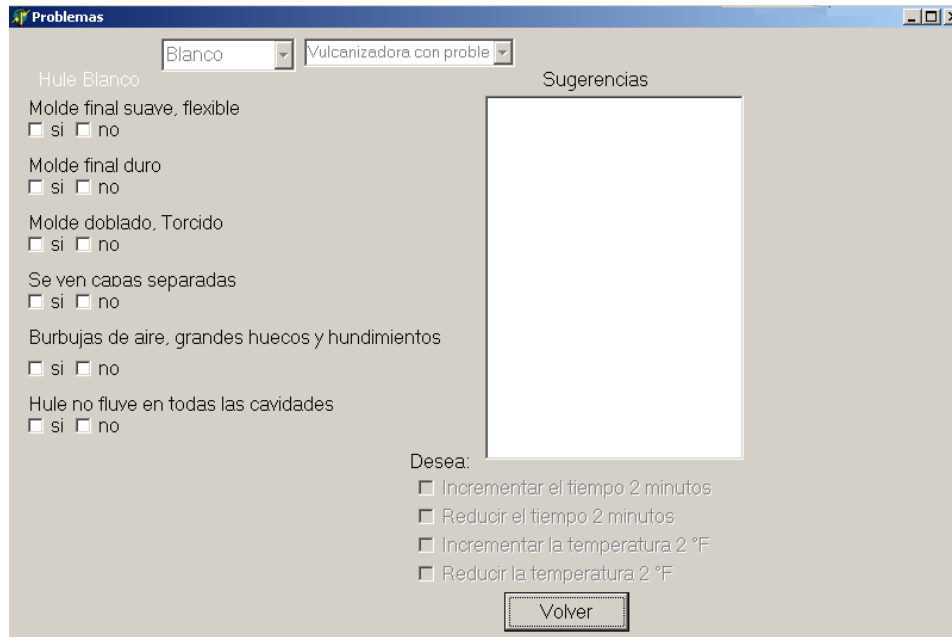


Figura 17. Pantalla principal Sistema Experto hule Blanco.

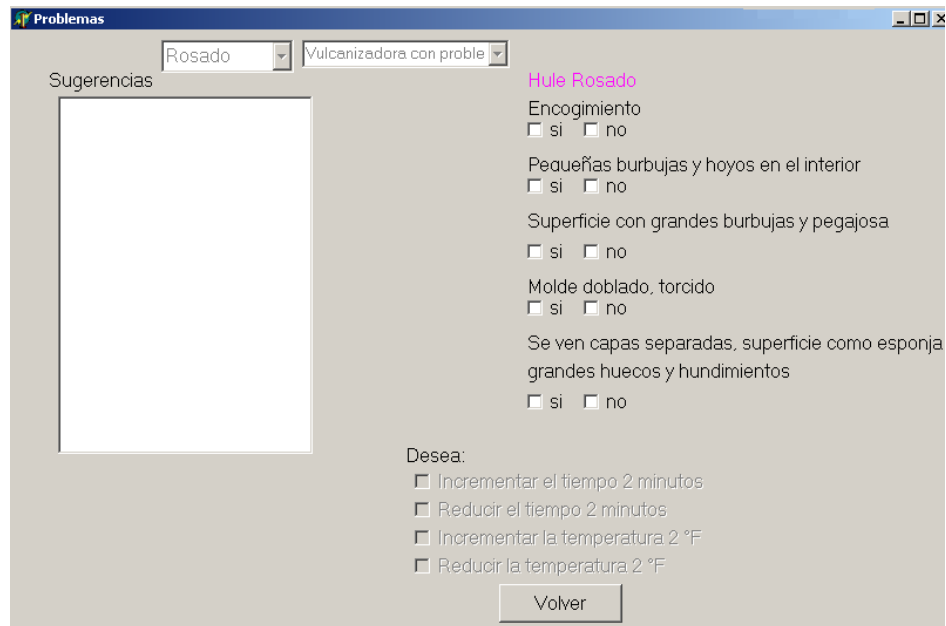


Figura 18. Pantalla principal Sistema Experto hule Rosado.

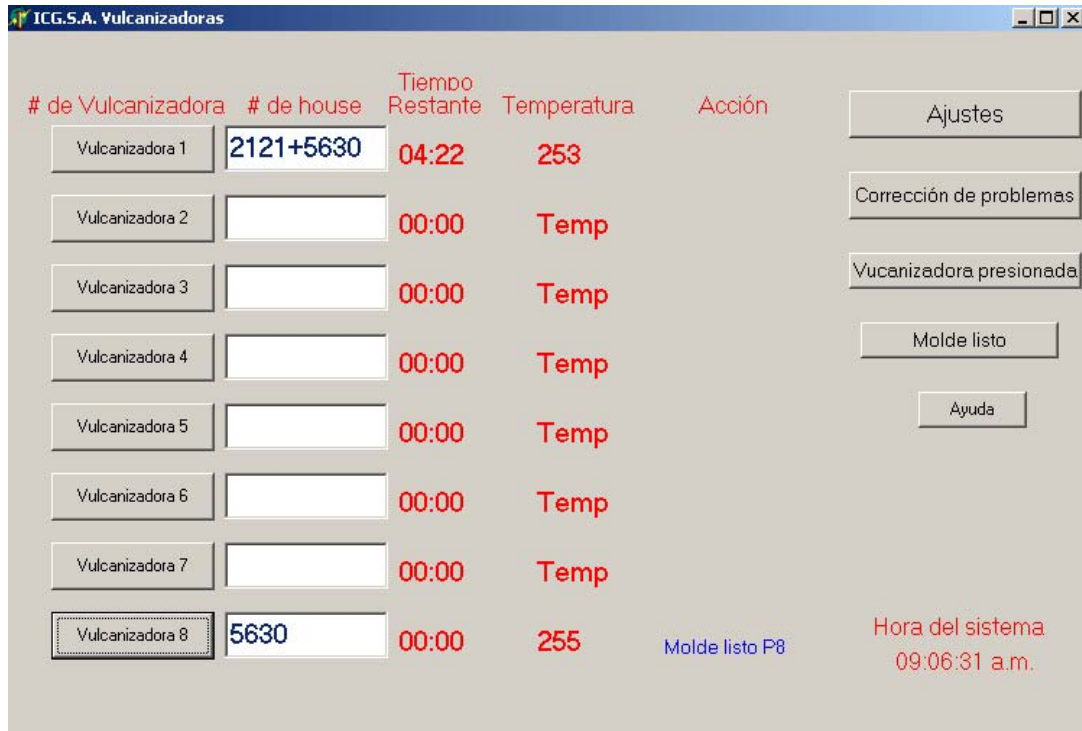


Figura 19. Pantalla principal del software desarrollado.

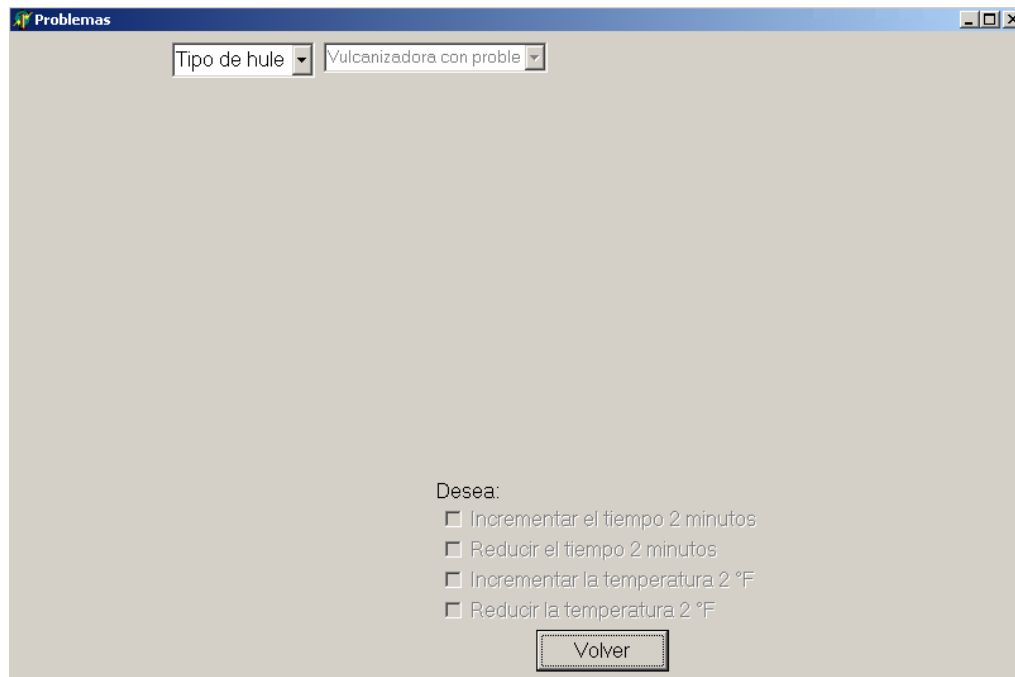


Figura 20. Pantalla de solución de problemas.

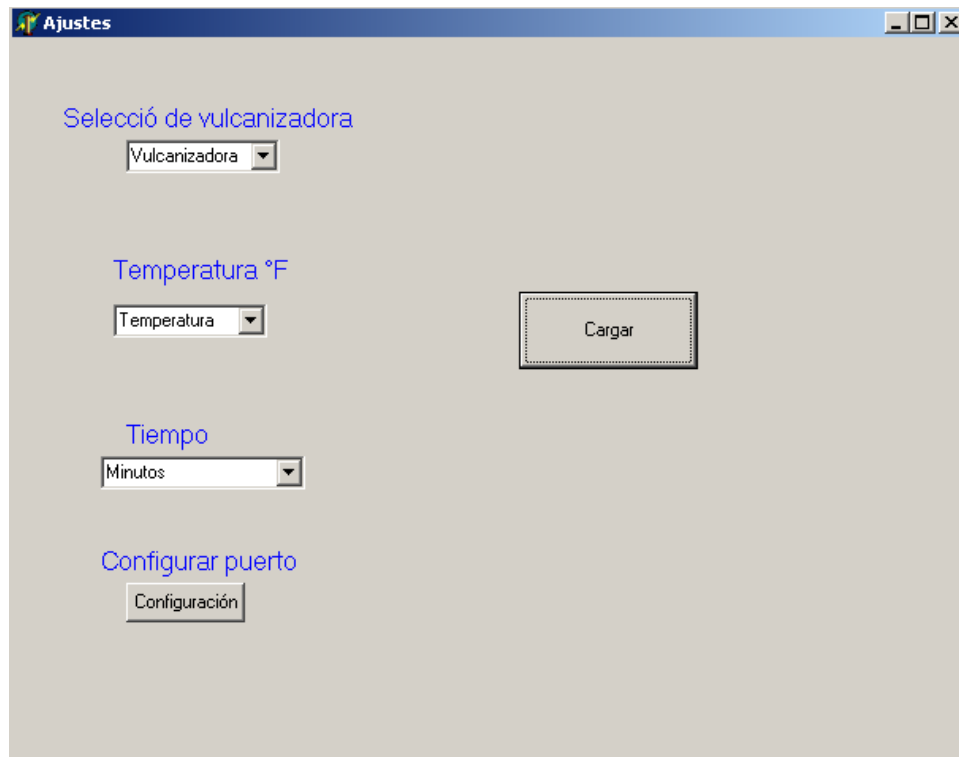


Figura 21. Pantalla de configuración.

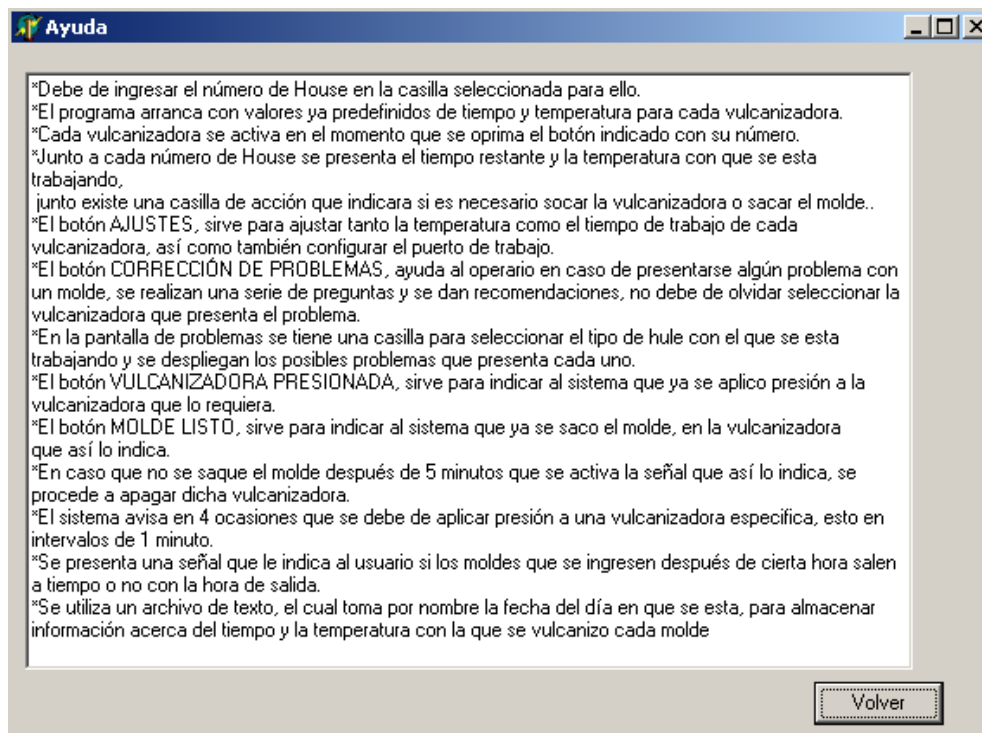


Figura 22. Pantalla de ayuda.

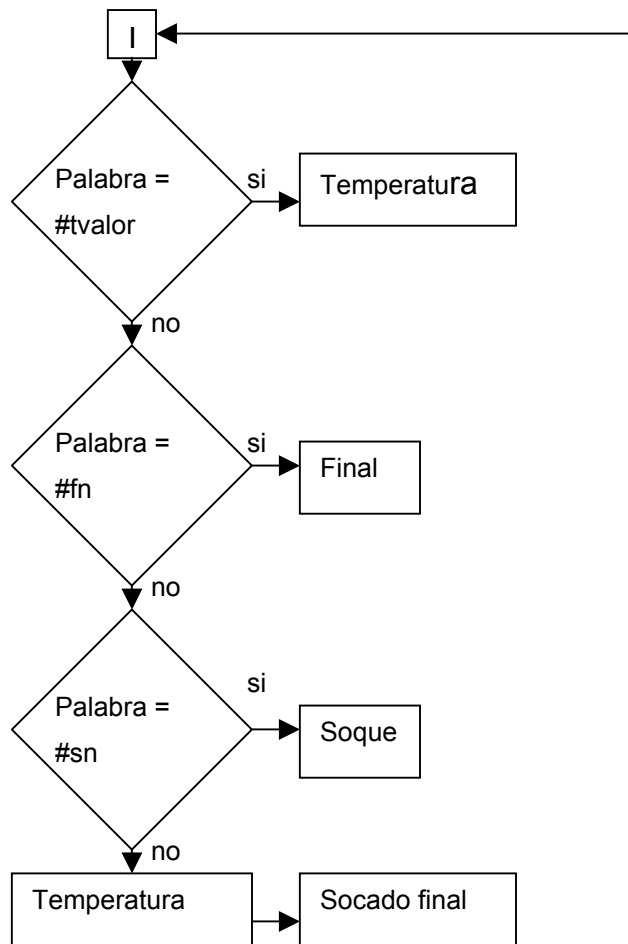


Figura 23. Diagrama de flujo del sistema inicio.

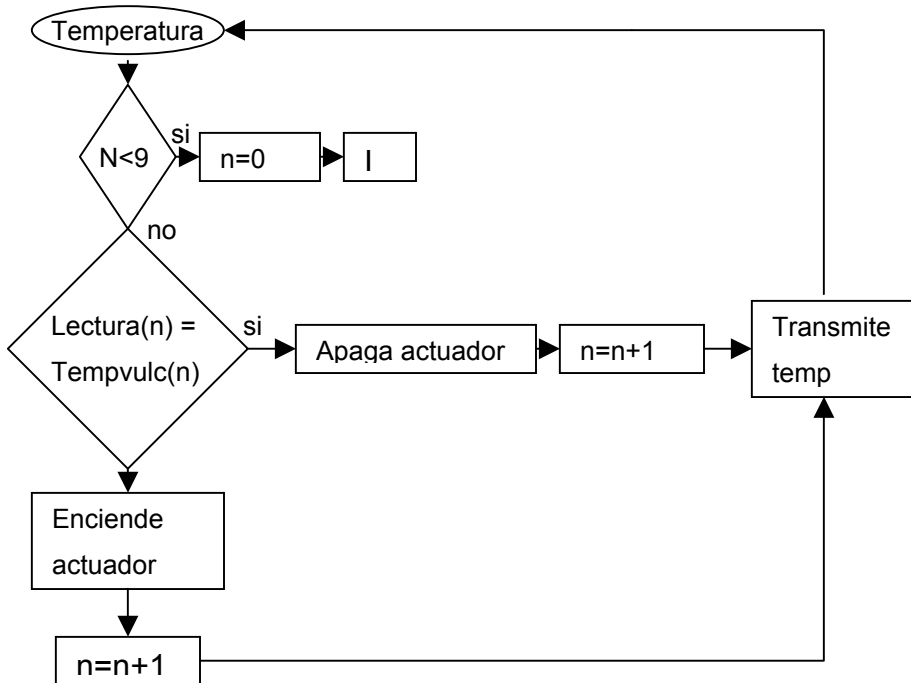


Figura 24. Diagrama de flujo del sistema temperatura.

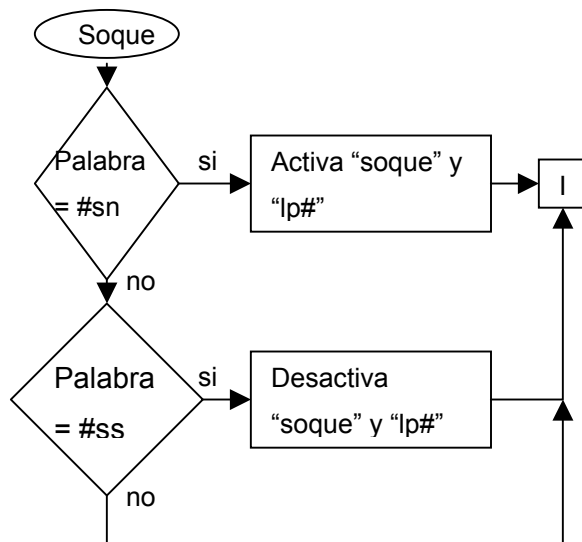


Figura 25. Diagrama de flujo del sistema soque.

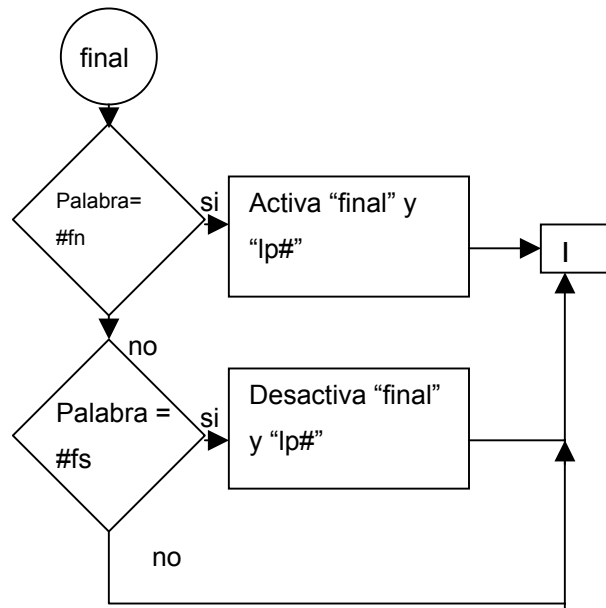


Figura 26. Diagrama de flujo bloque final.

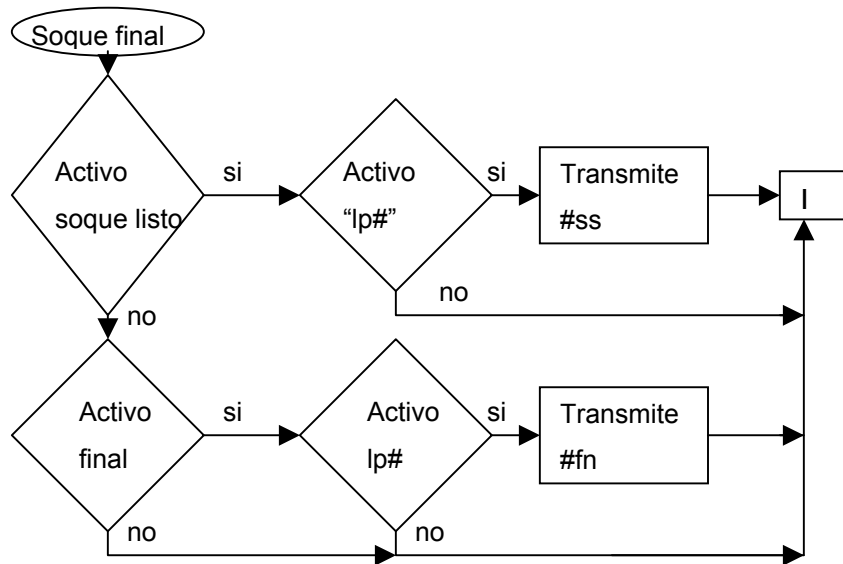


Figura 27. Diagrama de flujo bloque soque final.

6.2 Análisis.

En el momento que se tuvo claro el problema que se presentaba en la empresa, el cual consistía en la pérdida de materia prima (oro y plata), por variaciones de tamaño de los modelos obtenidos en el proceso de moldeo, se procedió a realizar un estudio de la vulcanizadora *Deluxe Vulcanizar 110V* (Anexo B.2), se determinó que presentaba un tipo de control ON/OFF por medio de termostato.

Se realizaron mediciones de temperatura vs tiempo los cuales se presentan en la tabla 6.1, estas mediciones describen el comportamiento de la máquina, se realizó un análisis matemático a partir de la curva característica, obteniéndose un modelo matemático aproximado del sistema mostrado en la figura 13.

Una vez obtenido el modelo matemático se plantearon las posibles soluciones, el primero de los métodos propuestos fue el control digital continuo sin embargo, se determinó que el sistema era sumamente lento para optar por él, esto debido a que la constante de tiempo del sistema (4.1235 segundos) presenta un valor sumamente alto; se optó por un control tipo ON / OFF como el que tiene el sistema actual, pero con una medición de temperatura más exacta.

Se determinó que el sistema actual, al momento de alcanzar la temperatura y mantenerla, presenta variaciones de temperatura de alrededor de ± 5 °F, está por fuera del rango establecido por el fabricante del hule, esto implica un porcentaje de error de temperatura de 12.66%.

Para el desarrollo del control se optó por el microcontrolador PIC 16f877 que cuenta con ocho canales de conversión analógica a digital, con lo que se permite realizar mediciones de las ocho vulcanizadoras que se deben controlar, otra ventaja es que estos canales analógicos presentan una resolución de 10 Bits que implica que se pueden tener 1024 valores diferentes de lectura, lo que amplía la exactitud de la lectura de la temperatura.

Por el tipo de programación implementada en el controlador (figuras 23 a 27), se realizan mediciones de temperatura aproximadamente cada 100 ms, para cada una de las ocho vulcanizadoras que se están controlando.

En el área de potencia, para el control de las resistencias de calentamiento de las Vulcanizadoras, las cuales utilizan una alimentación 110 V AC, se utilizó un Triac para poder suministrar la potencia máxima a la resistencia sin importar el semiciclo de la señal de alimentación, ya que la señal alterna se encarga de terminar la conducción del Triac, si se requiere que conduzca en el siguiente semiciclo se activa el opto acoplador para que dispare el Triac en los momentos requeridos..

Las señales de disparo de los triacs, son suministradas por el microcontrolador.

Para realizar un acople adecuado de las referencias del sistema, tanto en la parte digital como en la parte de alimentación, se utilizó un optotriac NTE 3048 (anexo B.3.), que permite realizar la labor de acople así como también aislar físicamente las secciones digitales y de potencia del proyecto.

Para el control de las señales de **vulcanizadora Presionada** y **Molde listo** se dispone de 10 señales provenientes del microcontrolador, una para cada vulcanizadora y dos de selección.

En los casos en que es necesario aplicar presión a una vulcanizadora la salida de esta máquina se activa y se combina por medio de una compuerta NAND con una salida de **socado**, al estar activas ambas señales se tendrá un 0 lógico en la salida de la compuerta, la cual es usada para drenar la corriente proveniente del LED de Socar vulcanizadora.

En el caso que sea necesario sacar el molde de la vulcanizadora, se realizará una operación similar a la anterior pero con la salida **sacar molde**, y se drenará la señal del LED Sacar molde.

Estas 10 señales son controladas por el microcontrolador dependiendo de palabras claves que le suministra la computadora, ya sea al terminar el tiempo de vulcanizado o al ser necesario aplicar presión a una vulcanizadora.

El operario de la máquina cuenta con dos botones que sirven para indicar al sistema el momento en el que se cumplió la acción que este solicita, estos son: **Vulcanizadora presionada** y **Molde listo**; estos botones cumplen con la misma función que tienen los botones que están presentes en el software, esto con la idea de que el operario no tenga que desplazarse hasta la computadora personal para indicarle al sistema, que ya se cumplió la acción.

Al presionar el botón que sea necesario, el microcontrolador envía a la computadora personal una palabra clave indicando la acción que se cumplió.

Para la interfase con el usuario se planteó y programó un sistema amigable que le brinde al operario toda la información relevante para un adecuado manejo de las Vulcanizadoras como lo son: tiempo restante, temperatura actual de cada máquina y señales para recordar las acciones a efectuar.

Se implementó además, un archivo de texto en el que se almacenan datos relevantes para la compañía en este departamento, estos son:

- Molde que se fabricó.
- Hora en la que ingresó en el proceso de moldeo.
- Hora en la que terminó el proceso de moldeo.
- Temperatura con la que se trabajó el molde.
- Máquina en que se vulcanizó el molde.

Se implementó un Sistema Experto, con la intención de que cualquiera de los operarios del sistema, sin necesidad de tener un amplio conocimiento del proceso de vulcanizado, pueda corregir problemas comunes que se presentan con cualquiera de los dos tipos de hule que utiliza la empresa para hacer sus moldes, este sistema realiza una serie de preguntas orientadas a los problemas más frecuentes que se presentan en los moldes fabricados con cada tipo de hule (figuras 17 y 18).

Una vez que el operario responde afirmativamente cualquiera o varias de las preguntas planteadas, el sistema procede a dar sugerencias y a transmitir las al sistema de control en caso que así se decida.

Se realizaron mediciones de la temperatura con respecto al tiempo del sistema, una vez que se aplicó el controlador, estas mediciones se encuentran en la tabla 6.2, el comportamiento de la planta se presenta en la figura 14, la cual presenta un error de temperatura de 1.5° F, lo que implica un porcentaje de error del 1%.

Por último se procedió a medir la dureza de los moldes elaborados con el controlador y sin el controlador en la misma máquina, esta información se muestra en la tabla 6.3, que implica un incremento en la dureza de los moldes de 7.32%, cuando se utiliza el sistema con el control de temperatura y tiempo desarrollado.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones.

7.1 Conclusiones.

- El control de la temperatura y el tiempo de vulcanizado, desarrollado ayuda a aumentar la dureza de los moldes de hule en un 7.32%.
- El desarrollo de una estación de trabajo amigable, ayuda a la concentración de los operarios del mismo.
- La implementación del sistema experto facilita la corrección de los problemas más comunes de vulcanizado.
- El CAS, permite la conversión de temperatura en voltajes adecuados al microcontrolador.
- El circuito de control se encarga de interconectar y controlar cada modulo del sistema.
- El circuito de potencia controla la cantidad de corriente, que se le suministra a las resistencias de calentamiento.
- El software de comunicación permite la adecuada comunicación entre el microcontrolador y la PC.
- Los software de control de las señales luminosas y sonoras, le brindan información al operario del sistema en momentos específicos del proceso de vulcanizado.

7.2 Recomendaciones.

- El sistema implementado es para ocho vulcanizadoras, en caso de una ampliación en la cantidad de máquinas es necesario utilizar una multiplexación analógica, ya que el microcontrolador posee únicamente ocho canales de conversión analógica / digital.
- Es de gran ayuda para las empresas la implementación de Sistemas Expertos en diversas áreas del proceso de producción, para liberar a los ingenieros a cargo de la planta de labores sencillas, que pueden ser llevadas a cabo por los mismos operarios.

Bibliografía

- 1 www.castaldo.com/products
- 2 www.gesswein.com/products/vulcanizer/265-2175
- 3 Klaus Bauer, Sistemas Expertos, Munich Alemania, 1988.
- 4 Richard C. Dorf. Sistemas Modernos de Control. 2 Edición. Addison Wesley,Iberoamericana. 1989. EUA.
- 5 Kuo, Benjamín C. Sistemas de control Automático. 7 Edición. Prentice Hall. 1996. México.
- 6 Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. 2 Edición. Prentice Hall. 1993. México.

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.

Sistema Experto se define como:

“Es un nuevo tipo de software que imita el comportamiento de un experto humano en la solución de un problema. Pueden almacenar conocimientos de expertos de un campo determinado – y muy delimitado – y solucionar un problema mediante deducción lógica de conclusiones”.

Vulcanización

Proceso que modifica las propiedades físicas del caucho, por este proceso el caucho se hace muy elástico, resistente a la rotura y poco sensible a las variaciones de temperatura

A.2. Manual de usuario.

Generalidades.

El sistema al ser encendido carga por defecto valores predefinidos de tiempo y temperatura para cada vulcanizadora, con esto se logra que las 8 Vulcanizadoras, estén con una temperatura adecuada para el proceso de vulcanizado.

Cada ocasión que el programa se corre se crea un archivo de texto, el cual recibe por nombre la fecha actual, **ejemplo 10152004.txt**, en este archivo se almacenan datos de los moldes que se trabajan durante el día, estos datos corresponden a numero de House, Hora que ingresa a ser vulcanizado, hora que termina el proceso de vulcanizado y la temperatura con que se realizo este proceso.

El programa indicará al usuario del mismo los momentos en los cuales se debe de aplicar presión a una vulcanizadora especifica, así como también el momento en que un molde cumplió el proceso de vulcanizado.

En caso que el operario no retire el molde de la vulcanizadora que esté indicando que este molde está listo, el sistema después de transcurrir 5 minutos procede a asignarle una temperatura de 0 °C, a la vulcanizadora para evitar cualquier problema de recalentamiento, para los moldes, además se indica en la pantalla principal que la vulcanizadora se ha apagado, y hasta el momento en que se realicen los ajustes de la nueva temperatura, esa vulcanizadora no podrá ser utilizada. .

Es de suma importancia que el reloj de la computadora en la cual se este utilizando el sistema presente las siguientes características:

- Formato de fecha:dd/mm/aaaa
- Formato de hora: HH:MM:SS a.m./p.m.

Es importante también que la máquina en la cual se está utilizando el sistema cuente con el puerto de comunicación COM1 libre ya que por este se comunica con el sistema de control de las Vulcanizadoras.

En caso que el operario desee interrumpir la operación de vulcanizado de cualquiera de las máquinas, basta con presionar el botón de arranque de la misma, y el sistema empieza de cero el proceso de vulcanizado.

Pantalla principal.



En la pantalla principal se cuenta, con 8 botones llamados vulcanizadora 1.. vulcanizadora 8, estas sirven para iniciar el proceso de vulcanizado en cualquiera de las 8 máquinas, el usuario debe ingresar el numero de House en las casillas designadas para este propósito (# de house), estas casillas se encuentran junto al lado de los botones de inicio del proceso, en caso que se este vulcanizando dos moldes en una misma máquina se debe de separar los números de house mediante un +, para que el sistema reconozca ambos números por separado.

El sistema le presenta constantemente al operario, información de la temperatura a la que se encuentran las 8 Vulcanizadoras, así como también del tiempo restante de vulcanización de cada máquina.

Se cuenta con una sección llamada acción la cual indica al operario en el momento que sea necesario aplicar presión a una de las máquinas o el momento en que este listo uno de los molde.

Por ultimo esta pantalla presenta una serie de botones los cuales sirven para acceder a otras pantallas del sistema como son:

Ajustes: al ser oprimido el sistema despliega una pantalla en la cual se pueden hacer variaciones en ciertos parámetros del sistema.

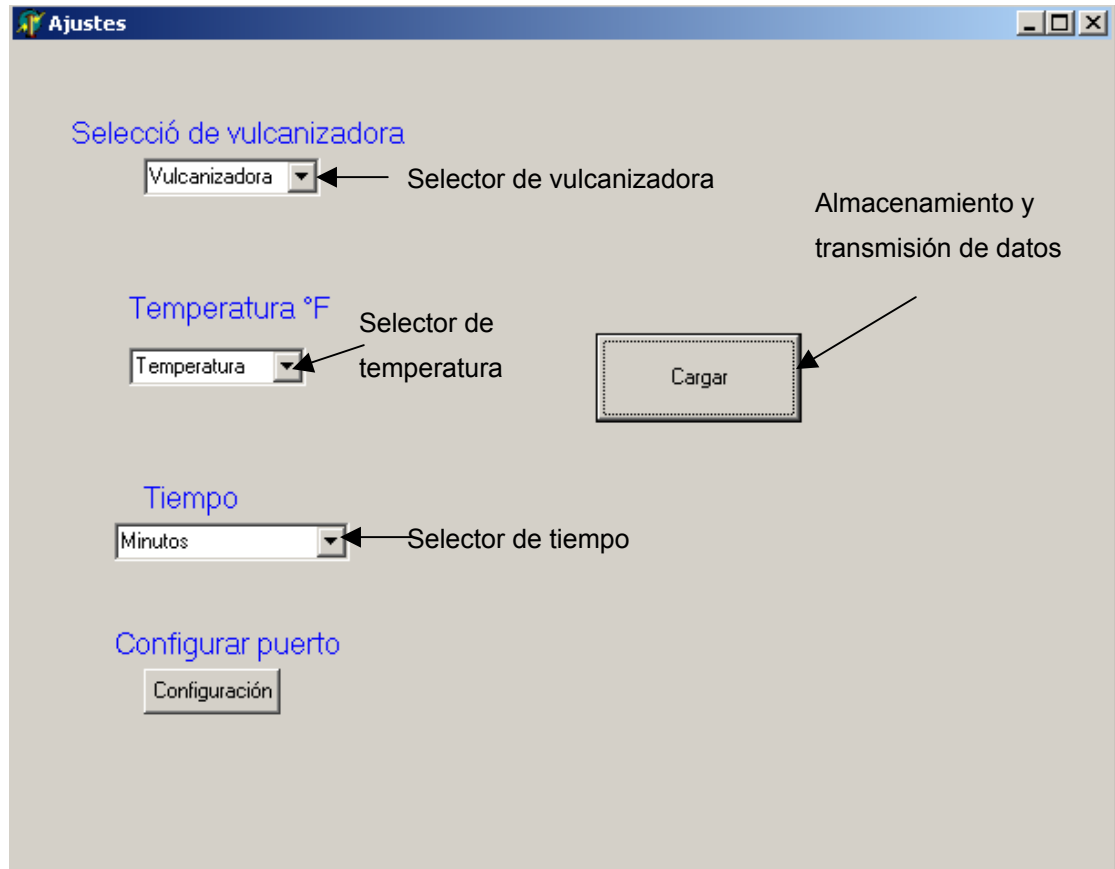
Corrección de problemas: al ser presionado se despliega la pantalla que corresponde a la ayuda para la corrección de errores de moldeo más comunes.

Ayuda: al ser presionado se despliega una pequeña ayuda del sistema, la cual explica aspectos generales del mismo.

Vulcanizadora presionada: al ser presionado le indica al sistema que el operario del mismo ya aplico la presión a la vulcanizadora que indica el sistema, esto para apagar las señales que indican al operario que se debe de realizar esta acción.

Molde listo: al ser presionado le indica al sistema que ya fue retirado el molde que a cumplido con el proceso de vulcanizado, para que se apaguen las señales que así lo indican.

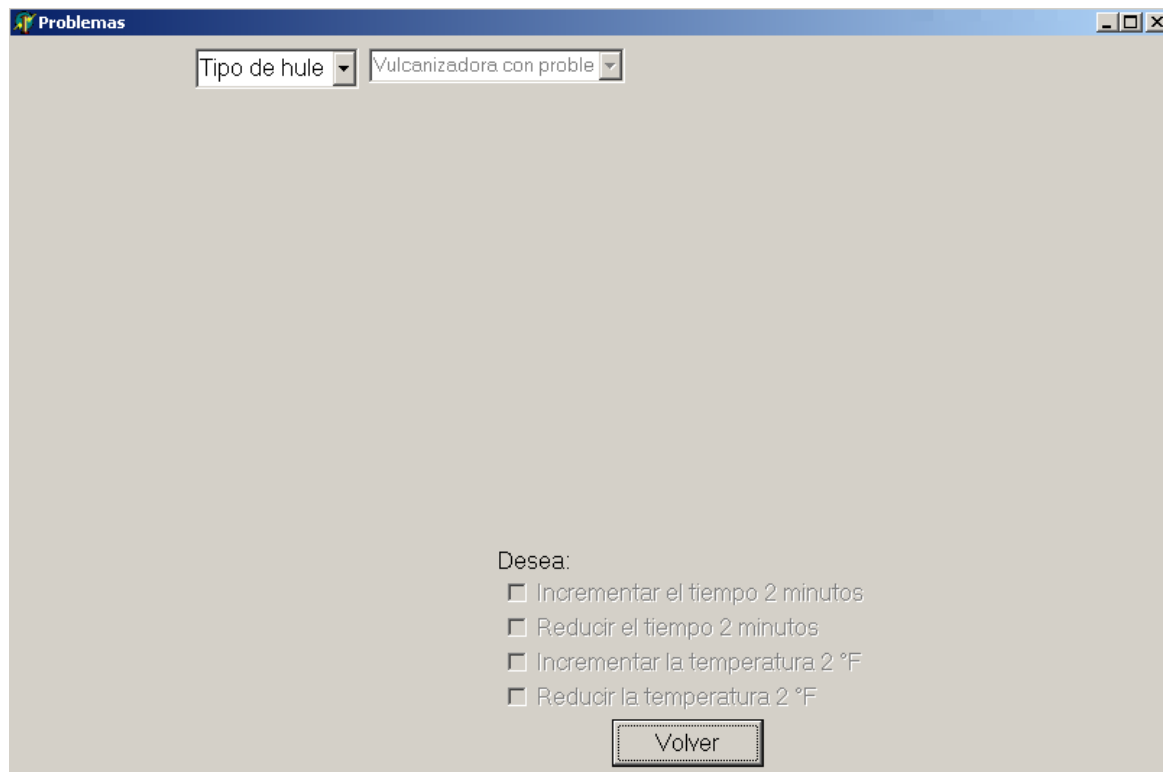
Pantalla ajustes.



En esta pantalla el operario puede variar tanto la temperatura de trabajo de cada vulcanizadora, así como también el tiempo de trabajo de la misma, o ambos, se cuenta con un selector de vulcanizadora en el cual el operario selecciona la máquina a la cual desea realizar los cambios, un selector de temperatura, en el cual el operario puede seleccionar entre varios valores de temperatura ya definidos; un selector de tiempo en el cual se selecciona entre varios valores de tiempo ya establecidos, se cuenta con un además con un botón para realizar cambios en el puerto de comunicación, aunque ya los valores estas definidos para una adecuada comunicación con el sistema de control.

En el momento que el operario oprima el botón cargar, el sistema registra los cambios realizados por el usuario y los transmite al sistema de control y vuelve a la pantalla principal y en el momento que se oprima el botón de arranque de la maquina en la cual se efectuaron los cambios estos surtirán efecto.

Pantalla de problemas.



Tipo de hule ▼ Vulcanizadora con proble ▼

Desea:

- Incrementar el tiempo 2 minutos
- Reducir el tiempo 2 minutos
- Incrementar la temperatura 2 °F
- Reducir la temperatura 2 °F

Volver

En esta pantalla el usuario encontrará un selector de hule, con el cual se puede escoger entre el hule blanco y el hule rosado, una vez seleccionado el tipo hule el sistema presenta una serie de preguntas, que exponen los problemas más comunes que se presentan en los moldes, dependiendo del tipo de hule seleccionado.

Una vez que el operario responda cualquiera de las preguntas afirmativamente, el sistema le presentara sugerencias, una vez que el operario seleccione la vulcanizadora en la que se presentó el problema, el sistema activa una serie de correcciones que se pueden aplicar para solucionar el problema, el operario toma la decisión final, en cuanto se presiona el botón volver el sistema la almacena las correcciones y las transmite al sistema de control de las Vulcanizadoras para que sean aplicadas, y se procede a presentar de nuevo la pantalla principal, a partir de este momento el sistema continua trabajando con las correcciones hechas, hasta que ocurra de nuevo un problema. En caso de no seleccionar ninguna sugerencia el sistema no realiza ningún cambio.

Sistema Experto.

Corrección de problemas de moldeo.

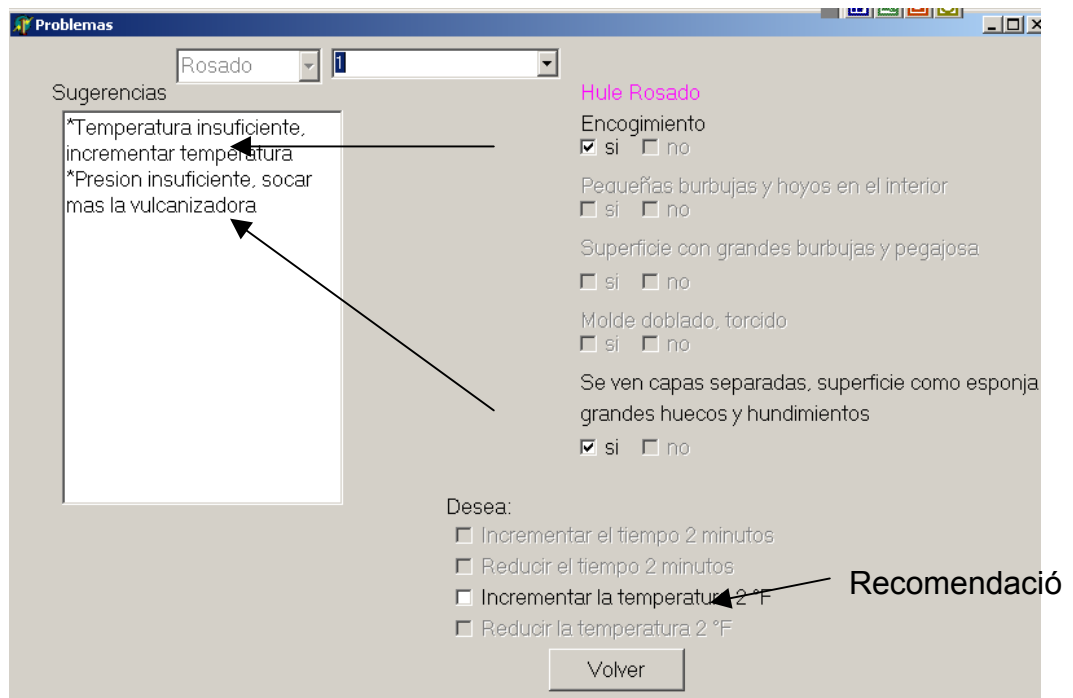
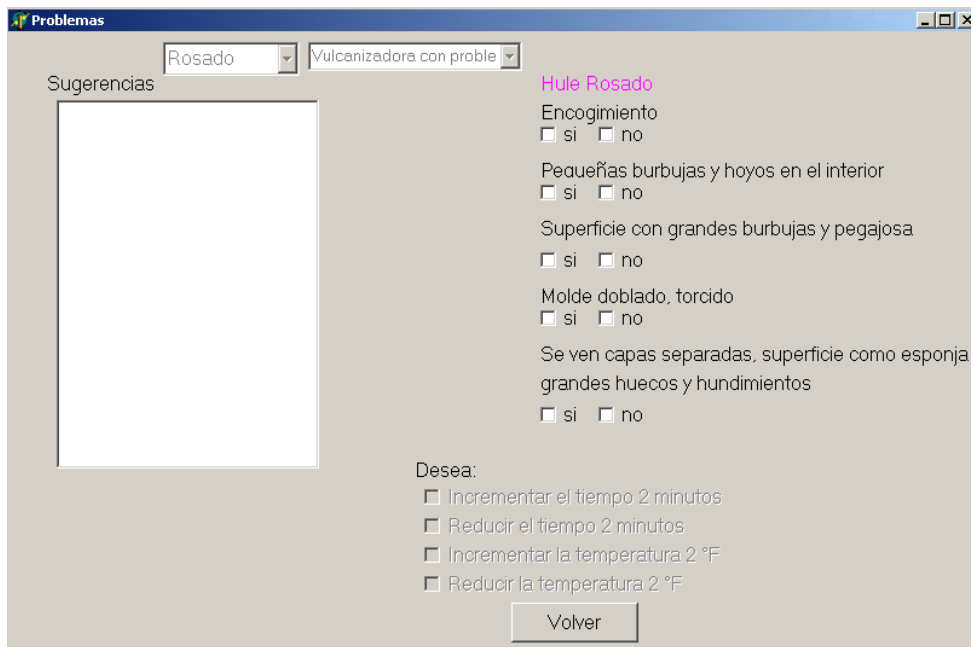
The screenshot shows a software window titled "Problemas". At the top, there are two dropdown menus: the first is set to "Blanco" and the second to "Vulcanizadora con proble". Below these, the interface is divided into two main sections. On the left, under the heading "Hule Blanco", there are six diagnostic questions, each with a "si" and "no" checkbox:

- Molde final suave, flexible
- Molde final duro
- Molde doblado, Torcido
- Se ven capas separadas
- Burbujas de aire, grandes huecos y hundimientos
- Hule no fluye en todas las cavidades

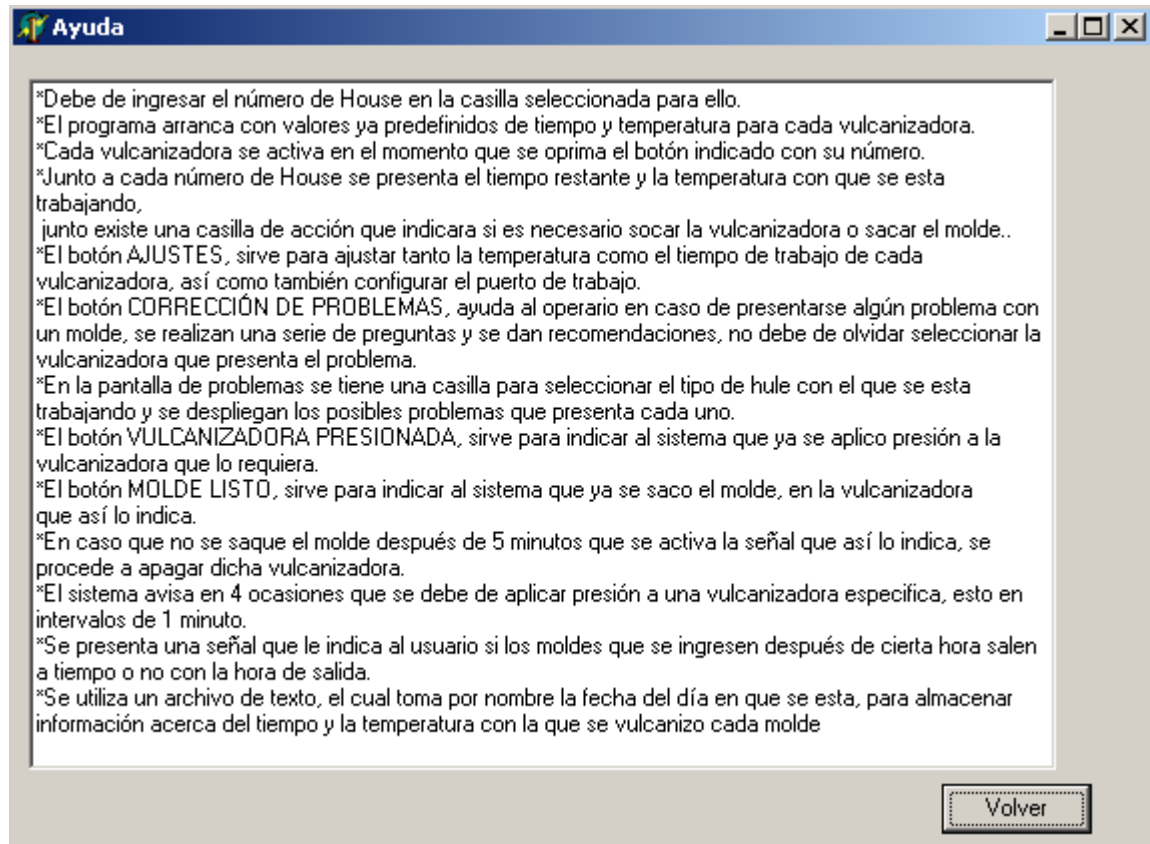
On the right, there is a large empty box labeled "Sugerencias". Below this box, under the heading "Desea:", there are four checkboxes for corrective actions:

- Incrementar el tiempo 2 minutos
- Reducir el tiempo 2 minutos
- Incrementar la temperatura 2 °F
- Reducir la temperatura 2 °F

At the bottom center of the window is a button labeled "Volver".



Pantalla ayuda.



En esta pantalla el operario encuentra una ayuda general, en la que se describe la utilidad de cada botón del sistema y algunos pasos a seguir.

A.3 Información sobre la empresa.

A.3.1 Descripción de la empresa.

ICG (International Contracting Group), empresa bajo el régimen de Zonas Francas, que cuenta con más de 14 años de experiencia en la maquila de joyería, con aproximadamente 155 empleados la mayoría en el área de producción.

Esta empresa opera recibiendo de sus clientes prototipos del producto que desean que se les fabrique, estos prototipos son copiados en cera mediante la elaboración de moldes en hule. Posteriormente estas copias pasan al proceso de elaboración de materia en bruto en las cantidades solicitadas.

Seguidamente se realiza el proceso de pulido y colocación de alguna piedra adicional en los casos que así lo requieran.

La joyería se trabaja en oro de diferente pureza, la empresa se encarga del proceso de dopado del oro para obtener los distintos valores (10k, 18k, 24k); en los últimos años se está incursionando en la producción de joyería en plata.

Este proyecto se realizó en el departamento de molde, donde se fabrican los moldes en hule para la producción en bruto de las piezas solicitadas.

El encargado de la totalidad de la planta es el gerente de Producción el Ing. Carlos Aguilar Blandino, en la gerencia de la planta se encuentra el Ing. Juan Emilio Ibarra.

A.3.2. Descripción del departamento o sección en la que se realizó el proyecto.

El proyecto se desarrollará en el departamento de moldeo, en este se reciben las muestras a producir, posteriormente pasan por un proceso de revisión en el departamento de diseño, una vez revisadas las muestras se reproducen en moldes en hule, por medio del proceso de vulcanizado, el cual consiste en que los operarios colocan una serie de 3 láminas de hule crudo una sobre la otra para de esta forma obtener el grueso apropiado, luego se procede a cortar la lámina en porciones más pequeñas del tamaño del molde que se necesite producir, una vez que se tiene el tamaño adecuado del molde, se colocan las muestras a reproducir entre dos placas del hule ya cortado, cuando se tiene una especie de “sándwich” con la pieza a copiar en el centro, se coloca entre dos placas de aluminio que son sometidas a presión y a temperatura definidas por cierto tiempo, a este proceso se le conoce como proceso de vulcanizado, una vez que se realiza este proceso unos 4 empleados se encargan de hacer el corte de los moldes con diferentes técnicas para este propósito.

El departamento dispone de 8 vulcanizadoras, las cuales calientan el hule hasta una temperatura de 307 °F; durante los primeros 10 minutos del proceso de moldeo se ajusta la presión a la que se encuentra sometido el molde, una vez finalizados estos diez minutos se deja que el hule se vulcanice aproximadamente durante una hora, para de esta forma obtener una copia sumamente fiel con el más mínimo de los detalles de la pieza, el departamento esta dirigido por el Ing. Carlos Aguilar Blandino, el cual es ingeniero en producción.

Este departamento es uno de los principales de la empresa ya que cualquier tipo de error en los moldes se obtendrá en la pieza final por lo que es de suma importancia el poder controlar de forma muy confiable todas las variables que intervienen en el proceso de reproducción.

A.3.3. Antecedentes Prácticos.

Anterior a la elaboración del presente proyecto se realizaron las siguientes pruebas:

1. Vulcanizado de una misma pieza, variando solamente la temperatura con la que se estaba trabajando.
2. Se elaboraron moldes de la misma pieza a una temperatura específica, pero variando el tiempo de moldeo.
3. Se tomaron mediciones de las temperaturas, las presiones y tiempos más adecuados a los cuales se debería trabajar cada tipo de hule.

Se intentó que los operarios prestaran más atención al tiempo de trabajo de cada muestra en las vulcanizadoras, sin embargo por la cantidad de funciones que cumplen los operarios del departamento se siguen presentando pérdidas de material por descuidos en las diferentes variables del sistema.

Con estos antecedentes se estableció que el problema de volumen de las piezas finales, se debía a variaciones en la temperatura de vulcanizado, con las que no se alcanzaba la dureza necesaria de los moldes de hule.

Anexos.

Anexo B.1. Datos técnicos sobre el hule utilizado.

Recommended vulcanization times			
Mold Thickness		# of pieces of rubber	307° F. (152° C)
1/2 inch (13 mm)		4	30 minutes — Minimum
5/8 inch (16 mm)		5	37 minutes
3/4 inch (19 mm)		6	45 minutes
1 inch (25 mm)		8	60 minutes
1 1/4 inch (32 mm)		10	75 minutes — Maximum
1 1/2 inch (38 mm)		12	75 minutes

Anexo B.2. Vulcanizadora Deluxe vulcanizar 110V.



Figura B.2.1. Vulcanizadora a controlar.

Deluxe Vulcanizer 110V

Heavy-duty cast-iron and aluminum construction. Features heavy-duty alignment guides for even pressure, accurate temperature control in °F, heavy guide posts and 1" diameter pressure screw to assure perfect alignment of both platens, on/off switch with separate pilot light, and thermostat pilot light. Large stainless steel platens accept our double mold frames. Made in USA.

Tabla B.2.1. Características de la vulcanizadora.

Electrical:	110V, 6A, 660W, 50/60Hz
	220V, 3A, 660W, 50/60Hz
Dimensions:	14"W x 9-1/2"D x 21"H
Platens:	8-1/4" x 6"
Max. Temp.:	500°F (260°C)
Max. Opening:	4-3/4"
Ship. Wt.:	51-1/2 lbs.

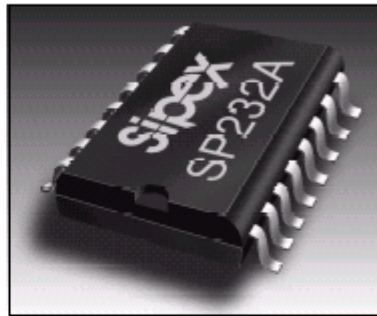
Anexo B.3. Componentes utilizados.



SP231A/232A/233A/310A/312A

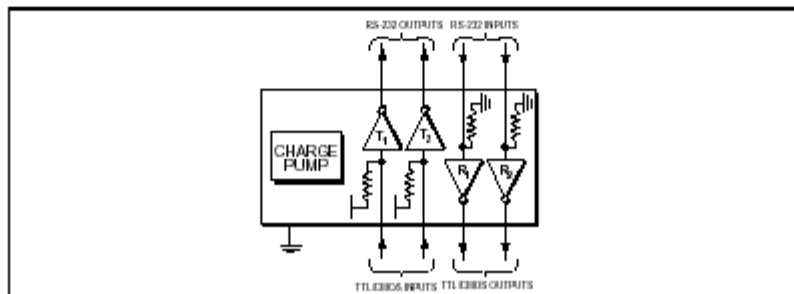
Enhanced RS-232 Line Drivers/Receivers

- Operates from Single 5V Power Supply
- Meets All RS-232D and V.28 Specifications
- Multiple Drivers and Receivers
- Small Charge Pump Capacitors – 0.1 μ F
- Operates with 0.1 μ F and 100 μ F Capacitors
- High Data Rate – 120kbps Under Load
- High Output Slew Rate – 10V/ μ s Under Load
- Low Power Shutdown $\leq 1\mu$ A
- 3-State TTL/CMOS Receiver Outputs
- ± 30 V Receiver Input Levels
- Low Power CMOS – 15mA Operation



DESCRIPTION...

The Sipex SP231A, SP232A and SP233A are enhanced versions of the Sipex SP231, SP232 and SP233 RS-232 line drivers/receivers. They are pin-for-pin replacements for these earlier versions and will operate in their sockets. Performance enhancements include 10V/ μ s slew rate, 120k bits per second guaranteed transmission rate, and increased drive current for longer and more flexible cable configurations. Ease of use enhancements include smaller, 0.1 μ F charge pump capacitors, enhanced ESD protection, low power dissipation and overall ruggedized construction for commercial environments. The series is available in plastic and ceramic DIP and SOIC packages operating over the commercial, industrial and military temperature ranges.





PIC16F87X

28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

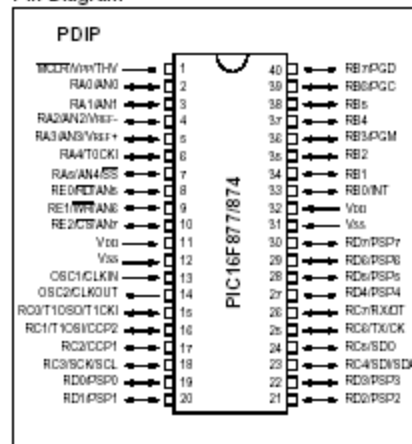
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High-performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM data memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low-power, high-speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
Mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)



NTE5631 thru NTE5637 TRIAC – 10 Amp

Description:

The NTE5631 through NTE5637 series of TRIACs are high performance glass passivated PNPN devices in a TO220 type package designed for general purpose applications where moderate gate sensitivity is required.

Absolute Maximum Ratings: ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Repetitive Peak Off-State Voltage ($T_J = -40^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, $R_{GK} = 1\text{k}\Omega$), V_{DRM}	50V
NTE5631	100V
NTE5632	200V
NTE5633	300V
NTE5634	400V
NTE5635	500V
NTE5636	600V
NTE5637	10A
On-State Current (All Conduction Angles, $T_C = +85^\circ\text{C}$), $I_T(\text{RMS})$	110A
Non-Repetitive On-State Current (Half Cycle), I_{TSM}	100A
60Hz	100A
50Hz	50A ² s
Fusing Current ($t = 10\text{ms}$), I^2t	4A
Peak Gate Current ($t = 10\mu\text{s}$ Max), I_{GM}	10W
Peak Gate Dissipation ($t = 10\mu\text{s}$ Max), P_{GM}	1W
Gate Dissipation ($t = 20\text{ms}$ Max), $P_{G(AV)}$	-40° to +125°C
Operating Junction Temperature Range, T_J	-40° to +125°C
Storage Temperature Range, T_{stg}	2.5K/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case, R_{thJC}	60K/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient, R_{thJA}	+250°C
Lead Temperature (During Soldering, 1.6mm from case, 10sec max), T_L	

Electrical Characteristics: ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Off-State Leakage Current	I_{DRM}	$V_D = V_{DRM}$, $R_{GK} = 1\text{k}\Omega$, $T_J = +25^\circ\text{C}$	-	-	10	μA
		$V_D = V_{DRM}$, $R_{GK} = 1\text{k}\Omega$, $T_J = +125^\circ\text{C}$	-	-	2	mA
On-State Voltage	V_T	$I_T = 15\text{A}$, $T_J = +25^\circ\text{C}$	-	-	1.75	V
On-State Threshold Voltage	$V_{T(10)}$	$T_J = +125^\circ\text{C}$	-	-	1.05	V
On-State Slope Resistance	r_T	$T_J = +125^\circ\text{C}$	-	-	52	$\text{m}\Omega$



NTE3048 Optoisolator TRIAC Driver Output

Description:

The NTE3048 consists of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a silicon bilateral switch in an 6-Lead DIP type package. This device is designed for use in applications requiring isolated TRIAC triggering.

Features:

- Output Driver Designed for 240VAC Line
- V_{ISO} Isolation Voltage of 7500V Peak
- Standard 6-Lead Plastic DIP Package

Absolute Maximum Ratings: ($T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Infrared Emitting Diode

Reverse Voltage, V_R	3V
Continuous Forward Current, I_F	60mA
Total Power Dissipation (Negligible Power in TRIAC Driver, $T_A = +25^\circ\text{C}$), P_D	100mW
Derate Above 25°C	1.33mW/ $^\circ\text{C}$

Output Driver

Off-State Output Terminal Voltage, V_{DRM}	400V
Peak Repetitive Surge Current ($PW = 1\text{ms}$, 120pps), I_{TSM}	1.0A
Total Power Dissipation ($T_A = +25^\circ\text{C}$), P_D	300mW
Derate Above 25°C	4.0mW/ $^\circ\text{C}$

Total Device

Isolation Surge Voltage (Peak AC Voltage, 60Hz, 5sec Duration, Note 1), V_{ISO}	7500V
Total Power Dissipation ($T_A = +25^\circ\text{C}$), P_D	330mW
Derate Above 25°C	4.4mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range, T_J	-40° to $+100^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range, T_A	-40° to $+85^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range, T_{stg}	-40° to $+150^\circ\text{C}$
Lead Temperature (During Soldering, 1/16" from Case, 10sec), T_L	$+260^\circ\text{C}$

DM7400 Quad 2-Input NAND Gates

General Description

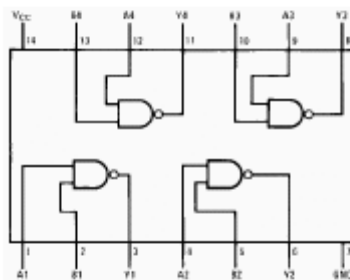
This device contains four independent gates each of which performs the logic NAND function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM7400M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
DM7400N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Device also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$$Y = \overline{AB}$$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

**SN5432, SN54LS32, SN54S32,
SN7432, SN74LS32, SN74S32**
QUADRUPLE 2-INPUT POSITIVE-OR GATES
DECEMBER 1983 - REVISED MARCH 1988

- Package Options Include Plastic "Small Outline" Packages, Ceramic Chip Carriers and Flat Packages, and Plastic and Ceramic DIPs
- Dependable Texas Instruments Quality and Reliability

description

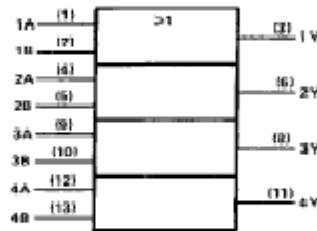
These devices contain four independent 2-input OR gates.

The SN5432, SN54LS32 and SN54S32 are characterized for operation over the full military range of -55°C to 125°C. The SN7432, SN74LS32 and SN74S32 are characterized for operation from 0°C to 70°C.

FUNCTION TABLE (each gate)

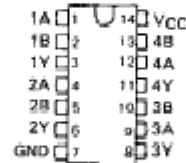
INPUTS		OUTPUT
A	B	Y
H	X	H
X	H	H
L	L	L

logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12. Pin numbers shown are for D, J, N, or W packages.

SN5432, SN54LS32, SN54S32 ... J OR W PACKAGE
SN7432 ... N PACKAGE
SN74LS32, SN74S32 ... D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)

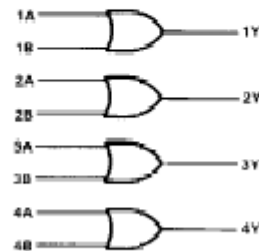


SN54LS32, SN54S32 ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

logic diagram



positive logic

$$Y = A + B \text{ or } Y = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$$

LM741 Operational Amplifier

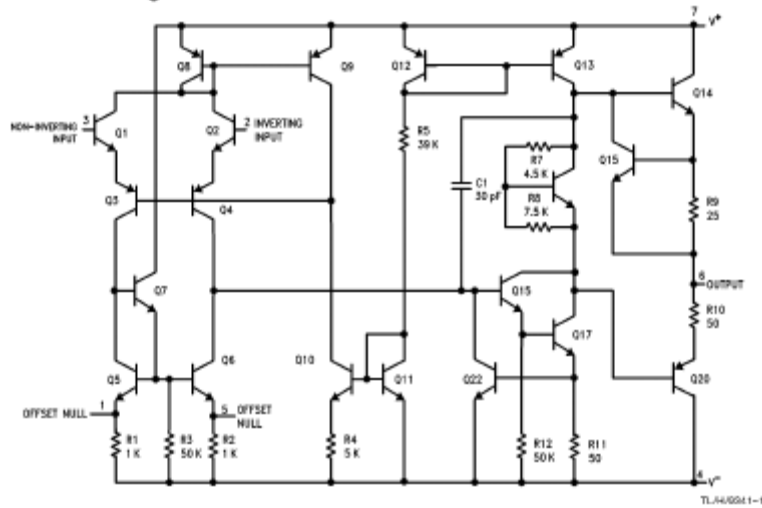
General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1499 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

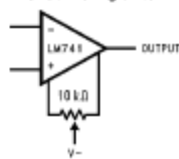
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

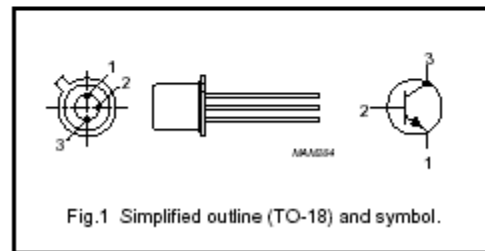


Fig.1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	-	60	V
	2N2222A			75	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	-	30	V
	2N2222A			40	V
I_C	collector current (DC)		-	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	500	mW
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	-	
f_T	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250	-	MHz
	2N2222A		300	-	MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{Con} = 150\text{ mA}; I_{Bof} = 15\text{ mA}; I_{Bof} = -15\text{ mA}$	-	250	ns

Anexo B.4. Información para el sistema experto.

Guide to solving common mold making problems.

Finished mold is tacky and soft.

Cause: Insufficient vulcanization time and/or temperature.

Solution: Check vulcanizer with accurate thermometer and observe recommended time and temperature.

Finished mold hard and springy - won't lie flat.

Cause: Excessive pressure. Excessive vulcanization time and/or temperature.

Solution: Reduce pressure. Check temperature with accurate thermometer. Observe recommended time and temperature.

Mold curls, won't lie flat.

Cause: Mold began vulcanizing before pressure was applied.

Solution: Close press and tighten as soon as mold frame is placed inside.

Partial de-lamination of mold into separate layers.

Cause: Contamination with hand oils, silicone spray, talc etc.

Solution: Discard and ensure future cleanliness.

Air bubbles throughout and/or large depressions in top and bottom surfaces.

Cause: Mold frame underpacked.

Solution: Pack mold frame more fully.

White powder on unvulcanized rubber.

Cause: Normal

solution: Disregard - do not attempt to clean it off.

Rubber hard and won't vulcanize.

Cause: Full or partial vulcanization through accidental exposure to heat and/or aging.

Solution: Discard and ensure proper storage techniques.

Rubber hard and stiff.

Cause: Rubber frozen through long exposure to cold.

Solution: Warm slowly at approximately 100°F (38°C).

Excessive shrinkage.

Cause: Too high vulcanization temperature.

Solution: Check setting with accurate thermometer and observe recommended temperature and time. Also, reduce temperature to 290°F (143°C) and double the time.

Rubber does not flow into all cavities.

Cause: Not packed properly.

Solution: Pack cavities with scraps of rubber.

Rubber does not flow into all cavities.

Cause: Vulcanizing temperature is too high.

Solution: Use accurate thermometer and observe recommended time and temperature.

B.4.1. Traducción de Información para el sistema experto.

Manual para resolver problemas comunes de moldeo.

1. Molde final suave y flexible.

Solución: temperatura y/o tiempo, bajos al vulcanizar incrementa temperatura y/o tiempo.

2. Molde final duro.

Solución: Temperatura y/o tiempos, altos al vulcanizar reduce temperatura y/o tiempo.

3. Molde doblado torcido.

Solución: El molde vulcanizo sin la presión adecuada, soque la vulcanizadora desde que ingresa el molde.

4. Se ven capas separadas.

Solución: Contaminación de las laminas de hule, verifique la limpieza de las laminas de hule.

5. Burbujas de aire grandes, huecos y hundimientos.

Solución: Presión insuficiente, presionar mas el molde.

6. Hule no fluye en todas las cavidades.

Solución: No se empaqueta bien la muestra, rellenar con piezas de hule cualquier cavidad, a la hora de preparar el molde.

Anexo B.5. unidades de dureza shore A.

Property	Unit	Value	Standard
Durometer hardness	SHORE A	85 ± 5	DIN 53505
Density	g/cm ³	1.32 ± 0.02	DIN 53479
Tensile strength	N/mm ²	>15	DIN 53504
Elongation at break	%	>130	DIN 53504
100% Modulus	N/mm ²	>11.0	DIN 53504
Compression set: 100°C / 22h	%	<12	DIN 53517
Tear strength	N/mm	18	DIN 53515
Rebound resilience	%	22	DIN 53512
Abrasión	mm ³	110	DIN 53516
Minimum service temperature	°C	-30	----
Maximum service temperature	°C	+100	----
Brittleness point	°C	-40	ASTM D 736
TR 10	°C	-26	ASTM D 1329
Swelling behavior in ASTM Oil No.1 acc. DIN 53521 70h/100°C:			
Change in durometer hardness	Shore A	+6	DIN 53505
Volume change	%	-8	DIN 53521
Swelling behavior in ASTM Oil No.3 acc. DIN 53521 70h/100°C:			
Change in durometer hardness	Shore A	0	DIN 53505
Volume change	%	+1	DIN 53521
Heat resistance, air 70h/100°C:			
Change in durometer hardness	Shore A	+3.0	DIN 53505
Volume change	%	0	DIN 53521
Swelling behavior, water 70h/100°C:			
Change in durometer hardness	Shore A	0	DIN 53505
Volume change	%	+2.5	DIN 53521

Formulas

$$T(t) = \Delta t \left(1 - e^{-\frac{(t-\theta)}{T}} \right) * u(t-\theta) \quad (\text{A.2})$$

$$\Delta t = t_f - t_i \quad (\text{A.2})$$

$$T = \frac{3}{2} (t_{63.2\%} - t_{28.3\%}) \quad (\text{A.2})$$

$$\theta = \frac{3}{2} t_{28.3\%} - \frac{1}{2} t_{63.2\%} \quad (\text{A.2})$$

$$\%Error = \left| \frac{V_{teorico} - V_{experimental}}{V_{teorico}} \right| * 100 \quad (\text{6.1})$$

$$Pendiente \ m = \frac{y2 - y1}{x2 - x1} \quad (\text{5.1})$$

$$Linealización = m * x + b \quad (\text{5.1})$$