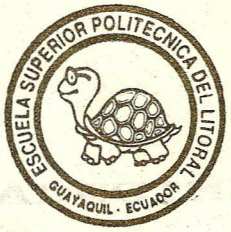
T
621.8
DRE



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica



"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRODUCCION DE PIEZAS FUNDIDAS CONTROLADA POR COMPUTADORA"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Johan Peter Dreher Andrade

Guayaquil - Ecuador

1.991

AGRADECIMIENTO

AL DR. HANS PETER LÖHRLEIN E ING. EDUARDO ORCES, por su colaboración y apoyo incondicional en todo el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS,
A quien todo le debo
y sin quien nada soy.

A MI ESPOSA,
Amante compañera
y amiga fiel.

A MI HIJO,
Mi mayor motivación
de superación.

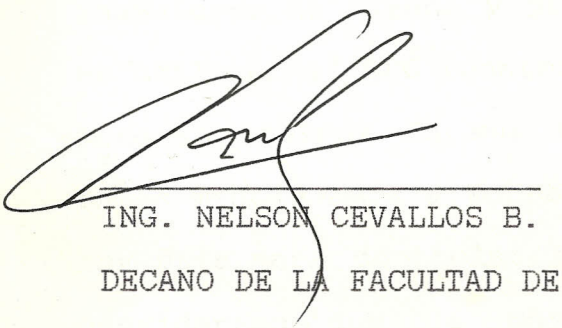
DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

Johan P. Dreher A.

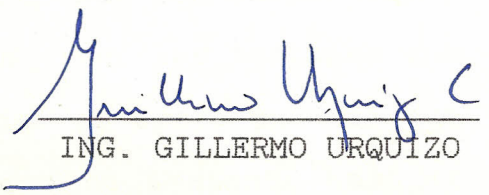
JOHAN P. DREHER A.



ING. NELSON CEVALLOS B.

DECANO DE LA FACULTAD DE

INGENIERIA EN MECANICA



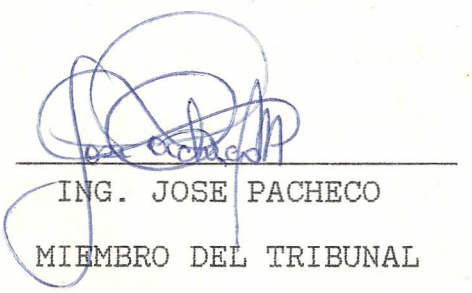
ING. GILLERMO URQUIZO

DIRECTOR DE TESIS



ING. FEDERICO CAMACHO B.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JOSE PACHECO

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

RESUMEN

El Proyecto: "Diseño y Construcción de una máquina para producción de piezas fundidas controlada por computadora", nació por una necesidad de utilizar métodos más modernos y más sencillos de control de procesos, sin tener que invertir una gran suma de dinero.

He escogido el control de procesos con computadora por ser el que más está siendo utilizado en la industria y el que mejores resultados está dando en forma económica.

En la industria a medida que crece la producción, los problemas para controlar los procesos también aumentan. La necesidad de manejar los procesos desde un sólo lugar donde se pueda tomar todas las decisiones y se pueda tener una idea global de lo que está pasando en cada ins tante dentro de la planta, ha sido muy bien satisfecha con la introducción de los microprocesadores los cuales están revolucionando la industria de la automatización; es por esta razón que la máquina que vamos a diseñar a

continuación es controlada por una microcomputadora, que además de centralizar el proceso nos da mucha más flexibilidad para cambiar de parámetros de producción que los controles eléctricos convencionales.
Esta tesis está especialmente dirigida para los ingenieros de diseño y producción que estén interesados en utilizar el CPC (control de procesos con computadora) para el control de sus procesos, con las ventajas que antes mencionamos y sobre todo que el costo que hay que invertir para controlar el proceso es bastante bajo si consideramos que la mayor parte de las industrias cuentan con una microcomputadora.

El control de procesos con computadora tiene un campo muy extenso en la industria de los procesos contínuos o en serie; quedando los procesos discretos o discontínuos para otro tipo de controles, el CNC (control número con computadora) al cual no nos vamos a referir en esta tesis.

INDICE GENERAL

Resumen..... VI

Indice General..... VIII

Indice de Figuras..... XI

Indice de Tablas..... XVI

Introducción..... 1

1. Generalidades.

1.1. Antecedentes de la Máquina..... 3

1.2. Antecedentes del Control de Procesos..... 5

2. Fundición a Baja Presión con Molde Fijo.

2.1. Fundamentos Teóricos..... 13

2.2. Máquinas Utilizadas..... 27

3. Control de procesos por computadora.

3.1. Fundamentos del Control de Procesos..... 39

3.2. Adquisición de Datos..... 55

3.3. La Computadora (IBM-PC y compatibles)..... 58

3.4. El Software..... 66

3.5. Interfases..... 67

3.6. Sensores..... 70

4. Diseño de la Máquina.

4.1. Factores de Influencia..... 74

4.2. Diseño de Forma..... 79

4.3. Descripción de las Partes y su Funcionamiento... 99

4.4. Diseño de los Elementos Mecánicos..... 104

4.4.1. Tornillos de Potencia y Manguitos..... 105

4.4.2. Resortes..... 115

4.4.3. Leva..... 140

4.4.4. Seguidores..... 154

4.4.5. Acoples de Motor..... 162

4.4.6. Cortador..... 177

4.5. Selección de los Elementos Mecánicos estandazaridos..... 186

4.5.1. Cojinetes..... 186

4.5.2. Ruedas Dentadas y Cadena..... 193

4.5.3. Motores Eléctricos..... 195

4.6. Adquisición de datos y control de proceso..... 196

4.6.1. Medición de Temperaturas..... 198

4.6.2. Medición de Posición de Carro Porta-Moldes..... 204

4.6.3. Medición de Posición de la Leva..... 209

4.6.4. Control del proceso..... 211

5. Evaluación.

5.1. Pruebas Parciales..... 244

Conclusiones y Recomendaciones..... 256

Apéndices

Bibliografía..... 308

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

1.1 A) Regulador Analógico: B) Microprocesador; y C) Un Regulador Múltiple Actual.

1.2 Robot controlado por microprocesadores.

1.3 Refinería y sala de control con puesto para supervisor y operador con pantallas e indicadores.

1.4 Centro de maniobras

CAPITULO II

2.1 Efecto del espesor del molde en la temperatura máxima y mínima de una aleación de aluminio.

2.2 Uso de enfriadores y calentadores.

2.2 Máquina manual tipo libro.

2.4 Máquina manual con retracción lineal.

2.5 Máquina de Wessel

2.6 Máquina automática.

2.7 Máquina giratoria automática

2.8 Máquina para fundición centrífuga

2.9 Nomograma para determinar la aceleración en la fundición centrífuga de hierro.

CAPITULO III

3.1 Principales diferencias entre la automatización de procesos de producción y los de fabricación.

3.2 Diferencias entre los dos tipos de actuaciones de control.

3.3 Control de ciclo abierto

3.4 Factores que alteran el proceso

3.5 Control de ciclo cerrado

3.6 Control todo/nada

3.7 Estructura básica del comportamiento del control secuencial.

3.8 Estructura de un control digital directo

3.9 Adquisición de datos y sistema de conversión

3.10 Interfases y funciones de control del CPU

3.11 Mapa de memoria de un PC

3.12 Interfase PIA

3.13 Función de transferencia ideal del convertidor A/D

CAPITULO IV

4.1 Dimensiones principales del horno

4.2 Fotografía del horno

4.3 Fotografía del bastidor y elementos de transmisión

4.4 Vista superior del horno

4.5 Sistema de actuación y amortiguamiento de los inyectores

4.6 Sistema de cierre de moldes

4.7 Sistema vibrador

4.8 Sistema cortador

4.9 Diagrama de cuerpo libre de los tornillos + el carro + el cortador

4.10 Elemento de esfuerzos del tornillo

4.11 Esfuerzo cortante en el tornillo

4.12 Posiciones del carro

4.13 Diagrama de fatiga para esfuerzo torcional alternante y medio combinados para el muelle del carro.

4.14 Tipo de extremos de resortes de compresión.

4.15 Curvas que indican cuándo puede producirse pandeo en resortes helicoidales de compresión.

4.16 Diagrama de fatiga para el esfuerzo torcional alternante y medio combinados para el muelle de la guía del cortador.

4.17 Diagrama de fatiga para el esfuerzo torcional alternante y medio combinados para el muelle del seguidor.

4.18 Diagrama de fatiga para el esfuerzo torcional alternante y medio combinados para el muelle del cortador.

4.19 Diagrama de cuerpo libre de la leva.

4.20 Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante de la leva.

4.21 Punto crítico y elemento de esfuerzos.

4.22 Relación esfuerzo-tiempo para la leva.

4.23 Factores de modificación de acabado superficial para el acero.

4.24 Diagrama de sensibilidad a las ranuras.

4.25 Diagrama para factores de concentración de fuerzas.

4.26 Diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector del seguidor.

4.27 Factores de concentración de esfuerzos para placas sometidas a flexión.

4.28 Diagrama de Goodman para esfuerzos fluctuantes.

4.29 Diagrama de cuerpo libre de las catalinas y el piñón.

4.30 Distribución de esfuerzos en el acople.

4.31 Cuerda del acople hembra.

4.32 Diagrama de cuerpo libre del eje del motor propulsor de la leva

4.33 Factores de concentración de esfuerzos para barra circular en torsión.

4.34 Diagrama de fatiga para el esfuerzo torsional alternante y medio combinado.

4.35 Diagrama de cuerpo libre del prisionero.

4.36 Diagrama de fatiga para esfuerzo torsional alternante y medio combinado para el prisionero.

4.37 Diagrama de cuerpo libre del cortador.

4.38 Relación esfuerzo-tiempo para el cortador.

4.39 Diagrama de Goodman para esfuerzo axial alternante y medio combinados.

4.40 Geometría de los elementos espárragos.

4.41 Diagrama de cuerpo libre de un espárrago.

4.42 Diagrama de Goodman para esfuerzo de flexión alternante y medio combinado del espárrago.

4.43 Reacciones en el eje de la leva.

4.44 Vidas de cojinetes recomendadas para maquiaria diversa.

4.45 Factores de aplicación de carga.

4.46 Diagrama de cuerpo libre de la catalina

4.47 Diagrama de cuerpo libre del tornillo.

4.48 Catálogo Browning catalinas y cadena.

4.49 Simulador de temperaturas.

4.50 Gráfico digital vs. temperatura.

4.51 Control de temperatura On/Off con computadora.

4.52 Diagrama de flujo del control de temperatura.

4.53 Control de dirección de movimiento del carro.

4.54 Diagrama de flujo del control secuencial.

4.32 Diagrama de cuerpo libre del eje del motor propulsor de la leva

4.33 Factores de concentración de esfuerzos para barra circular en torsión.

4.34 Diagrama de fatiga para el esfuerzo torsional alternante y medio combinado.

4.35 Diagrama de cuerpo libre del prisionero.

4.36 Diagrama de fatiga para esfuerzo torsional alternante y medio combinado para el prisionero.

4.37 Diagrama de cuerpo libre del cortador.

4.38 Relación esfuerzo-tiempo para el cortador.

4.39 Diagrama de Goodman para esfuerzo axial alternante y medio combinados.

4.40 Geometría de los elementos espárragos.

4.41 Diagrama de cuerpo libre de un espárrago.

4.42 Diagrama de Goodman para esfuerzo de flexión alternante y medio combinado del espárrago.

4.43 Reacciones en el eje de la leva.

4.44 Vidas de cojinetes recomendadas para maquiaria diversa.

4.45 Factores de aplicación de carga.

4.46 Diagrama de cuerpo libre de la catalina

4.47 Diagrama de cuerpo libre del tornillo.

4.48 Catálogo Browning catalinas y cadena.

4.49 Simulador de temperaturas.

4.50 Gráfico digital vs. temperatura.

4.51 Control de temperatura On/Off con computadora.

4.52 Diagrama de flujo del control de temperatura.

4.53 Control de dirección de movimiento del carro.

4.54 Diagrama de flujo del control secuencial.

CAPITULO V

5.1 Circuito para pruebas del puerto paralelo

5.2 Caja para pruebas del puerto paralelo.

5.3 Vista superior de los controles.

5.4 Vista lateral de los controles.

5.5 Conección de los controles a la máquina.

5.6 Funcionamiento del vibrador.

INDICE DE TABLAS

I : Constantes para estimar la resistencia a la tensión de algunos aceros para resortes.

II : Factores de corrección por confiabilidad.

III: Voltajes leidos en termopares J y K a diferentes temperaturas

INTRODUCCION

En nuestro medio los equipos para control de procesos son muy escasos, y la mayoría de las veces tenemos que importarlos a precios bastante caros; es por ésto que la pequeña industria no ha podido desarrollarse adecuadamente, pues la evolución de la tecnología y la automatización son dos cosas que siempre han ido de la mano. La evolución de la tecnología es la que ha conducido al estado actual de desarrollo de la automatización con computadora.

Hoy en día, la automatización de procesos es la clave para mejorar la producción. No solamente mejora la cantidad sino también la calidad, con los controles adecuados.

La automatización está íntimamente ligada con la economía por su conección con la productividad y la calidad, las que reducen el costo de producción y hacen a la industria más competitiva.

La microelectrónica y las computadoras pueden aumentar la producción, y los procesos que antes se hacían en forma manual y repetitiva, ahora pueden ser controlados automáticamente con una precisión mayor y con menos fallas, dejando por lo tanto libre al hombre para reali-

zar otras labores menos agotadoras y más humanas. En este proceso muchos parámetros físicos tienen que ser medidos y transformados en señales eléctricas. Esto permite que la computadora pueda procesarlas con facilidad.

En el estudio de este proyecto no presento cálculos ni planos para construcción del horno; dedicándome fundamentalmente a la construcción de la máquina eyectora de piezas y a la automatización de todo el proceso, dejando el estudio del horno para futuras tesis de grado.

Presento en este estudio la solución de un problema muy común en ingeniería mecánica, aplicando conocimientos sencillos de electrónica. La idea no es que aprendamos a diseñar circuitos electrónicos, sino a conocerlos para poder equipar nuestras futuras plantas y máquinas.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES DE LA MAQUINA

Estas máquinas surgierón como una necesidad para la producción en serie de la industria de la impresión en el siglo XIX. Hasta 1820 cada tipo de imprenta era producido en forma individual, y la demanda de material impreso fué la que impulsó a los fabricantes a diseñar y construir máquinas que produzcan tipos de imprenta. La primera maquina patentada fué de Sturgiss, en 1849.

Durante la I Guerra Mundial la producción de piezas fundidas se limitó a la fabricación de municiones; hasta esta época no se habían desarrollado normas para las aleaciones usadas. Aunque ya se utilizaban aleaciones de zinc, la composición variaba según su fabricante.

En 1920 la New Jersey Zinc Company patentó las aleaciones de Zinc conocidas con el nombre de Zamak; para el final de esta década ganaron el mercado y fueron las más usadas comercialmente. Los aceros para moldes disponibles eran de corta duración, no obstante este obstáculo, fueron un gran avance pues colaron también aleaciones de aluminio, magnesio y piezas grandes de zinc; estas últimas gracias a la robustez de estas

máquinas.

Por la decada de los 30 el crecimiento de la industria del automóvil y la demanda de accesorios impulsaron el desarrollo de técnicas para acabado superficial de piezas de Zinc, procesos que sólo se aplicaban hasta entonces en piezas de Bronce.

La II Guerra Mundial aceleró en gran medida el proceso. Se destacaron las máquinas accionadas por aire comprimido y se crearón máquinas más robustas y de mayor capacidad, que eran accionadas hidráulicamente.

A partir de 1950 no había variación respecto a los elementos básicos de los tipos de máquinas que conocemos actualmente. Las mejoras introducidas son en relación a el incremento de la producción y de la calidad de las piezas. Se desarrollaron equipos para alimentar automáticamente las máquinas de cámara fria.
Hacia 1960 se introdujo la aleación de Zinc ILZRO 12 para moldeo por gravèdad. Tenía resistencia mecánica y dureza análogas a las aleaciones Zamak.

En la actualidad este proceso de fabricación se encuentra automatizado completamente, aunque en algunos casos se necesita del elemento humano para resolver ciertos problemas que surgen, en especial durante la eyección de piezas.

Se han aplicado microcomputadoras para encontrar las fases de funcionamiento de la máquina, asi como para seleccionar los mejores parámetros de funcionamiento (presión, velocidad, etc.). Esto ha permitido acoplar el aspecto económico (ritmo y volumen de producción) con el aspecto técnico (variables físicas del proceso), lo cual está dando como resultado la fabricación más racional de productos.

Se están mejorando notablemente los métodos de preparación de aleaciones, de fusión de las mismas, de control de temperatura, de manipulación de la aleación liquida, de control de calidad, etc.

1.2. ANTECEDENTES DEL CONTROL DE PROCESOS

La relación entre la electrónica y los ingenieros mecánicos siempre tenía muchos problemas. Hasta los años 50 podriamos manejar nuestro campo sin involucrarnos mucho en la electrónica. Pero desde la introducción de las microcomputadoras sólo pocos de nosotros podemos continuar ejerciendo nuestra profesión sin cierto conocimiento de la electrónica. Es una forma inadecuada pensar que los dispositivos electrónicos son "cajas negras", que se usan sin el conocimiento de que pasa dentro de ellas.

La automatización de máquinas no es un fenómeno que se

ha dado recientemente. Desde que la actividad industrial ha sustituído a la artesanal, el hombre siempre ha procurado obtener un rendimiento máximo de su trabajo mediante la acción combinada de: herramientas, máquinas y organización. Aunque con distinta incidencia sobre los distintos sectores industriales, el proceso de automatización ha estado sometido a un acelerado desarrollo basándose en nuevas teorías, inventos y tecnologías reduciéndose cada vez más el intervalo de tiempo entre el hallazgo y su aplicación industrial. En las últimas décadas la automatización ha crecido con tal rápidez que se podría hablar de una auténtica explosión.

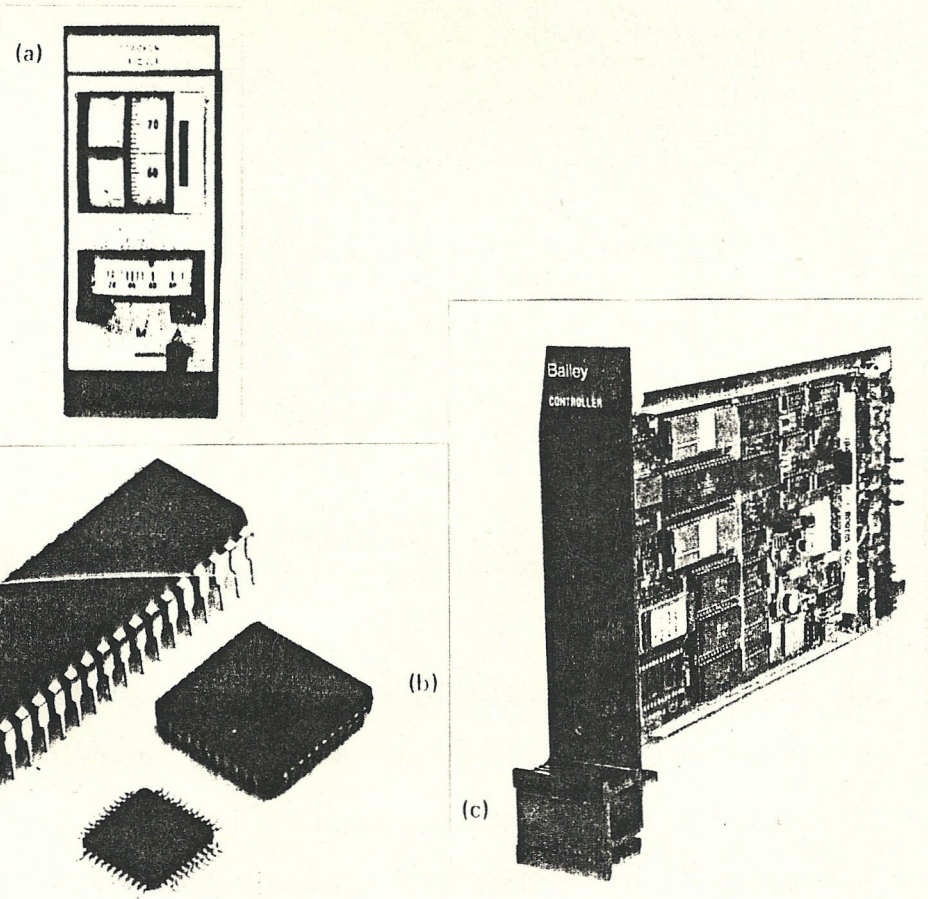


FIGURA 1.1 A) REGULADOR ANALOGICO; B) MICROPROCESADOR; Y C) UN REGULADOR MULTIPLE ACTUAL (Ref. 1).

En la década de los 40, la teoría del control automático y la electrónica, vinierón a revolucionar la industria, cuya automatización estaba fundamentada en la mecánica, la hidráulica, la neumática y la electromecánica. Con los primeros computadores se consigue un salto cualitativo en la industria, al que siguió posteriormente la electrónica digital. Al comienzo de los 70, la expansión de la informática y la aparición de los microprocesadores con un nuevo impulso que permite las aplicaciones extraordinariamente necesarias, como los controladores lógicos programables, los reguladores multiciclo y los robots, entre otros.

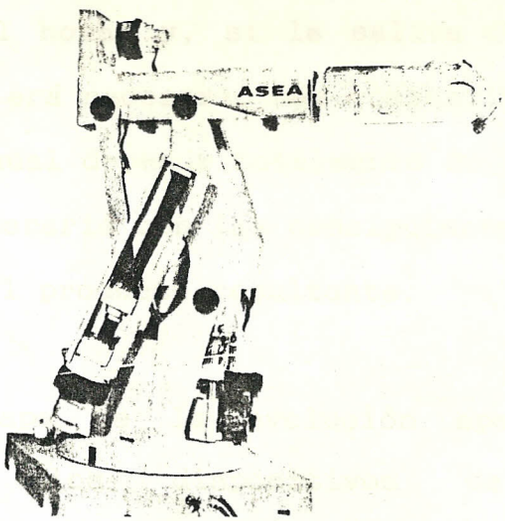


FIGURA 1.2 ROBOT CONTROLADO POR MICROPROCESADORES(Ref.1)

Antes del siglo XX ya se había planteado el problema del mando de procesos de forma automática, llegándose en algunos casos a soluciones asombrosas para la época. Un ejemplo de ello es el llamado "GOVERNOR" (o controlador) de Watt, para el control de una máquina de vapor. Sin-

embargo, durante mucho timpo, el control se llevó a cabo de una forma totalmente manual o humana. Aún hoy se encuentra este tipo de control en algunas actividades artesanales (alfareros, forjadores, etc.). Los sentidos del operario miden la evolución del proceso para corregir las desviaciones existentes, comprobando que las acciones llevadas tienen el efecto previsto, hasta conseguir alcanzar el comportamiento deseado. Esta forma de trabajar, que en muchos casos da resultados satisfactorios para lo que se pretende, se dice que es "BY GUESS AND BY GOLLY" (por adivinación y por salivazo), ya que así es como controlaban sus hornos, antiguamente, los fabricantes de porcelana; el operario escupía sobre el horno y, si la saliva no se evaporaba inmediatamente, erá necesario más combustible.
Este control manual depende totalmente de la apreciación subjetiva del operario con las consiguientes variaciones en la calidad del producto resultante.

La siguiente etapa de la evolución aparece con la introducción de los dispositivos de medida y grabación. Los primeros proporcionan al operador información exacta, rápida, consistente y siempre igual en las mismas condiciones. Los segundos le informan de la evolución, evitándole la anotación continua. Sin embargo, el modelo de comportamiento deseado todavía no está formalizado y la comparación entre éste y los resultados dados por las medidas, sigue haciéndola el

operario, al igual que la ejecución de las correcciones necesarias.

Para que el mando funcione en forma automática hay que sustituir al hombre (liveware) por un dispositivo físico (software, hardware,...), que automáticamente realice las tareas de comparación y producción de la acción correctiva.

Toda esta evolución en el control de procesos tuvo lugar en un largo período. Los dispositivos empleados eran básicamente neumáticos o mecánicos. Aunque era todavía un arte basado en la intuición, las consideraciones eran fundamentalmente cualitativas y las diferentes partes se medían y controlaban independientemente. El conocimiento del proceso era aún muy escaso y el control se consideraba teniendo en cuenta, únicamente, los equipos y la instrumentación.

El cambio se produce durante la II Guerra Mundial, al ser necesarios los sistemas de control. Los trabajos de NYQUIST, BLACK, RYNORSLAY y otros, basados en el estudio del comportamiento en el dominio de la frecuencia por haberse desarrollado en la teoría de circuitos, empiezan a contituir un cuerpo téorico en sí mismos, conocido como la teoría de SERVOMECANISMOS o de CONTROL POR REALIMENTACION, que se intenta aplicar al estudio del control de otros sistemas, tales como los procesos de

producción. Simultáneamente prosiguen los estudios, sobre la dinámica de procesos, y todo ello permite plantear el control de proceso por primera vez sin considerar únicamente la instrumentación, sino teniendo en cuenta, además, el conjunto proceso-instrumentación y proceder al diseño de los sistemas de control de procesos con técnicas cuantitativas.

A partir de este momento, la evolución continúa con ritmo creciente, incorporando, no sólo los estudios teóricos de la teoría de control, la optimización y la dinámica de los procesos, sino también los avances en equipos: sensores, controladores, electrónica, computadoras y microprocesadores, según van apareciendo.

Al principio, los controladores fuerón neumáticos para verse, poco a poco, desplazados por los electrónicos, aunque cada proceso seguía disponiendo de su propio controlador. A la vez que se desarrolla la electrónica, aparecen los primeros computadores empleados para el control de procesos. Ello favorece la tendencia, aparecida hacia mediados de la década de los 50, de concentrar todos los controladores o reguladores en un sólo lugar, con lo que se tiene el control centralizado, de forma que un operario puede vigilar el funcionaamiento de diferentes magnitudes de un proceso o de varios procesos inter dependientes de una fábrica. Cuando se emplea un computador, éste puede desempeñar el

papel de varios controladores, para vigilar simplemente el funcionamiento de éstos, o incluso a fijarles las referencias. La llegada del computador hace que los controladores incluyan la posibilidad de ser gobernadas por aquél como una opción.

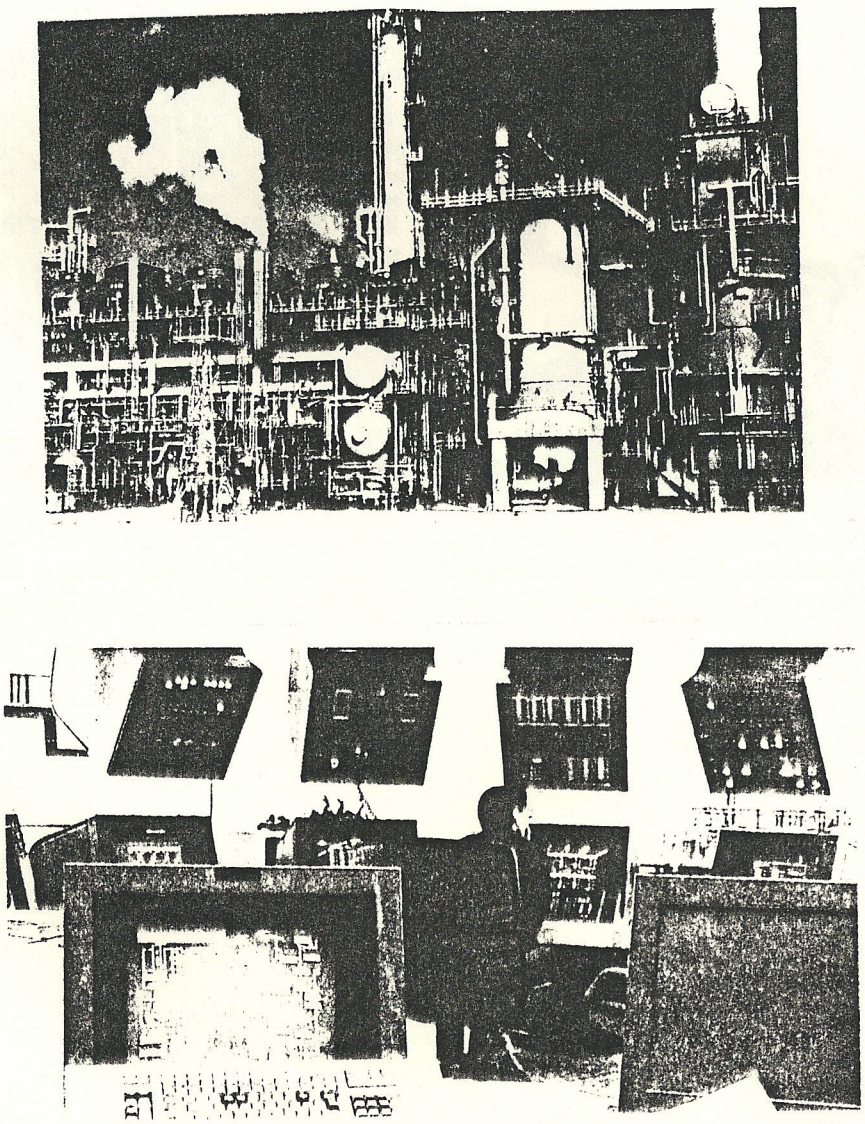


FIGURA 1.3 REFINERIA Y SALA DE CONTROL CON PUESTO PARA SUPERVISOR Y OPERADOR CON PANTALLAS E INDICADORES(Ref.1)

Finalmente, con la entrada del microprocesador y su generalización, la potencia, flexibilidad y capacidad de decisión del computador se reparten por toda la fábrica, con las consiguientes ventajas de fiabilidad y aumento de potencia. Estamos, pues, ante el control de procesos distribuído.

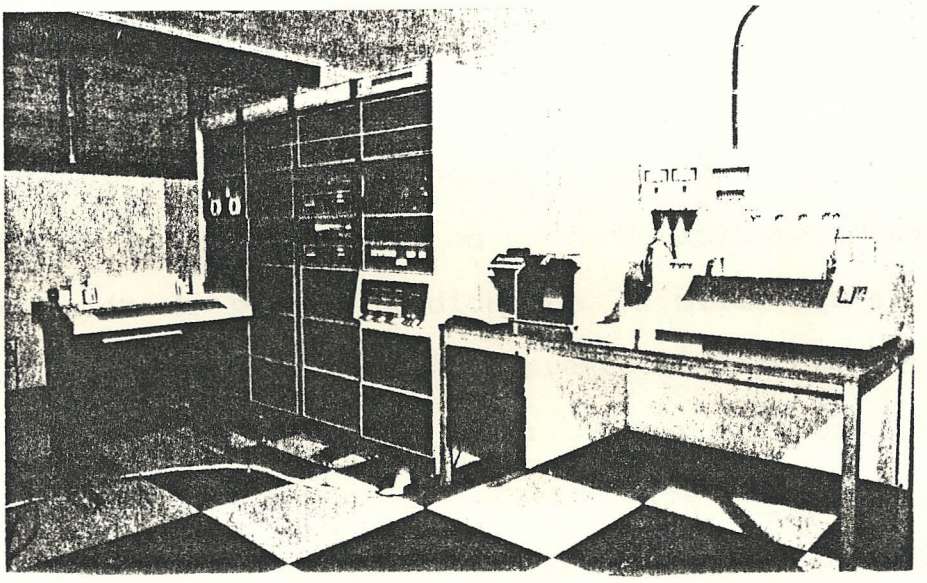


FIGURA 1.4 CENTRO DE MANIOBRAS, QUE SUPERVISA Y CONTROLA UN CONJUNTO DE ESTACIONES ENCARGADAS DE LA GENERACION, TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ELECTRICIDAD (Ref. 1).

CAPITULO II

FUNDICION EN MOLDE PERMANENTE

2.1. FUNDAMENTOS TEORICOS

En fundición con molde permanente, un molde metálico que consiste en una o más partes es usado repetidamente para la producción de piezas fundidas de la misma forma. El metal líquido entra al molde por gravedad. Los corazones simples son hechos de metal, pero los más complejos son hechos de arena o plástico. Cuando los corazones de arena o plástico son usados, el proceso es llamado una fundición en molde semipermanente.

La fundición en molde permanente es particularmente conveniente por su alto volumen de producción de pequeñas piezas de fundición simple, que tiene un espesor uniforme de pared y sin socavaciones o incrustaciones de corazones. El proceso puede también ser usado para la producción de piezas moderadamente complejas; sin embargo la cantidad de producción debería ser lo suficientemente grande para justificar el costo de los moldes.

Comparándola con la fundición en arena, la fundición en molde permanente permite la producción de piezas más uniformes, con tolerancias pequeñas, buen acabado superficial y mejores propiedades mecánicas.

La fundición en molde permanente tiene las siguientes limitaciones: a) aunque no han sido establecido tamaños máximos, el proceso es más practico para la producción de piezas pequeñas; b) no es conveniente para todas las aleaciones; c) el proceso se vuelve demasiado caro si hay baja producción; y d) algunas piezas no pueden ser hechas por el proceso por la localización de la línea de separación o dificultad para remover la fundición del molde.

METALES CONVENIENTES PARA FUNDICION

Los metales que pueden ser fundidos en moldes permanentes incluyen el Aluminio, Magnesio, Zinc, aleaciones de cobre e Hierro Gris hipereutectoide.

ALEACIONES DE ALUMINIO, tienen una baja densidad, la cual, combinada con la característica de que se forma una capa de óxido, hacen al flujo algo flojo.

La contracción de las aleaciones de aluminio durante la solidificación es relativamente grande, y la provisión deberá ser hecha por una amplia alimentación de metal

durante la solidificación. Después de la solidificación, las aleaciones de aluminio están a elevada temperatura, y posiblemente la fundición se distorciona durante su removimiento del molde.

ALEACIONES DE MAGNESIO, son menos fundibles que las aleaciones de aluminio, y tienen relativamente pobres propiedades de fluídes en fundición de piezas de poco espesor. Tambien estas fundiciones son más sensibles a los choques de temperaturas (fragilidad a elevada temperatura) que las aleaciones de alumino. Generosos filetes son requeridos cuando la fundición contiene grandes protuberancias o cuando una sección de la fundición es más larga que la otra. Los detalles punteagudos de fundición no pueden ser obtenidos con aleaciones de magnesio, y piezas que se contraen dentro de la sección del molde porque son suceptibles a agrietarse.

ALEACIONES DE COBRE, se solidifica a altas temperaturas, y algunas tienen un estrecho rango de solidificación. Estas se contraen dentro de los corazones y otros elementos del molde, y deben ser ejectadas del molde lo más pronto posible.

ALEACIONES DE ZINC, pueden ser fundidas en moldes permanentes, pero cuando las fundiciones son hechas en grandes cantidades, éstas son frecuentemente fundiciones muertas.

HIERRO FUNDIDO, es usada exitosamente en grandes volumenes de producción de pequeñas (1oz a 30 lb) y simples fundiciones. Sin embargo, las fundiciones de hierro fundido más complejas, con corazones internos y cambios de sección marcados, tienen también buenos resultados en moldes permanentes.

EYECCION DE LA FUNDICION

Sólo las más simples fundiciones en moldes permanentes pueden ser eyectados del molde sin ayuda mecánica. La mayoría de las fundiciones son eyectadas por pines bien distribuidos de eyección, o son confinados en un molde durante la abertura de el molde y entonces es eyectado por la retirada de los retenedores de corazones.

SOLIDIFICACION PROGRESIVA

Las aleaciones serían fundidas de manera que la solidificación toma lugar progresivamente hacia el lugar más alto, el cual generalmente es un lado de la fundición. Para llevar a cabo este modelo de solidificación, los lados más finos de la fundición estaría fuera de lo sistemas de introducción, y las secciones más gruesas estarían abyacentes a ésta.
Las secciones de nervadura y de agujero en paredes

finas, son llenadas más facilmente cuando están verticales, pero llenar moldes con cavidades verticales produce turbulencias en el metal derretido, resultando una excesiva porosidad; consecuentemente, el molde debería ser movido cuando está siendo llenado.

Es práctica común que el contorno trasero del molde esté conformado rugozamente con la cavidad. Esto permite una distribución más uniforme de la temperatura y del calor. Para fundiciones con secciones gruesas, las secciones abyacentes al molde son generalmente más gruesas. Para fundiciones de aluminio, un rango de 3 o 4 veces el espesor de la pared de la fundición se usa frecuentemente para los espesores de pared de molde, pero una pared de molde fina no siempre puede ser usado en la fundición de piezas con pared delgada sin comprometer la estabilidad del molde. Las nervaduras son frecuentemente usadas para robustecer la estrucctura del molde, pero su uso excesivo puede causar distorsión por el incremento de temperatura diferencial entre las superficies interior y exterior del molde.

TEMPERATURA DEL MOLDE

Si la temperatura del molde es muy alta, las fundiciones son bastante debiles para ser extraídas sin daño, y las

propiedades mecánicas y los acabados de la fundición son perjudicados. Cuando la temperatura del molde es bastante baja, es muy probable que queden partes sin llenar y porosidades, además la alimentación es inhibida, el resultado, generalmente son contracciones, ragaduras calientes y adhesión de la fundición a el molde y corazones.

Algunas de las variables que determinan la temperatura del molde son:

TEMPERATURA DE VERTIDO. Mientras más alta es la temperatura de vertido, más alta es la temperatura del molde.

FRECUENCIA DEL CICLO. Mientras más rápida es la operación del ciclo, más se calienta el molde.

MASA DE LA FUDICION. La temperatura del molde se incrementa si la masa de la fundición se incrementa.

FORMA DE LA FUNDICION. Secciones gruesas aisladas, corazones con cavidades, y esquinas punteagudas no sólo incrementan la temperatura del molde, sino también eleva el indeseable gradiente de temperatura.

ESPESOR DE LA FUNDICION. Conforme aumenta el espesor de la fundición, también se incrementa la temperatura del molde (vea datos de aleaciones de

aluminio en la figura 2.1).

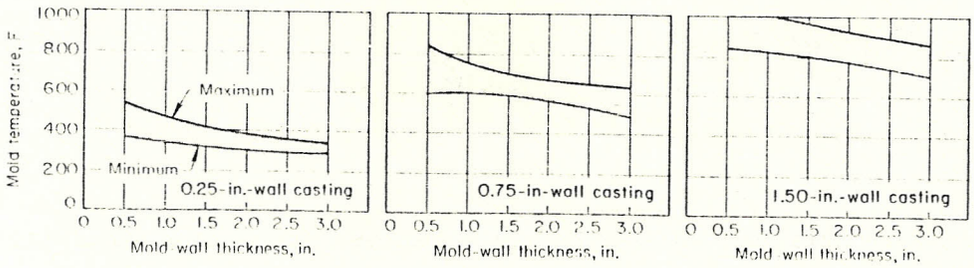


FIGURA 2.1 Efecto del espesor del molde y fundición en la temp. max. y min. de una aleación de aluminio(Ref. 1)

ESPESOR DEL MOLDE. A medida que el espesor de la pared del molde se incrementa, la temperatura del molde disminuye (ver figura 2.1).

ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DEL MOLDE. A medida que el espesor del recubrimiento se incrementa, la temperatura del molde disminuye.

Después de que el procedimiento del proceso ha sido establecido para una operación de fundición dada, el recubrimiento del molde y la frecuencia del ciclo son los mejores efectos sobre la temperatura del molde. El recubrimiento del molde es dificil de mantener a un óptimo espesor, principalmente por la dificultad de medir su espesor durante el proceso. El método más ampliamente usado para el control del espesor del recubrimiento es inspecciones periódicas de la

fundición. Cuando los recubrimientos tienen espesor inapropiados se refleja en el objecionable acabado superficial y en las pérdidas de presición de las dimensiones.

PRECALENTAMIENTO DEL MOLDE. En muchas operaciones de fundición, los moldes son precalentados hasta su temperatura de operación antes que comience su operación. Esta practica minimiza el número de fundiciones inaceptables producidas durante la estabilización de la temperatura de operación.

Los moldes pueden ser precalentados por la exposición directa de llama, aunque este método es perjudicial para el molde por la severa y no uniforme distribución de calor. Precalentar el molde en un horno es preferible, porque los gradientes térmicos son de menor magnitud. La temperatura del molde final de operación es obtenida después de unos pocos ciclos.

CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL MOLDE

La temperatura óptima del molde es la temperatura que producirá una fundición sólida en el menor tiempo. Para un tiempo de ciclo establecido, el control de temperatura es llevado a cabo en gran parte por el uso

auxiliar de un enfriador o un calentador y por el control del espesor del recubrimiento.

ENFRIAMIENTO AUXILIAR es frecuentemente llevado a cabo por aire o agua que pasa por secciones del molde abyacentes a la parte masisa de la fundición. El agua es más efectiva, pero las inscrustaciones aparecerán pronto en las areas donde es más necesario extraer el calor, teniendo necesariamente que hacer ajustamientos del flujo de agua. Eventualmente, el flujo de agua debe ser restringido para que los depósitos de inscrustaciones puedan ser removidos. El problema de la formación de inscrustaciones puede ser solucionado en ciertas plantas con el uso de sistemas de recirculación con agua desmineralizada u otro fluido semejante como glicol etileno. Sin embargo, tal práctica no es frecuentemenmte usada, por su elevado costo.

El flujo de agua es regulado manualmente para cada sección del molde con ayuda del medidor de flujo. Una valvula principal de cierre es usada para parar el flujo de agua cuando el proceso de fundición es interrumpido. Ajustando la rápidez de flujo de agua para controlar la solidificación de una sección solida, permite una variación del espesor del molde que puede ser diseñada dentro de una fundición simple. En adición

al control de flujo de agua, la temperatura de la entrada de agua (o algún otro enfriador que tambien puede ser usado) afecta la eficiencia del sistema de enfriamiento.

Si agua u otro liquido enfriante es usado, nunca debe permitirse que éste entre en contacto con el metal que está siendo vertido o una explosión de vapor ocurrirá. Está explosión es más grande mientras más grande es la temperatura del metal. Igualmente, el agua reacciona químicamente con el magnesio derretido.

REBESTIMIENTO DEL MOLDE. Un recubrimiento de molde de espesor controlado pueden igualar los rangos de solidificación entre secciones finas y anchas. Enfriadores y calentadores pueden ser usadas además para ajustar los rangos de solidificación, de manera que el enfriamiento se produce rápidamente a través de secciones finas y dentro de secciones gruesas y finalmente dentro del sistema de alimentación.

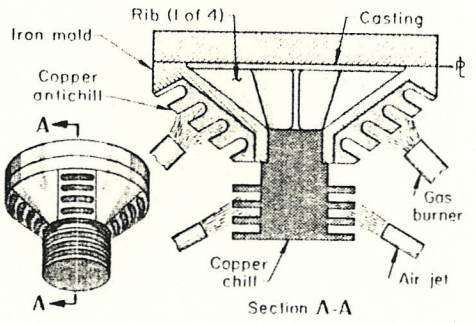


FIGURA 2.2 Uso de enfriadores y calentadores (Ref. 1).

ENFRIADORES son usados para acelerar la solidificación en una parte del molde. Esto puede ser hecho mediante el enfriamiento directo por aire junto a aletas insertadas en el molde, tal como muestra la figura 2.2, o, más simplemente usando un metal insertado sin enfriamiento auxiliar. Alternativamente, el enfriamiento puede ser llevado a cabo removiendo algo o todo el revestimiento del molde en un área específica para incrementar la conductibidad térmica. El enfriamiento puede ser usado para incrementar la producción, mejorar la apariencia del metal, e incrementar las propiedades mecánicas.

CALENTADORES. La función de los calentadores es la de disminuir la rapidez de enfriamiento de un área específica. Las pérdidas de calor en una parte de un molde permanente, pueden ser reducidas por un equipo de calentamiento externo, semejante a un quemador de gas, que en frente tiene unas aletas insertadas en el molde (ver figura 2.2). El mismo efecto podría obtenerse con el uso de revestimiento de molde aislante.

FUNDIENDO Y VERTIENDO

Los metales son fundidos en varios tipos de hornos, y transportados y vertidos por varias técnicas. El vertido es usualmente hecho con un control manual de cucharón o

cucharón de mano.

Para todos los metales, las prácticas de fundido y vertido pueden originar fundiciones defectuosas. En una planta, las aleaciones de aluminio, cuando son sujetas a una inspección con un penetrante fluorecente, muestran porosidad en las secciones sobresalientes. Un cucharón del tipo con pico ha sido usado para verter, puede ser ésta la causa para la formación de porosidades. Cambiando al método de vertido; con un cucharón de vertido por la parte inferior, se puede eliminar ésto. En la misma planta, durante la mecanización de otras fundiciones de aleaciones de aluminio, fuerón encontrados acabados superficiales rugosos y demasiadas embotaduras de herramienta de corte. Los Rayos X y los análisis espectográficos mostraron que inclusiones de óxido fueron la causa de esta dificultad. El oxido fué indicio de una gradual desintegración del interior del horno de fundición. El cambio de la parte interior del horno, eliminó las inclusiones de éstas fundiciones.

TEMPERATURA DE VERTIDO

Generalmente, las fundiciones en molde permanente son vertidas con un metal que es mantenido dentro de un rango relativamente estrecho de temperatura. Este rango

es básicamente establecido por la composición del metal a ser vertido, aunque el tamaño y peso de la fundición, práctica de enfriamiento del molde, rebestimiento del molde, y sistema de entrada también son considerados en el establecimiento de la temperatura optima de vertido para una fundición específica.

TEMPERATURA BAJA DE VERTIDO. Si la temperatura de vertido es más baja que la óptima, la cavidad del molde no se llenará, las inserciones (si las hay) no serán garantizadas, la entrada o desahogo se solidificará antes que la parte final de la fundición, y las secciones finas se solidificarán rápidamente, interrumpiendo la solidificación direccional. La baja temperatura de vertido da como resultado partes sin llenar, porosidad, detalles pobresde fundición y partes templadas. Algunas veces es suficiente sólo un pequeño incremento en la temperatura de vertido para prevenir las partes templadas.

Un pequeño incremento en la temperatura de vertido, en convinación con una mejor ventilación del molde, pueden prevenir las partes templadas.

ALTA TEMPERATURA DE VERTIDO causa la contracción de la fundición y la deformación del molde. La deformación del

molde produce la pérdida de presición en las dimensiones. Puede desarrollarse variación en la composición de los metales, si el metal del cual está compuesto tiene componentes que se tornan volatiles a elevadas temperaturas de vertido. La temperatura alta de vertido, tambien incrementa el tiempo de solidificación (asi reduce la velocidad de producción) y casi siempre produce la menor vida de moldes.

MEDICION DE TEMPERATURA. Las temperaturas del aluminio fundido y aleaciones de magnesio usualmente son medidas con termopares de inmersión conectadas a un conveniente pirómetro. La temperatura de las aleaciones de cobre fundido y hierro fundido, generalmente son medidos con pirómetros opticos o de radiación.

Cuando usamos termocuplas de inmersión, el tubo protector está hecho de un material que no reacciona con el metal fundido. Los tubos protectores hechos de carburo de silicón no reaccionarán con los metales fundidos. Son resistentes al choque térmico y tienen buena conductibidad. Sin embargo, el carburo de silicón tiene poca resistencia al impacto. Los tubos protectores de acero de bajo carbono o hierro fundido tienen buenas propiedades térmicas y mecánicas. El niquel se puede usar directamente sin ningún recubrimiento en magnesio

fundido. Sin embargo, si no tiene recubrimiento en aluminio fundido sería severamente atacado, resultando así una contaminación del metal. Si estos tubos protectores son usados en aluminio estarían recubiertos después de unas 12 horas de operación. Un aceptable recubrimiento es hecho de arcilla, talco o mica aglomerado con silicato de sodio.

REMOVIMIENTO DE LA FUNDICION

Después que la fundición ha sido solidificada, el molde es abierto y la fundición es removida. Para facilitar la la separación de la fundición del molde, un lubricante es frecuentemente añadido al recubrimiento del molde. El uso de éste hace el trabajo de separación más facil. Para algunas fundiciones se usan pines de eyección y barras de jalar.

Pines para corazones serían diseñados de modo que no interfieran con el removimiento de la fundición.

2.2. MAQUINAS DE FUNDICION

MAQUINAS MANUALES

Las máquinas de fundición en molde permanente

manualmente operadas, generalmente consisten en un simple molde colocado en forma de "libro", tal como muestra la figura 2.3;

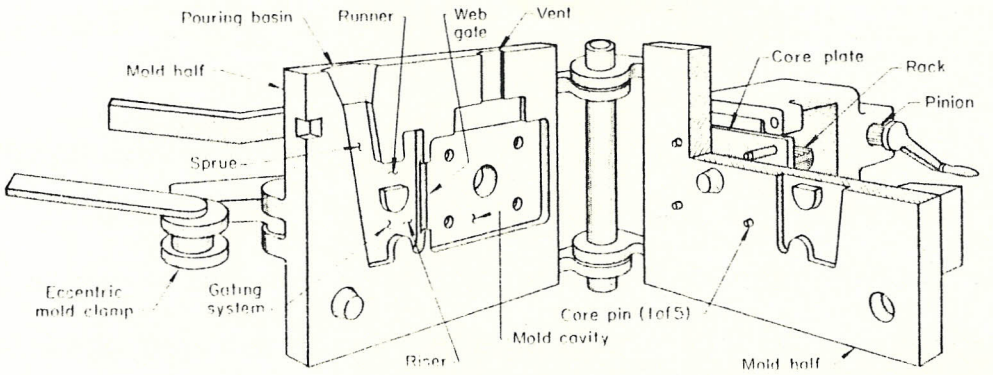


FIGURA 2.3 Máquina manual tipo libro (Ref. 1).

La máquina de la figura 2.4 puede ser usada para la fundición con altos bordes o paredes que requieren la retracción del molde sin rotación.

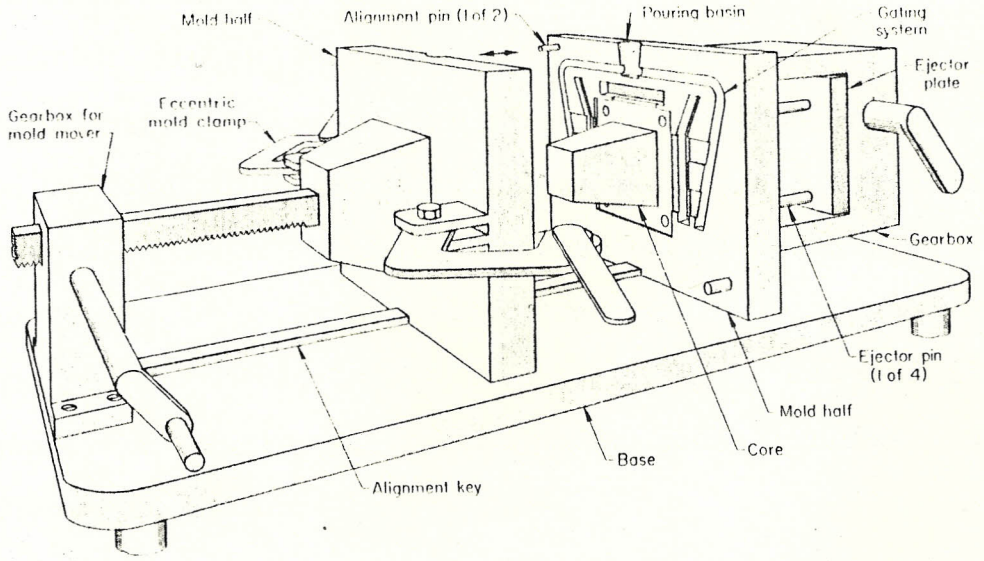


FIGURA 2.4 Máquina manual con retracción lineal (Ref. 1)

Con cualquiera de estos tipos de máquinas, después de que la fundición se ha solidificado, los medios moldes son separados manualmente aflojando las mordasas exéntricas.

MAQUINAS AUTOMATICAS

Para altos volumenes de producción, el manejo manual es remplazado por dos tipos de mecanismos hidráulico. Estos son programados para abrir y cerrar en un ciclo. Así, exceptuando el llenado del molde y removido de la fundición, la operación es totalmente automática.
Un metodo de fundición en molde permanente ha sido desarrollado en el cual el metal no es vertido por la mano. Este es llamado proceso Wessel, que está mostrado en la figura 2.5. En este metodo, el molde permanente es montado en rieles junto a la cara final de un horno reverbero giratorio. Como el horno es oscilado en un eje cerca del centro de gravedad, el metal fluye a través de un orificio en la pared del horno dentro del molde. El horno permanece en esta posición durante un intervalo de tiempo predeterminado, entonces retorna a su posición original. La oscilación del horno es hecha gracias a un cilindro hidráulico.

Los moldes son separados verticalmente, paralelos a la

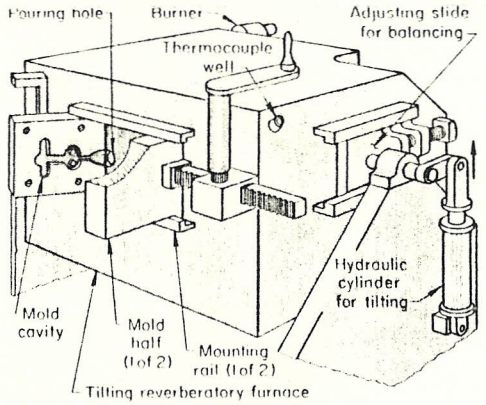


FIGURA 2.5 Máquina de WESSEL (Ref. 1).

dirección del flujo de metal. Un medio molde se desliza sobre las rieles; el otro, es abatido fuera de las rieles, jalando la fundición y bebedero del molde saliendo así del agujero vertedero para el próximo ciclo.

La manipulación de corazones y ejección de la fundición es similar a la práctica convencional. El metal es alimentado dentro de la camara del horno a través de una puerta de carga en la parte posterior (no mostrada en la figura 2.5).

El proceso Wessel es el más conveniente por su capacidad de producir tamaños pequeños y medianos de fundición. Las desventajas del proceso Wessel son: dificultades

mecánicas en el soporte y prensado de moldes grandes, y reducida flexibilidad en la entrada del metal fundido.

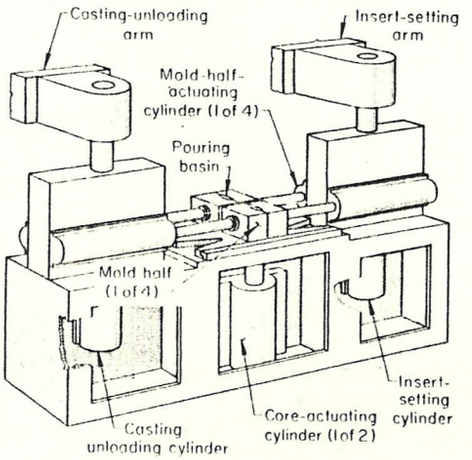


FIGURA 2.6 Máquina automática (Ref. 1).

La máquina de fundición mostrada en la figura 2.6 es equipada con un molde, corazón, y encaje-montaje de los componentes automáticos; la única operación manual es el llenado del molde y posicionamiento de los moldes en su lugar de montaje. Para fundiciones simples, este tipo de máquina puede ser totalmente automática.

MAQUINAS PARA SEPARACION HORIZONTAL

La separación del molde en las máquinas de fundición mostradas en las figuras 2.3 a 2.6 es en el plano vertical, la cual es la posición preferida para separar el molde y sacar la fundición.

Algunas fundiciones, sin embargo, son mejor llenadas con la separación en un plano horizontal. La mayoría de las máquinas de fundición con separación horizontal son provistas con un mecanismo giratorio, así el llenado es hecho con la separación en el plano horizontal y entonces la posición del molde es cambiada para permitir remover la fundición con la separación en el plano vertical.

Algunas fundiciones son llenadas separamente en el plano horizontal y entonces son suavemente rotadas cuando el llenado es terminado. Por ejemplo, en la fundición de bastidores para la duplicación de máquinas, el llenando con la separación en el plano vertical requiere un largo derramamiento de metal derretido, lo cual da como resultado salpicaduras y severas turbulencias que producen una inaceptable fundición. Para eliminar ésto, es utilizado un molde giratorio de manera que el metal es introducido dentro del molde con la separación horizontal. El cuerpo principal de la fundición fué derramado con el molde en esta posición. El segmento más bajo de la fundición fué entonces gentilmente rotada 90° al lugar de separación en el plano vertical. En esta posición la fundición se solidifica y entonces es removida del molde.

MAQUINAS GIRATORIAS

Fundiciones pequeñas y ligeras pueden ser vertidas y removidas manualmente con facilidad, pero con temperaturas y pesos de fundiciones más elevados el manejo manual se hace más dificultoso. El proceso de fundición debe entonces ser automatizado. Para ésto generalmente se usa maquinas giratorias.

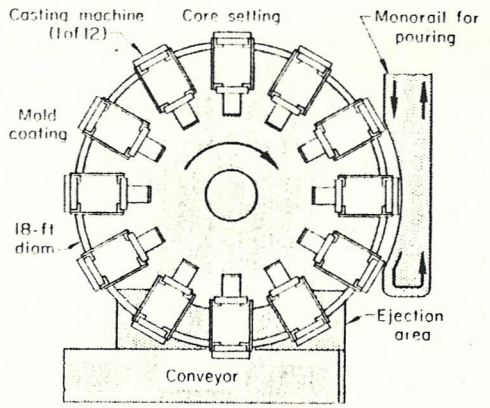


FIGURA 2.7 Máquina giratoria automática (Ref. 1).

Una giratoria comunmente usada acomoda 12 etapas, como muestra la figura 2.7, y completa una revolución en 2 a 7 min. Los pasos en el proceso de fundición, los cuales incluyen llenado, preparado de molde, colocación de corazones, solidificación y ejección, son completados progresivamente a medida que la máquina de fundición pasa a través de ciertas estaciones de trabajo. La mayoria de las máquinas de este tipo rotan continuamente sin interrupción.

Con este tipo de equipo, la maxima producción es llevada a cabo cuando las 12 etapas de la máquina tienen idénticos moldes. Sin embargo, se pueden usar diferentes moldes en todas las etapas.

MAQUINAS DE FUNDICION CENTRIFUGA

La máquina mostrada en la figura 2.8, usada para la fundición de tuberias de hierro fundido, consiste esencialmente de un molde cilíndrico metálico montado en ruedas de modo que ésta puede ser rotada en una camisa de agua estacionaria.

La camisa de agua es montada sobre ruedas de manera que la entrada ensamblada puede ser movida en la dirección de el eje longitudinal del molde en una bancada que está ligeramente inclinada de la horizontal. El metal fundido es alimentado dentro del molde a través de un alimentador que es similarmente inclinado. El alimentador tiene un pico que es curvado hacia la pared del molde (detalle A en figura 2.8). El metal fundido es suplido al alimentador por un pequeño cucharón que mantiene suficiente metal para hacer una tubería. En la fundición, el cucharón es girado por un mecanismo eléctrico para mantener un flujo constante. Un corazón de arena y una placa son insertadas dentro del final de

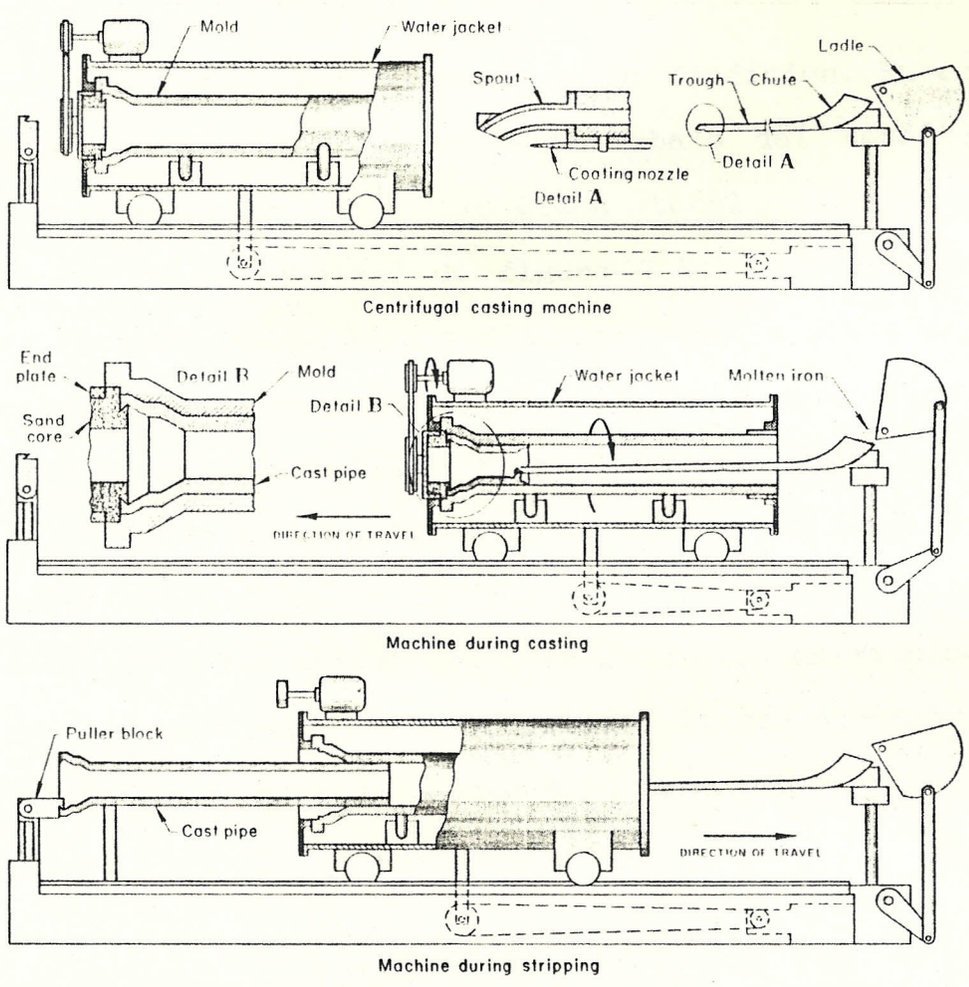


FIGURA 2.8 Máquina para fundición centrifuga (Ref. 1).

la campana del molde para formar el contorno interno de la campana de la tubería (detalle B en figura 2.8).

El revestimiento del molde es aplicado a medida que avanza el chorro de hierro fundido del cual la tubería es fundida, por un inyector de revestimiento posicionado de tal manera que no interfiere con la operación de fundición de la máquina (note detalle A en figura 2.8).

Cuando el molde está en el extremo superior al final de

la bancada, éste está listo para la fundición. En esta etapa el alimentador se extiende debajo del tonel del molde cercanamente a su longitud total. Durante la fundición (vista central de figura 2.8), la camisa del molde rotativa viaja longitudinalmente hacia abajo de la bancada, momentanéamente el chorro de hierro fundido descargado del alimentador fluye tangencialmente dentro de la superficie del molde, donde éste es mantenido en su lugar por la fuerza centrífuga hasta solidificarse. Entonces el molde es parado, y la fundición es expulsada fuera por medio de el bloque jalador (vista superior en figura 2.8). El proceso entonces es repetido.

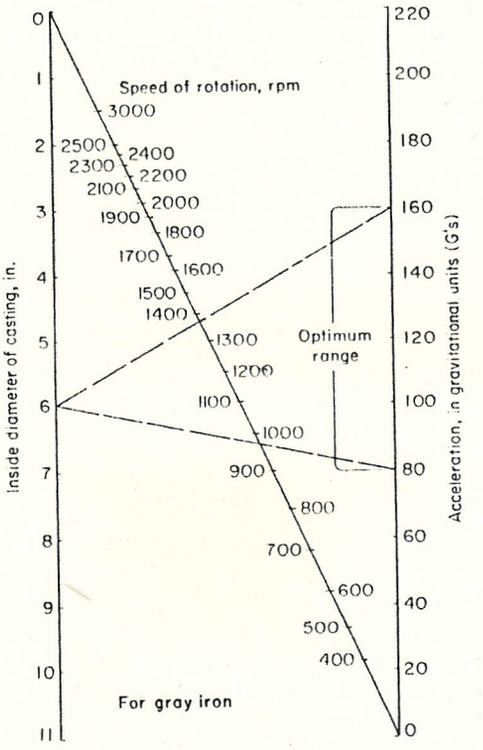


FIGURA 2.8 Nomograma para determinar la aceleración en la fundición centrifuga de hierro (Ref. 1).

La aceleración obtenida en la fundición centrifuga de tuberías depende del diámetro de la fundición y la velocidad de rotación del molde, y puede ser determinada por el uso del monograma de la figura 2.9. La fundición centrifuga de hierro gris debería ser rotada a una velocidad que produzca 80 a 160 gravedades. Rotando a velocidades que produzcan aceleraciones menores a 80 gravedades pueden generar turbulencias durante la fundición; excesiva velocidad de rotación acortan la vida del molde.

N O T A S :

(1) American Society for Metals (1970) p. 165-284

(2) International Lead and Zinc Research Organization (1986) p. 7-46

CAPITULO III

CONTROL DE PROCESOS POR COMPUTADORA

3.1. FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE PROCESOS

Dentro de la industria, hay dos tipos muy distintos de automatización, que tienen problemas diversos y es por ésto que su evolución ha sido en forma separada. Por un lado, tenemos la industria con procesos continuos que se conocen como procesos de producción o procesos; por otro lado, están los de tipo discontinuo, en los que se trabaja sobre piezas discretas, independientes entre sí, que luego se unen para obtener equipos o sistemas, conocido este proceso como proceso de fabricación o industria de fabricación.

En los procesos de producción, las materias que se emplean son casi siempre gases o líquidos, y cuando no es así, no se opera sobre unidades individuales, sino sobre un flujo continuo de producto. Esta es la diferencia esencial con los procesos de fabricación que trabajan sobre cada pieza o unidad con un tratamiento individual y a ella se debe que la automatización de

ambos tipos, haya tomado hasta hoy rumbos distintos. Solamente con la llegada de los robots y de lo que se conoce como automatización flexible, ha sido posible dar un salto en la automatización de una tarea concreta con una máquina particular para una pieza determinada, dentro del conjunto de las operaciones de una instalación para una gama de piezas relativamente amplia. Todo ésto se basa en el servocontrol de posición para controlar movimientos.

CARACTERISTICA	PROCESO PRODUCCION	PROCESO FABRICACION
Entradas por sensores	Principal informaci ón valor variables	Principal informa- ción el tiempo
Entradas de origen humano	Secundaria informa- ción consignas	Principal informaci ón diseños, ordenes
Base de datos	Escasa	Muy grande
Técnica de control	Realimentación y prealimentación	Manipulación,actuaci ón y gran sumi. inf.
Equipo de control	Reguladores	Controles lógicos programables
Interfaces de salida	Estaciones de con- signa, válvulas	Plotters, Máquinas Herr,Robots,Equipos
Impacto socio- económico	Modesto	Muy grande
Epoca de desarrollo	1960-1975	1975-1991

FIGURA 3.1 Principales diferencias entre la automatización de los procesos de producción y los de fabricación.

En la figura 3.1 se muestra un cuadro con las diferencias más importantes en una serie de características, entre la automatización de los procesos de producción y la de los de fabricación.

Ahora, desde el punto de vista del control se pueden considerar dos tipos muy diferentes de actuaciones, ya reflejados de alguna manera en la figura 3.1. Un tipo es la regulación, que trata el valor que han de tomar las variables del proceso haciendo que su evolución siga un determinado comportamiento, o manteniendo un valor deseado.

ATRIBUTO	REGULACION	SECUENCIADO
Parámetros a controlar	Valor de las variables	Lógica de variables Combinación, secuenciado y temporalización
Valores	Continuos	Binarios, discretos
Equipo	Regulador	Controlador lógico programable
Modelado	Ecuaciones físicas Dinámica del sistema Función de transfer. Graficos de Bond	Redes de Petri Grafcet Máquinas estado finito
Cálculo	Ajuste de parámetros del regulador Determinación de la extructura regulador	Cálculo combinacional y secuencial

FIGURA 3.2 Diferencias entre los dos tipos de actuaciones de control.

El otro tipo, se fija en la generación de señales, que normalmente son del tipo binario para el mando de las etapas o acciones del proceso, en función de la combinación, temporalizado y/o secuenciado, de otras acciones de éste. En la figura 3.2 puede verse las diferencias entre ambos tipos de actuaciones.

CONTROL REGULADOR

La regulación es el núcleo, el alma de la teoría del control automático, que es, la teoría matemática en que se apoya la automatización.

Sus principios y resultados se aplican continuamente en la industria y en la vida diaria para conseguir que el funcionamiento de máquinas, equipos y dispositivos, se realice según lo establecido.

LA REALIMENTACION.

El control aparece cuando queremos que una propiedad o variable, que caracteriza a una operación o un proceso, tome un determinado valor o conjunto de valores, y éstos dependen de los que, a su vez, tome otra propiedad o variable, al existir entre ambas variables una determinada relación de dependencia que representamos por un modelo. Variando una de ellas, podremos controlar

los valores de la otra y precisarlos. En la figura 3.3 se presenta esta situación.

Cuando se conoce la relación entrada/salida y ésta no varía, es suficiente con que la entrada tome los valores correspondientes, lo cual se consigue directamente o mediante el controlador apropiado. Estamos ante la forma de control que se conoce como de ciclo abierto.

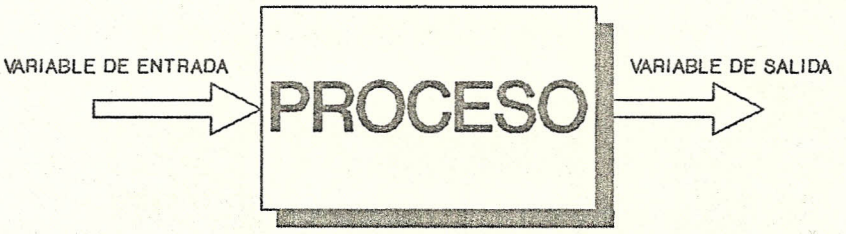


FIGURA 3.3 Control de ciclo abierto.

Normalmente, el comportamiento del proceso se representa mediante una expresión matemática que se conoce como un modelo, que no es una representación exacta, sino simplificada del comportamiento real, válida siempre que

el proceso funcione a determinadas condiciones, que no tenga en cuenta otros factores que afecten al comportamiento del proceso, y que se habían considerado invariables al prepararlo. Estos factores suelen recibir el nombre de perturbaciones, en general, pero el que representa el trabajo a realizar por la operación o proceso y que puede sufrir variaciones (el volumen de líquido contenido en un tanque de calentamiento, por ejemplo), se denomina carga del proceso. Todo ello puede hacer que el valor real de salida no sea el deseado. En la figura 3.4 se representa un esquema de bloques de un proceso con estos factores.

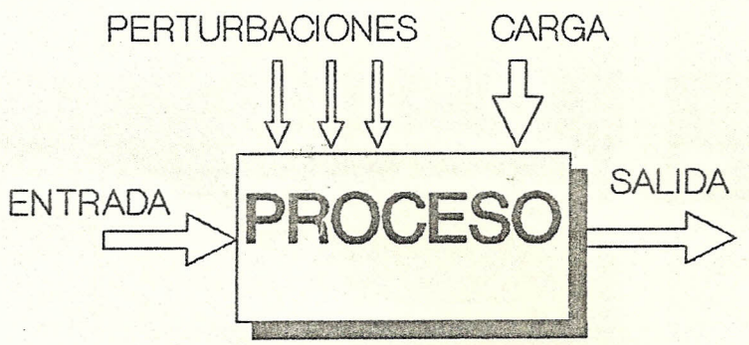


FIGURA 3.4 Factores que alterán el proceso.

La forma de conseguir que la salida no sea afectada, o lo sea en menor grado, por las perturbaciones, las variaciones de la carga o las inexactitudes o simplificaciones en el modelo y, a la vez, corregir las desviaciones que se produzcan, es utilizar esa misma salida para generar las órdenes o valores de entrada, de forma que, no sólo se alcance dicho valor deseado, sino que, además, corrija las desviaciones que puedan presentarse. Tenemos así un control de ciclo cerrado. Sus elementos aparecen en la figura 3.5. La salida del proceso se mide mediante el dispositivo adecuado y su valor se compara con el deseado, denominado referencia.

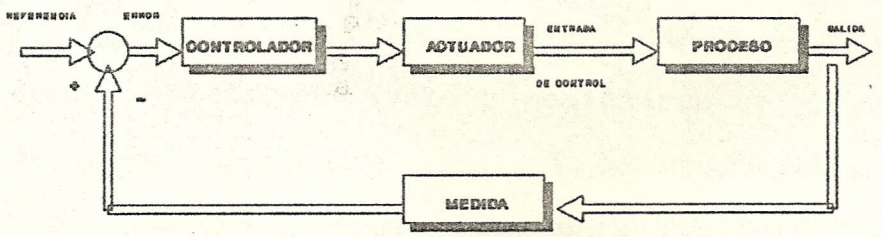


FIGURA 3.5 Control de ciclo cerrado.

La diferencia entre ambos valores es el error existente, que, a su vez, sirve de señal de entrada a un dispositivo que calcula el valor que debe tener la entrada o control para cada error. Este dispositivo recibe el nombre de controlador. La señal que genera se manda al actuador, que es el encargado de que dicha entrada se produzca.

Con esta estructura, el sistema total se autocorrige de las posibles desviaciones, mediante la introducción de un retorno y un dispositivo controlador.

ELEMENTOS DEL CICLO DE CONTROL

Vamos a considerar brevemente los elementos que forman parte del ciclo de control, indicando su participación en el control y sus particularidades:

MEDIDA

Para que el control sea automático, la medida también tiene que serlo y realizarse en un período de tiempo lo suficientemente corto respecto a la evolución del proceso, como para que frente a éste pueda considerarse como continuo. Es preciso, entonces, disponer de dispositivos sensores de la variable a medir y elaborar la información que nos dan, de manera que tengan una buena medida.

Con la expansión actual de la automatización, el desarrollo de sensores adaptados a las necesidades del control con computador se ha convertido en uno de los objetivos primordiales en todas las naciones. La señal dada por el sensor debe ser amplificada y filtrada, hay que hacer correcciones del tipo compensación de temperatura y linealización, y cuando se requiere, también se la somete a multiplexado y conversión A/D (Analogico/Digital). Al elegir los sensores deben tenerse en cuenta sus características; siendo las más importantes: presición, zona muerta, reproductibilidad, tiempo de respuesta, histéresis, rango, sensibilidad, no linealidad, deriva y materiales.

REFERENCIA

La referencia establece el valor que, en cada instante, debe tener la salida del proceso. Para el control automático, el lazo de control tendrá dos comportamientos distintos. Si la referencia se mantiene fija, el control sólo tiene en cuenta las perturbaciones y actúa para corregir las variaciones que producen en la salida: es el problema del regulador. Si la referencia va variando su valor, el control debe hacer que la

salida siga esos cambios y, normalmente, no tiene en cuenta otros, debidos, por ejemplo, a las perturbaciones: es el problema del servomecanismo.

ACTUACION

La señal producida por el elemento de desición, el controlador, debe gobernar un elemento de actuación al que lleva a un estado de funcionamiento. El actuador es el encargado de que la variable de entrada o control tome el valor correspondiente. Los actuadores más empleados son válvulas y motores.

CONTROLADORES.

El controlador representa la lógica de actuación sobre el proceso, función del comportamiento de este último, o mejor, de la desviación de su comportamiento real respecto del deseado. Tiene, por tanto, como entrada, el error existente en el comportamiento del sistema, y, como salida, la actuación que debe ejercerse sobre el proceso.

Debido a la rama de realimentación necesaria para el control automático, puede representarse el fenómeno indeseable de la inestabilidad, o puede aparecer oscilaciones en el comportamiento del proceso. Se dice

que un proceso es estable cuando para las entradas, dentro de unos límites, las salidas también se manifiestan dentro de otros límites. Si introducimos una señal finita de entrada, dentro de unos límites aceptables, y se comporta de tal forma que tiende a aumentar continuamente su salida, sin límite, el proceso es inestable.

Una forma especial de inestabilidad son las oscilaciones. Pueden amortiguarse rápida o lentamente o, incluso, con un comportamiento abiertamente inestable, crecer en amplitud indefinidamente. El controlador tiene como misión eliminar o reducir la inestabilidad de los procesos que son inestables en sí mismos. Pero el empleo de la realimentación puede hacer que un proceso que no es inestable en sí mismo, mediante la realimentación dé lugar a un sistema de comportamiento inestable (lo cual ocurre siempre que una acción correctora de error en lugar de reducirlo, lo aumenta) y debido al lazo, este fenómeno se ceba en sí mismo provocando el descontrol del proceso.

La estrategia normalmente empleada en los controladores es llevar el error a cero lo antes posible y sin oscilaciones, tanto si es debido a perturbaciones, como a variaciones en la carga o cambios en la referencia.

En la industria, los controladores más usados han sido los todo/nada (válvulas de dos posiciones, por ejemplo) y los basados en las acciones: proporcional, integral y derivadora, debido a que con ellos se conseguía un funcionamiento aceptable en la mayor parte de los procesos (una mejora sustancial respecto al control manual por operador, tanto en funcionamiento como en calidad de producto), y porque se consiguió construirlos con tecnologías existentes en cada época, aunque, hasta hace muy poco, sólo existían los de tipo analógico.

El tipo de controlador más sencillo es el controlador digital o todo/nada. Su utilización más corriente tiene lugar cuando su acción desencadena la evolución del proceso en un sentido y su inhibición lleva al proceso a evolucionar en sentido contrario.

En la práctica, el comportamiento todo/nada, tipo relé, no es puro sino que va acompañado de un histéresis, tal y como se representa en la figura 3.6. El paso a la acción no se da exactamente para el valor fijado, sino para un valor inferior al fijado. Estos umbrales hacen que se produzca una oscilación de la salida alrededor del valor de referencia, tal y como puede verse en la figura 3.6.

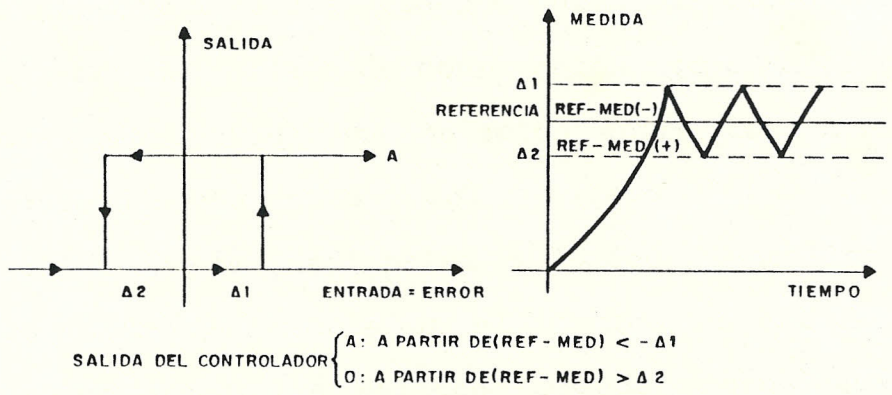


FIGURA 3.6 CONTROL TODO/NADA (Ref. 1).

CONTROL SECUENCIAL

Se ha presentado a la regulación como elemento básico del control de procesos. Sin embargo, se ha indicado que no es la única técnica que se utiliza. Hay otro tipo de problemas en los que no interesa tanto que las variables mantengan un valor frente a las alteraciones exteriores o sigan perfectamente una evolución prefijada, sino el que el conjunto de acciones posibles se ejecute de acuerdo con la secuencia dada, teniendo en cuenta, a la vez, estados internos y situaciones externas.

Las variables que aquí se consideran son todas binarias y, por lo tanto, pueden tomar dos valores, "0" o "1". Sobre este tipo de variables pueden realizarse varias operaciones de tipo lógico: NO, AND, OR, NOR, NAND, O EXCLUYENTE. A estas operaciones lógicas se las conocen

como Algebra de Boole, que fué quien las elaboró.

El Algebra de Boole o de conmutación, como también se la conoce, proporciona una relación entre las entradas y salidas independientes del tiempo. Se denominan dispositivos combinacionales o lógicos, aquellos en que no se tienen en cuenta en el tiempo, es decir, que el valor que toman las salidas depende exclusivamente de los estados de las entradas en ese momento sin influir para nada en los estados anteriores, bien sean internos o de las propias entradas.

Cuando el sistema tiene memoria o sea, cuando el estado de las salidas depende no sólo de las entradas actuales, sino también de entradas y estados internos anteriores, el sistema es de tipo secuencial. Por esta razon los sistemas secuenciales hacen intervenir el tiempo, bien como magnitud absoluta (que temporaliza el funcionamiento total), bien de forma relativa fijando sólo la duración de determinadas acciones. Debe tenerse en cuenta que los sistemas secuenciales están formados por bloques que son sistemas combinacionales.

La estructura funcional del control secuencial es muy sencilla: se extrae información del proceso mediante una serie de sensores, cuya información es utilizada por la unidad lógica de tratamiento para determinar las órdene que se suministran a los actuadores, tal como se

representa en la figura 3.7. Puesto que los actuadores suelen consumir potencias elevadas, a veces no son activados directamente por la unidad lógica, sino por medio de contactores o elementos similares.

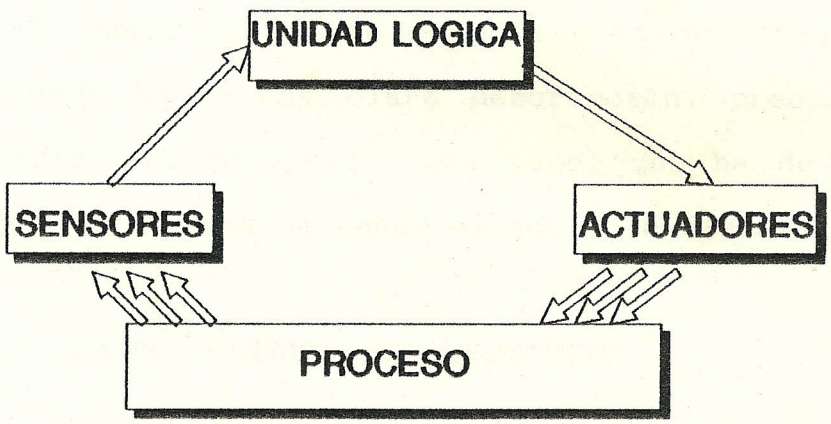


FIGURA 3.7 ESTRUCTURA BASICA DEL COMPORTAMIENTO DEL CONTROL SECUENCIAL.

CUADERNO DE CARGAS

Cuando se aborda la elaboración de cualquier máquina, proceso o sistema, es necesario fijar, lo más claramente posible, qué es lo que se quiere que realice, qué misión tiene y cómo va a ser afectado por lo que suceda en su entorno. En la realización de un automatismo lógica secuencial esto también es muy importante, con la

particularidad de que aquí la solución no es más que la ejecución paso a paso de la definición del problema. Esta definición de una de las partes fundamentales del pliego de condiciones o cuaderno de cargas, que debe confeccionarse como punto de partida de cualquier proyecto.

Desde el punto de vista técnico, en un cuaderno de cargas debe haber una clara descripción, precisa, sin ambigüedades ni omisiones, del papel que ha de jugar y prestaciones que ha de tener el equipo a diseñar.

CONTROL DIGITAL DIRECTO CON COMPUTADOR

En este tipo de control el computador se hace cargo directamente de la adquisición de datos, elaboración de las órdenes de control y de su envío a los actuadores. En este caso, el computador es el corazón del lazo de control, ejecutando los algoritmos y estrategias establecidos. Las estrategias ya no están registradas al PID (Control Proporcional-Integral-Regulador), que llevaba a cabo el controlador analógico, sino que se puede disponer de otros muchos algoritmos e incluir toma de desiciones lógicas y correcciones complejas. Hay que destacar dos tipos de componentes que aparecen en el lazo de control por la exigencia de la incorporación del

computador dentro del lazo: los convertidores y los

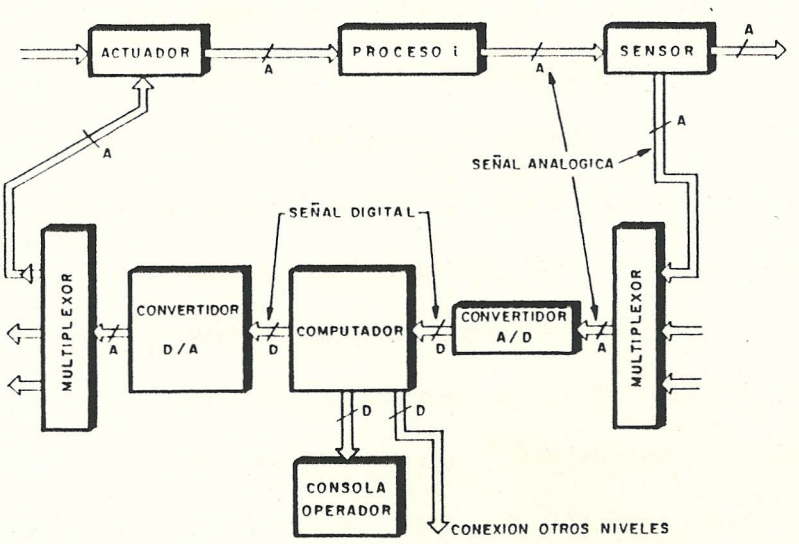


FIGURA 3.8 ESTRUCTURA DE UN CONTROL DIGITAL DIRECTO (Ref. 1).

multiplexores. Los primeros transforman las señales analógicas de los sensores en digitales para el manejo por el computador y las digitales de éste, en analógicas para el mando de motores y válvulas. Los multiplexores, de entrada y de salida, permiten al computador repartir su potencia y su tiempo entre varios lazos de control, conectando secuencialmente el computador a los diferentes lazos de control a su cargo. En la figura 3.8 puede verse esta estructura aplicada a un lazo de control.

3.2. ADQUISICION DE DATOS

Las señales suministradas por los sensores rara vez pueden ser directamente usadas por el sistema para control siendo necesario someterlas a diversas transformaciones. En primer lugar, las señales analógicas han de muestrearse y digitalizarse de manera periódica y las digitales pueden atacar el sistema de interrupciones o ser, también, muestreadas.
Posteriormente, deben someterese a un pretratamiento que comprende la adecuación de unidades, filtrado, estimación de gradientes y utilizar los valores obtenidos para estimar otros que no pueden medirse directamente. Pueden incluirse aquí la compresión de datos con vistas a su almacenamiento y la agrupación de los valores y parámetros medidos en el mismo instante, con el fin de tener reunidos todos los que definen el estado de un proceso en cada momento. El almacenamiento de los datos también está dentro de esta función.

El control de las variables del proceso involucra el tratamiento de la información obtenida por la adquisición de datos y lo hace mediante un conjunto de algoritmos, unos cooperadores y otros, mutuamente excluyentes, en cuyo caso hay que decidir cuál se va a emplear. En la base de datos correspondiente debe disponerse de datos y parámetros que necesita cada algoritmo para funcionar, que pueden estar dados de

antemano o ser obtenidos mediante otros programas a partir de medidas realizadas (caso de la identificación o estimación de parametros).

Una representación completa de la adquisición de datos y sistemas de conversión está ilustrada en la figura 3.9. Este diagrama muestra los componentes requeridos para el sistema interconectado. Los parámetros físicos a medir, son convertidos a una señal eléctrica por el transductor y luego alimentado a un amplificador. La función del amplificador es la de elevar la señal a un nivel más alto (1 a 5 volt), lo cual es necesario para procesos posteriores. La señal del transductor es del orden de los milivoltios, que es fuente de señales de alta impedancia, con ruido. En uno de estos casos, el amplificador es usado para convertir la señal en un voltaje de más alto nivel que puede ser usado para manejar el próximo circuito analógico. Luego la señal pasa por un filtro activado para eliminar las componentes de altas frecuencias o ruido de la señal.

La señal entonces va a un multiplexor analógico que conmuta secuencialmente varios canales de entrada de señal con un convertidor analógico a digital. La salida del multiplexor va al circuito de muestreo y mantenimiento el cual muestrea la salida del multiplexor

durante un tiempo específico y luego mantiene el nivel de voltaje hasta la operación de conversión analógico a digital. La temporalización y control de este sistema es completado por la secuencia del programa. La secuencia del programa, manda señales de control digitales a los actuadores para controlar el proceso.

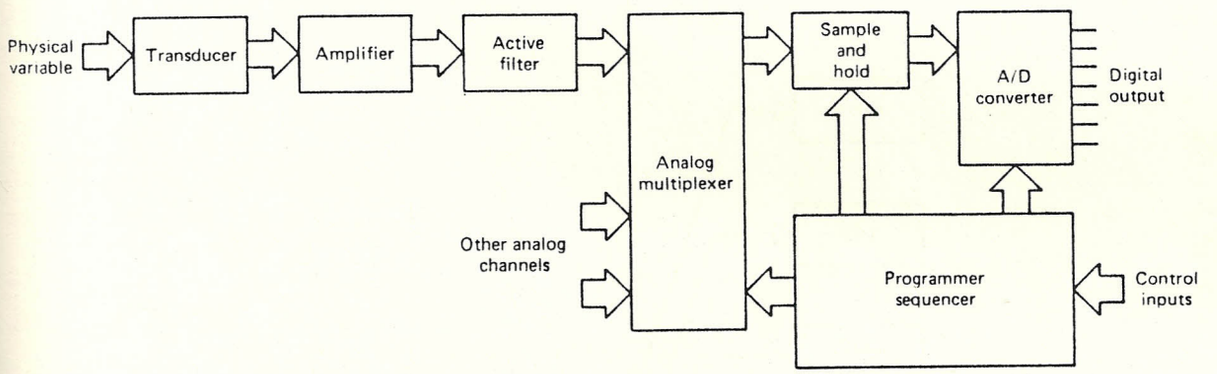


FIGURA 3.9 ADQUISICION DE DATOS Y SISTEMA DE CONVERSION (Ref. 2).

3.3. LA COMPUTADORA (IBM-PC Y COMPATIBLES)

La eléctronica de un PC está formado por una tarjeta principal y las tarjetas que entran en los puertos.

LA TARJETA PRINCIPAL

La tarjeta principal solamente es un grupo de la constitución total de la computadora, pero forma la base del sistema.

La parte izquierda de la figura 3.10 muestra la relación entre el CPU de la computadora, y sus circuitos de soporte interno y sus interfaces que hacen el esqueleto principal de la computadora. La parte derecha de la figura 3.10 muestra los periféricos externos y sensores bajo el control del CPU.

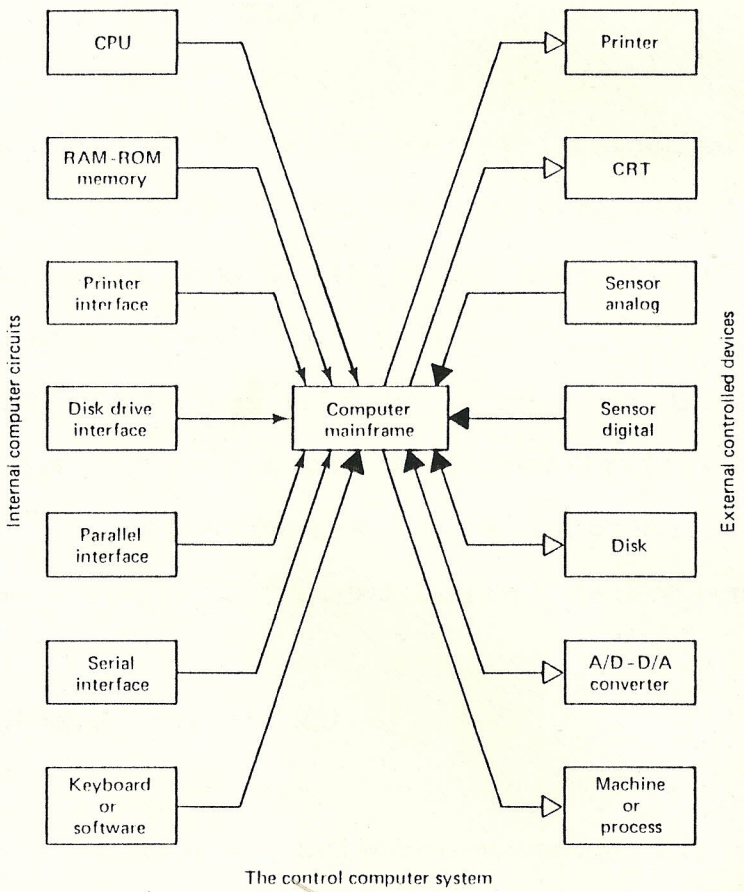


FIGURA 3.10 INTERFACES Y FUNCIONES DE CONTROL DEL CPU (Ref.2).

Los interfaces para el serial, paralelo, disquetera, y

convertidor analógico a digital y digital a analógica (A/D-D/A), están mostrados como enlaces bidireccionales externos por las flechas de entrada negras y de salida blancas. La conexión del CPU de la computadora con la memoria RAM-ROM, teclado, y todos los inerfaces para periféricos externos son con caminos bidireccionales.

EL MICROPROCESADOR (CPU)

En la parte central de la tarjeta principal esta el microprocesador 8086 u 8088 de la compañia Intel. Los dos procesadores son de 16 bits, pero el 8086 trabaja con un databus externo de 8 bits.
El procesador transforma las órdenes de un programa, reconoce las interrupciones de la periferia y maneja la memoria y las otras partes de la computadora. Por eso también se llama "CPU"(Unidad Central de Procesamiento).

EL COPROCESADOR MATEMATICO

Si hay un coprocesador aritmético, este chip tipo 8087 ayuda al procesador 8086/8088 en el procesamiento de las órdenes matemáticas. Casi todas las tarjetas principales de las diferentes marcas de computadoras, tienen un socket para este coprocesador, pero es muy raro que ya se encuentre instalado. La razón es que su precio es

relativamente alto (175 a 300 dolares), y además en la actualidad no se encuentran muchos programas que utilicen este chip. Por ejemplo la versión 10 de AUTOCAD ya necesita un coprocesador matemático, que le da mayor agilidad a la ejecución del programa.

EL TRANSMISOR DE RITMO

El Coprocesador Aritmético esta conectado el CPU. Para la sincronización de los dos con la memoria y la periferia se necesita un transmisor de ritmo, que les suministra un ritmo con una cierta frecuencia. Este chip es el 8284. Con ayuda de un cuarzo este chip genera dos diferentes ritmos que tienen una oscilación de 14.138 MHz, que es el ritmo del sistema. Esta frecuencia la divide para tres para generar el ritmo de 4.77MHz para el procesador y la unidad del reloj (8253), y para 4 para generar el ritmo de 3.58 MHz para el Bus.

Muy importante para la cooperación entre las tarjetas es la sincronización con el CPU. Esta cooperación está sincronizada por dos señales de ritmo.

Normalmente una operación de leer/escribir consume 4 ritmos es decir 210 nanosegundos, suponiendo, que trabaja con 4.77 MHz. Así la computadora consume para

procesar un byte 840 nanosegundos.

EL RELOJ

El reloj 8253 tiene tres contadores, el primero maneja el reloj del sistema; el segundo contador reactiva permanentemente la memoria de trabajo; el tercer contador produce una señal de ondas cuadradas para el altavoz.

EL CONTROLADOR DMA

El controlador DMA 8237, a parte de los procesadores es la unidad más compleja en la tarjeta principal. Su trabajo es el de transporte de datos de la memoria a la disquetera o al disco duro y el movimiento de los datos adentro de la memoria. El mismo trabajo podría hacerlo *el procesador, pero el 8237 está diseñado especialmente* para esta tarea y así trabaja mucho más rápido. La unidad tiene 4 canales, de los cuales están 3 para el transporte de datos y tarjetas de expansión, y uno que reactiva la memoria junto al reloj.

CONTROLADOR DE INTERRUPCIONES

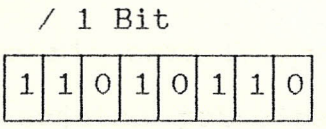
A parte de la interrupción PtNMI, todas las

interrupciones se van al controlador de interrupciones 8259. Esta unidad tiene 8 entradas para interrupciones, y cuenta por prioridad, si la interrupción puede interrumpir al procesador. La interrupción del reloj tiene el número más bajo, y así la prioridad más alta. Sigue la interrupción del teclado y al final están las interrupciones de los interfaces y las tarjetas.
La comunicación entre la tarjeta principal y las otras tarjetas se realiza por medio de las interrupciones (IRQ2-IRQ7) que llegan al controlador de interrupciones 8259 y por 3 lineas (DRQ1-DRQ3) que van al controlador DMA 8237. Una contestación pasa por la vía de señales DACK1-DACK3.

LA MEMORIA

El procesador puede manejar la memoria de 1 MByte, o exactamente 1´048 576 células de memoria. Esta área empieza con la memoria de trabajo RAM, que puede tener una capacidad de 640 KByte o sea desde 00000 hasta 9FFFF. Esta memoria hoy en día esta instalada en la tarjeta principal. Especialmente con las PC-XT con turbo es una necesidad, para que las tarjetas de expansión no reciban la alta frecuencia vía su Bus.

```
F      =       15
F0     =      240
F00    =     3840
F000   =    61440
90000  =   589824
-------------------
9FFFF = 655359 + 0 = 655360 Byte
```



1 Byte = 8 Bit (un caracter ASCCI)

Cada dirección de memoria tiene 8 Bits o un Byte.

DIRECCION	TAMAÑO	FUNCION
00000-0007F	122 Byte	BIOS-Interrupciones
00080-003FF	896 Byte	MS-DOS Interrupciones
00400-0048F	144 Byte	ROM-BIOS Memoria
00413-00414	2 Byte	Memoria de trabajo
.	.	.
.	.	.
.	.	.
B0000-B0FFF	4 kByte	Memoria pantalla.Interfaz mono-cromatico
B0000-B7FFF	32 kByte	Memoria pág.1 | Interfaz Hercules
B7800-BFFFF	32 kByte	Memoria pág.2 | Alta resolución
B8000-BBFFF	16 kByte	Memoria pantalla color con baja resolución.Interfaz CGA (4 páginas de 4 Byte c/u)
BBFFF-FFFFF	256 kByte	Memoria pantalla color con alta resolución.Interfaz EGA
C0000-DFFFF	128 kByte	4*16-kByte páginas para LIM-EMS
C8000-CBFFF	16 kByte	Sistema para uso de disco duro
CC000-EFFFF	80 kByte	Reservado para extensión de ROM
F0000-F5FFF	24 kByte	No ocupado del ROM
F6000-FDFFF	32 kByte	ROM-BASIC
FE000-FFFFF	8 kByte	ROM-BIOS

FIGURA 3.11 MAPA DE MEMORIA DE UN PC

La memoria de los interfaces está instalada en los

mismos. La parte final de la memoria esta formada por el BIOS-ROM y el BASIC-ROM. Las tarjetas principales casi siempre tienen un socket para el BASIC-ROM, pero sólamente en las IBM antiguas viene ocupado.

CONFIGURACION

Existen unos interruptores (Dipswitches), para ajustar la configuración del PC. Así podemos ajustar, qué tamaño de memoria tenemos, cuántas disqueteras, disco duro, coprocesador aritmético, etc. La configuración de estos interruptores la lee la unidad del puerto paralelo 8255. Además, el 8255 pregunta el teclado y manda un sonido que es producido por la unidad del reloj 8253.

SLOTS DE EXPANSION

Sirve especialmente para el uso del PC en la adquisición de datos y control de procesos son las 8 conecciones (a veces menos) con 62 contactos cada una. A éstas conecciones en inglés se las conoce como Slots. Tienen el Bus completo del CPU, además algunas suministran corriente de la Fuente de Poder.
A parte de la señal de ensayo (I/O CH CK) de cada tarjeta, todas las conecciones tienen la misma preferencia.

Todas las líneas de señales tienen nivel TTL (+5V o 0V). Cada conección ofrece señales, 8 de datos (D0-D7), 6 de interrupción, 6 del tipo DMA y además todas las señales para manejar: la memoria, ritmo, suministro (+12V, -12V, +5V, -5V y tierra), líneas de ensayo y señales de control.

Para la incorporación de tarjetas de expansión de memoria RAM necesitamos considerar el consumo de corriente de nuestras tarjetas. Las líneas permiten operar a cada slots 2 unidades tipo TTL sin sobrecargar la fuente.

Para el uso del PC en forma normal también necesitamos dos tarjetas, una para producir la imagen en la pantalla y otra para controlar la disquetera. Además necesitamos en la periferia una disquetera, un teclado, un monitor, una fuente de poder y una caja para protejer el todo.

3.4. EL SOFTWARE

Los lenguajes de programación para control de procesos tienen como misión, definido el problema que el sistema quiere resolver: el control de un proceso, establecer la forma en que el equipo tiene que actuar para realizar su

función indicando todas las actividades, cálculos y otras operaciones a efectuar y la forma de realizarlas, con todas las circunstancias que puedan darse: independencia, tratamiento de señales externas, informes, etc.

Los lenguajes clásicos son de tipo secuencial en los que las acciones tienen un estricto orden en el tiempo sin influir en el comportamiento del problema, la duración de su ejecución. Los resultados dependen, únicamente, de los efectos de cada acción y de su orden.
Las características de los lenguajes avanzados son por por una parte, el carácter estructurado del control y la abstracción funcional (procedimientos), y por otra, la posibilidad de definir tipos de datos, simples o estructurados. Son lenguajes de esta clase: **BASIC**, FORTRAN, PASCAL y COBOL. Funcionan en cualquier máquina con el compilador/intérprete adecuado y no requieren un sistema operativo especial.

3.5. INTERFACES

El interface del CPU con aplicaciones de control externas requiere el uso de un puerto I/O pararelo o serial en adición a los interfaces locales para el monitor y disquetera.

ADAPTADOR INTERFACE PERIFERICO (PIA)

Contiene tres puertos paralelos bidireccionales (PA, PB, y PC) de 8 bits en un sólo circuito de 40 pines. Es decir que tenemos 24 señales de entrada o salida TTL. La PIA tiene la posibilidad de inicializarse en un rango menos limitado de direcciones que el puerto paralelo. En la figura 3.11 podemos ver como están dispuestos los componentes en una PIA.

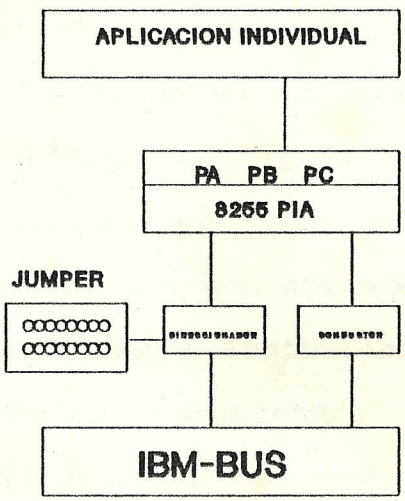


FIGURA 3.12 PIA

El uso del PIA puede espandirse por la combinación de dos o más PIAs en el mismo circuito impreso. Las

conecciones del data bus, direcciones del bus y reloj al CPU, ROM, RAM y la PIA, dependen del CPU y PIA. Además, generalmente encontramos el mismo método para direccionar la PIA que difiere unicamente en la nomenclatura y las conecciones de los pines.

CONVERTIDOR A/D

Son capaces de velocidades de 100 nanosegundos por bit, dando conversiones de 1MHz por 10 bits; cuando usamos la técnica paralela que es la más rápida. El método emplea un cuantificador de entrada que consta de 2n-1 comparadores influenciados por un LSB (less significal bit) independiente de su voltaje referencial. Para una entrada de voltaje analógico dado en el comparador, todos los comparadores bajo este nivel de entrada se accionan y todos los comparadores arriba de este nivel de entrada se apagan instantaneamente. El proceso de cuantificación es completado en el tiempo de interrupción de un sólo comparador.

La salida del comparador, no está en codigo binario y tiene por lo tanto que ir a un decodificador. Este método tiene la ventaja de tener elevada velocidad pero está limitado por tener pocos bits, usualmente 8 (0 - 5V con una resolución de 0.02V), debido al gran número de

comparaciones requeridas. También las hay de 12 bits (0-12V) con una resolución mayor de 0.002V. En la figura 3.12 se muestra como funciona el salto escalonado de la conversión analógico a digital.

Hay un número de parámetros importantes usados para caracterizar la precisión de un convertidor A/D y D/A. Estos parámetros son: Resolución, Línealidad, Línealidad Diferencial, Monotonía, Error, Precisión Relativa, Precisión Absoluta, Error de Compensación, Error de Ganancia, etc.

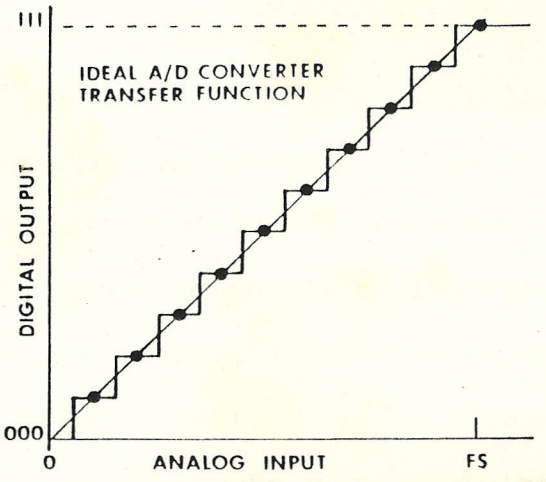


FIGURA 3.12 FUNCION DE TRANSFERENCIA IDEAL DEL CONVERTIDOR A/D (Ref. 2).

3.6. SENSORES

Ahora que ya sabemos como funciona el proceso de adquisición de datos, tenemos que hacernos la pregunta:

¿Qué parámetros físicos vamos a medir?

-Entre los campos de medición más importantes en plantas de proceso y en mediiones del medio ambiente está la medición de temperatura. Para ésto existe una gran cantidad de sensores diferentes.

-Igual importancia tiene la medición de posición, de proximidad y velocidad. Aquí también encontramos muchos métodos diferentes para transformar estos parámetros físicos en valores eléctricos para la adquisición de datos.

-Importante también es la medición de fuerzas, y como una subárea de ésta, la medición de presiones.

-Un área bien amplia de medición es la luz. Esta área comprende desde la indicación de si hay luz, pasando por la medición de la intensidad de la luz, hasta captar imágenes de objetos reales e identificar su tamaño y su movimiento.

-Un método especial con amplia aplicación es la medición de campos magnéticos. Este método puede ser utilizado para identificar objetos ferromagnéticos y también para medir corrientes eléctricas.

-Existen campos especiales de medición que tienen importancia en procesos, tales como la medición de humedad, por ejemplo de gases o del aire, o de

productos sólidos como madera, o de productos al granel como granos de arena.

-En el campo de la medición de las concentraciones de materias químicas, la medición del ph, de salinidad, de concentraciones de CO, entre otras, son muy utilizados.

En el futuro se van a desarrollar más aplicaciones para sensores, tales como la medición de la radioactividad.

N O T A S :

(1) José Nó/J.Mª Angulo: "Control de procesos industriales por computador". Paraninfo, 1987

(2) James A. Gupton Jr.: "Computer Controlled Industrial Machines, Processes, and Robots. Prentice Hall, 1986

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA MAQUINA

4.1. FACTORES DE INFLUENCIA

Se necesita una máquina que produzca piezas fundidas, de aleaciones de bajo punto de fusión, en molde permanente, de tamaños pequeños, que funcione automáticamente.

Para satisfacer estas necesidades la máquina dede cumplir las siguientes funciones:

-Contener el metal líquido y mantenerlo a una temperatura determinada. También los inyectores y los moldes deben estar a una temperatura específica.

-Inyectar por gravedad el metal fundido al molde en la cantidad requerida para la pieza a colar.

-Cortar la parte del vertedero de la pieza.

-Sostener los moldes y el cortador completamente cerrados durante el proceso de colado y separarlos para sacar las piezas y el vertedero cuando ya están

solidificados.

-Hacer vibrar los moldes y el cortador para que caigan las piezas y el vertedero.

-Cerrar nuevamente los moldes y el cortador para continuar con otro ciclo de producción.

Se partió de un horno de forma cúbica de 30 cm de lado, con cuatro inyectores con capacidad para fundir aleaciones pesadas de bajo punto de fusión (temperatura de colada inferior a los 460°C), como plomo, estaño y zinc. Las dimensiones del horno se las puede ver en la figura 4.1, y una fotografía de una vista lateral se puede apreciar en la figura 4.2.

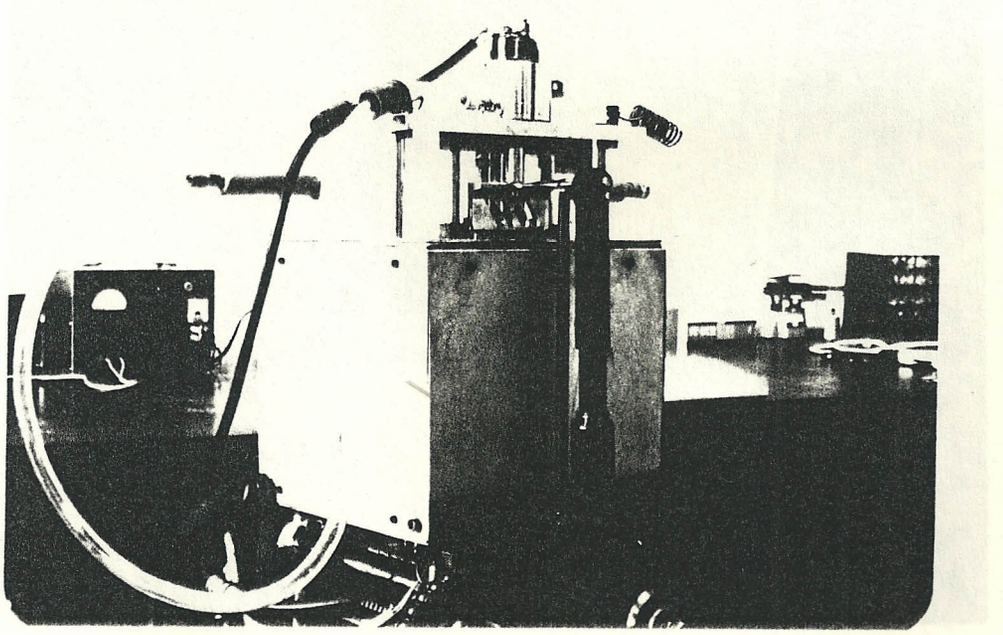


FIGURA 4.1 DIMENSIONES PRINCIPALES DEL HORNO

Además se tenía: el bastidor, el piñon, las catalinas, la cadena, los tornillos de potencia, las guías del carro y el carro. Las dimensiones de estos elementos se pueden observar en los planos de la máquina que se encuentran en los apéndices, una fotografía de una vista frontal del conjunto de los elementos con que se partió el proceso de diseño se muestra en la figura 4.3.

Con los elementos con que contamos, tenemos ya bastantes restricciones físicas (dimensionales) con las cuales comenzar nuestro diseño de forma.

Estos elementos mecánicos no van a ser dimensionados, sino que vamos a calcular su factor de seguridad para falla, de manera que tengamos la certeza de que no fallarán.

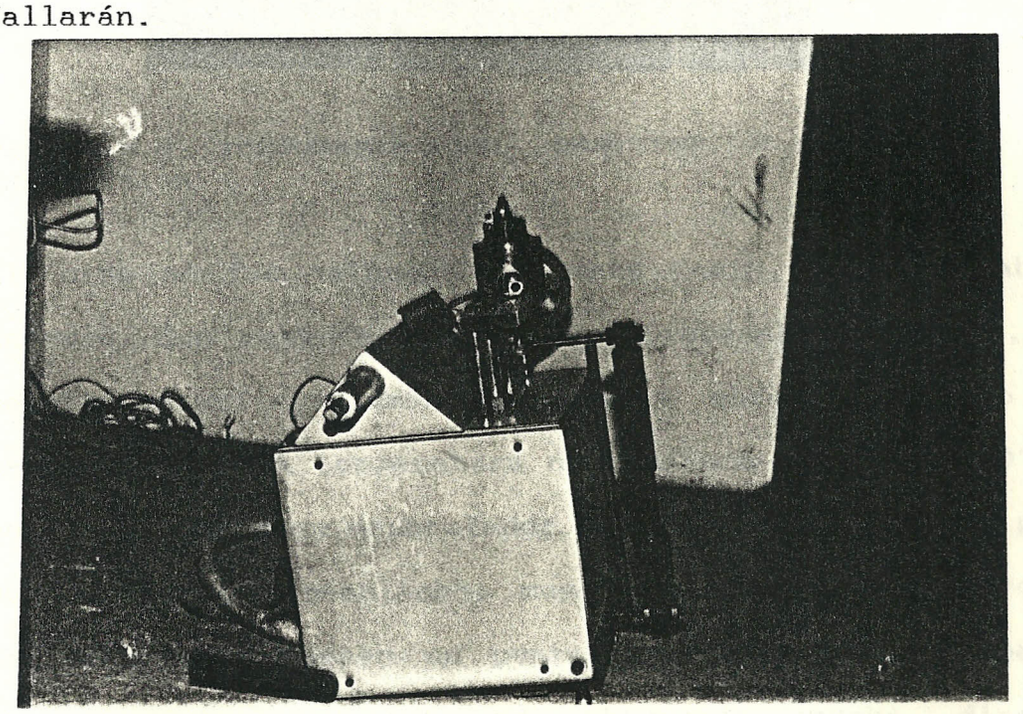


FIGURA 4.2 FOTOGRAFIA DEL HORNO

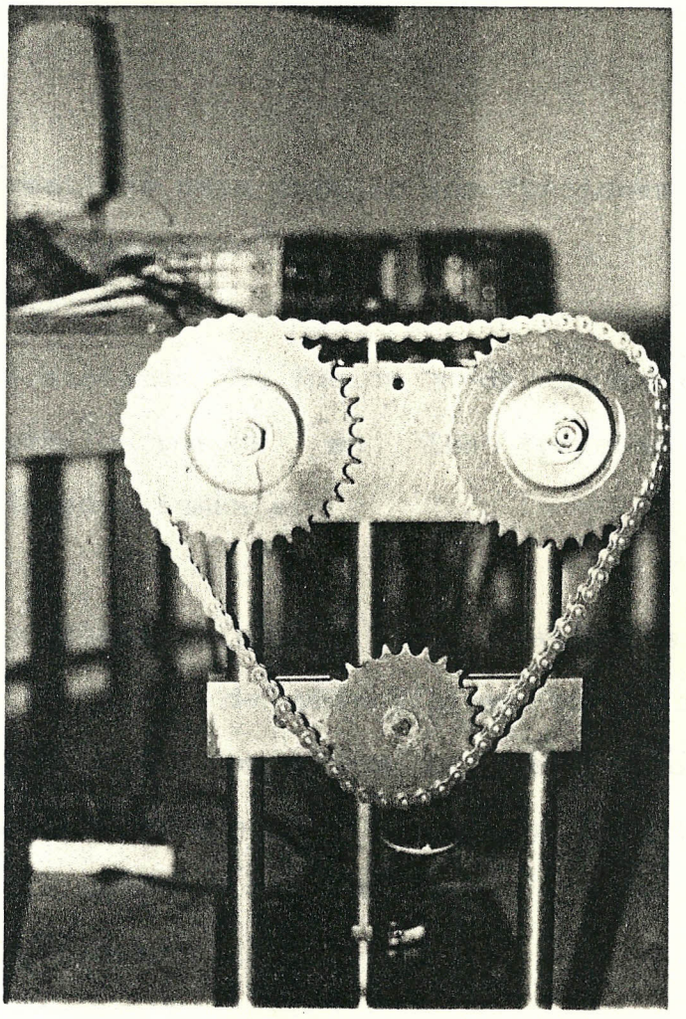


FIGURA 4.3 FOTOGRAFIA DEL BASTIDOR Y ELEMENTOS DE TRANSMISION

El horno no fue calculado en esta tesis, pues no cabía hacerlo. Sus resistencias fueron probadas con carga, y resultaron suficientemente potentes para calentarlo y mantenerlo a una temperatura determinada (menor a 500°C) con la ayuda de un controlador de temperatura. Además por su constitución resultaba, muy caro optimizarlo, porque las aleaciones tienen un punto de fusión bastante bajo como para pensar que se ahorraría mucho dinero

haciéndolo.

Las alternativas para cumplir las funciones de la máquina son las siguientes:

-Los sistemas de fusión y de inyección no vamos a cambiarlos porque en las pruebas funcionaron satisfactoriamente.

-El sistema de cierre puede realizarse por medio de los tornillos de potencia en forma directa o con resortes que transmitan la fuerza progresivamente. El mecanismo que guía al porta-molde puede ser hecho con la ayuda de las dos guías que se encuentran en el bastidor.

-El sistema vibrador puede realizarse por medios mecánicos (por medio de un mecanismo de leva-seguidor por ejemplo) con un motor independiente, o eléctricos (una bobina con un núcleo vibrante), con un costo moderado.

-El sistema cortador puede ser accionado por medio de los mismos tornillos de potencia para cerrar los moldes, o por otro mecanismo de tornillo que funcione en forma independiente. No consideraremos

como alternativa accionamientos hidráulicos debido a su alto costo.

-El sistema generador de energía puede ser realizado por motores eléctricos, lo que facilita en gran medida el control del proceso y también abarata los costos. El sistema de cierre y apertura de moldes puede realizarse con un motor independiente al de el sistema vibrador para dar mayor flexibilidad al proceso y evitar acoplamientos difíciles. El sistema de inyección se lo puede realizar con un solenoide eléctrico que podría ser el Vernix del motor de arranque de un carro.
Por último el sistema de fusión será calentado por medio de resistencias eléctricas, además de los inyectores, y moldes.

4.2. DISEÑO DE FORMA

Para cumplir con las funciones que debe realizar la máquina, se seleccionará los medios disponibles en las alternativas anteriores para el posterior diseño de forma.

Esta selección deberá adaptarse a las necesidades de nuestro medio, usando la tecnología y las piezas que

están a nuestra disponibilidad, económicamente a nuestro alcance, tomando en cuenta los costos de operación y mantenimiento.

-Para el sistema de cierre de moldes se escogió el sistema de transmisión de potencia por resortes, pues con la transmisión directa es muy difícil regular la posición en donde tiene que parar el motor cuando los moldes ya están completamente cerrados. Además con este mecanismo podemos transmitir también el movimiento del cortador, con el mismo motor. El carro es movido por los tornillos de potencia y éste a su vez mueve al porta-moldes por medio de un vástago. Este está fijo al porta-moldes y tiene un tope al final, que al entrar en contacto con el carro, éste lo jala hacia atrás.

-El sistema vibrador seleccionado es mecánico. Funciona por medio de un mecánismo leva-seguidor movido por un motor eléctrico de corriente contínua, lo cual permite variar la velocidad de giro de la leva. Es más ventajoso usarlo frente a un sistema eléctrico, porque no produce aceleraciones tan altas como las producidas por la leva, corriendo el riesgo de que no haga caer la pieza.

-Para el sistema cortador se ha escogido el movido por el mismo mecanismo del sistema de cierre de moldes lo cual nos ahorra dinero y hace mucho más sencilla la máquina.

-Para el sistema generador de energía, se seleccionó el de accionamientos eléctricos que se propuso en las alternativas anteriores, por las ventajas que nos brindan, especialmente económicas y facilidad de control.

Debemos notar que mientras menos componentes mecánicos tenga la máquina, más fiable será, lo que también reduce el costo de construcción y mantención.

SISTEMA DE FUSION DE METAL

El horno desempeña el papel más importante en esta etapa, pues, cumple la función de fundir y mantener en estado líquido la aleación a inyectarse.

Este sistema tiene que cumplir los siguientes requerimientos:

-Fundir en el mínimo tiempo posible;

-Precisión de la temperatura y;

-Uniformidad de la temperatura.

Para cumplir con estos requerimientos necesitamos resistencias suficientemente potentes para responder a la acción del control actuado por computadora, y así fundir en un tiempo mínimo económico.

También es importante, la forma y el material del horno para que haya una buena uniformidad de temperatura en el metal fundido.

Con un control de tipo "On/Off" (abierto/cerrado), logramos una buena precisión de la temperatura con márgenes de error menores a los diez grados centígrados, lo que no afecta a las propiedades de fluencia de las aleaciones que utilizamos en este horno. El control de temperatura no sólo está encargado de mantener una temperatura aceptable dentro del horno, si no también de mantener temperaturas aceptables en los inyectores y en los moldes en forma independiente.

El sistema de fusión está integrado por los siguientes elementos:

LAS PAREDES

Son las limitantes del horno y es el lugar donde se produce la transferencia de calor de las resistencias eléctricas al metal fundido. Tienen alta conductividad térmica para que la transferencia de calor entre las resistencias y las paredes sea eficiente; además están aisladas con lana de cerámica para evitar la menor fuga de calor hacia el exterior. Se ha utilizado lana de cerámica por ser un excelente aislante térmico (K ≈ 0.017 Btu/hr pie °F), además su consistencia facilita el mantenimiento o la reparación del horno.

El piso del horno está hecho de hierro fundido, por su propiedad de repartir de una manera más uniforme las temperaturas dentro del horno.

LA REFRIGERACION

Al trabajar con metales pesados de bajo punto de fusión, como el plomo, se corre el riesgo de contaminar el aire con vapores tóxicos. Para evitar ésto se ha construído una tapa refrigerada por agua, que tiene un serpentín en la parte superior de la tapa, donde se encuentra la mayor parte del vapor

que al entrar en contacto con sus paredas frías, se precipita hacia el piso del horno.

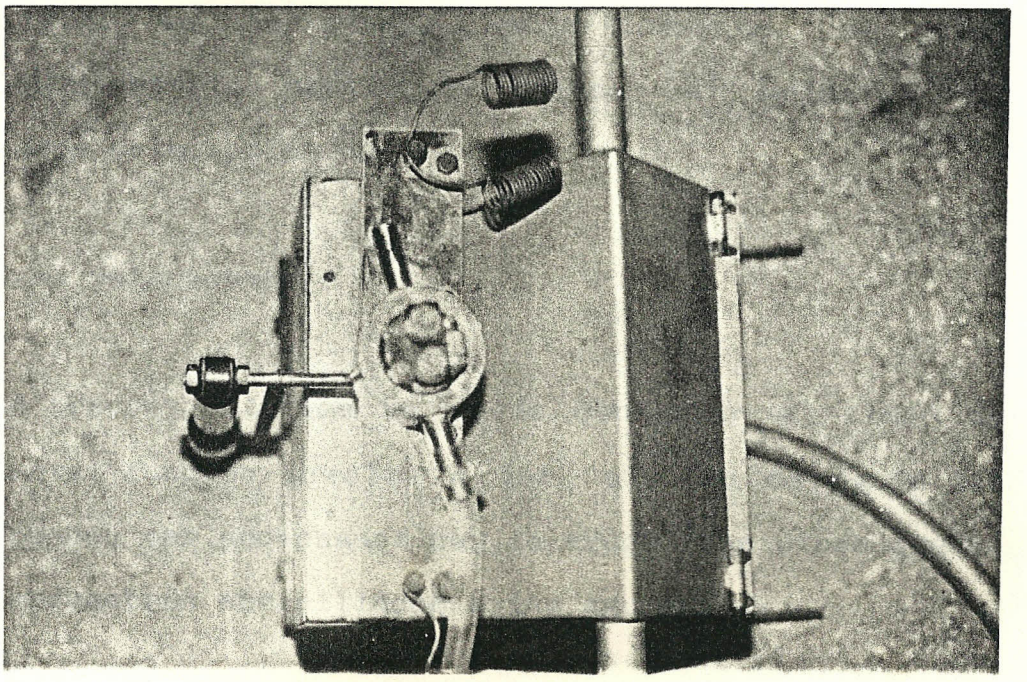


FIGURA 4.4 VISTA SUPERIOR DEL HORNO

EL CALENTADOR

Es la fuente de calor del horno, generada por la conversión de energía eléctrica en calor, a través de una resistencia. Están localizadas, una en el centro del piso y una en cada pared lateral. Están soldadas a las paredes de manera tal que la trasnferencia de calor se produce únicamente por conducción, al no haber espacio libre entre el aislante (lana de cerámica) y la pared del horno.

SISTEMA DE INYECCION

Su función es introducir automáticamente, el metal fundido necesario para cada colada, al molde. Sus elementos principales son:

LOS INYECTORES

A través de ellos se puede controlar el flujo de metal fundido gracias a las válvulas de aguja que pueden ser accionadas con la ayuda unos pines que se encuentran atornillados a las agujas.

EL CALENTADOR

Sirve para mantener las salidas de los inyectores a la temperatura requerida a fin de que fluya adecuadamente el metal fundido. Esto se realiza con la ayuda de una resistencia que se encuentra introducida dentro de una camisa de cobre (con una conductividad térmica de $k \approx 218$ Btu/hr pie °F) compartida por los inyectores, de manera que la transferencia de calor es por conducción.

EL ACTUADOR

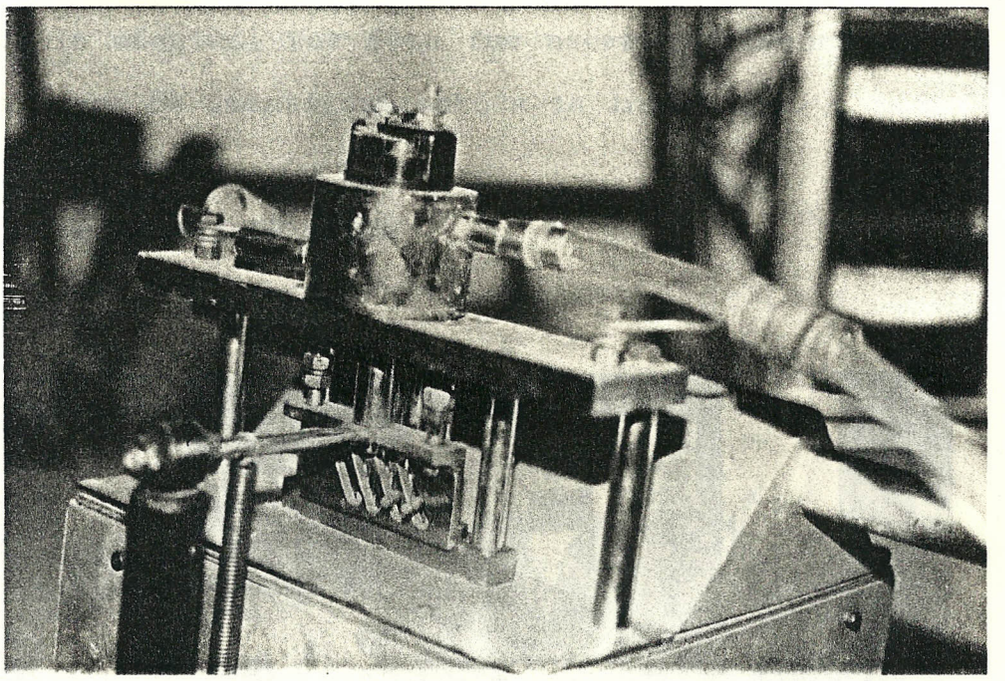


FIGURA 4.5 SISTEMA DE ACTUACION Y AMORTIGUAMIENTO DE LOS INYECTORES

La actuación es a través de un solenoide eléctrico, que por medio de unas guías inclinadas hala a los pines que accionan las válvulas de los conductores dejando salir el metal fundido hacia los moldes. El solenoide necesita refrigerarse, para evitar sobrecalentamientos que podrían quemarlo. Esto se hace a través de una camisa que usa la misma agua de refrigeración de la tapa del horno.

EL AMORTIGUAMIENTO

El proceso de inyección a través de un solenoide

generaba salpicaduras de metal fundido a las partes de la máquina, por ésto fue necesario incorporar un sistema de amortiguamiento a la inyección.

SISTEMA DE CIERRE DE MOLDE

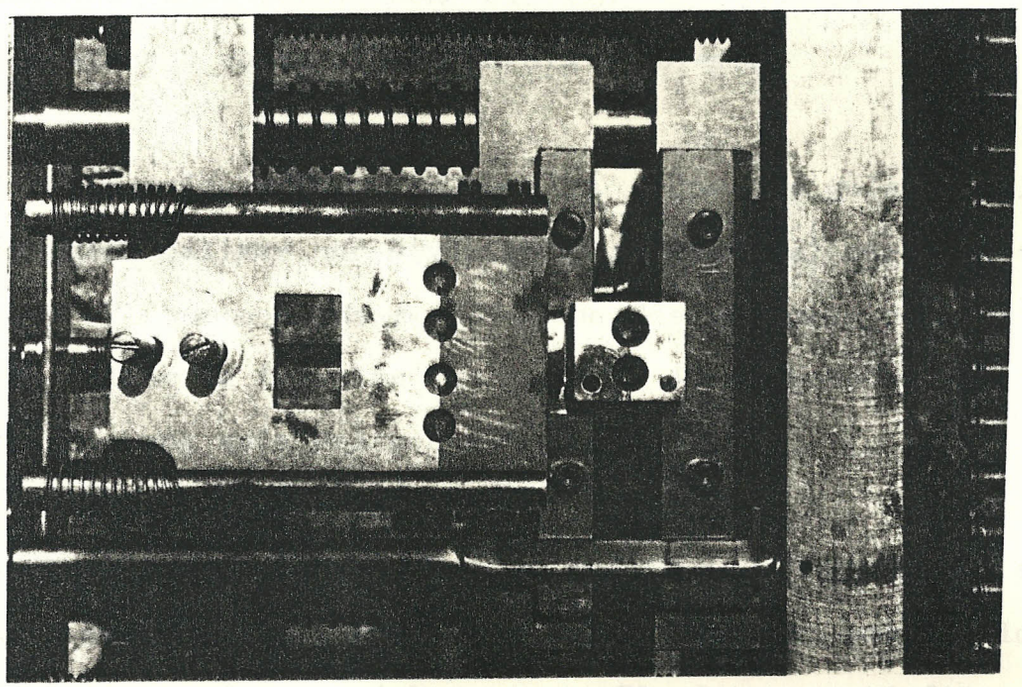


FIGURA 4.6 SISTEMA DE CIERRE DE MOLDES

El sistema de cierre de moldes seleccionado es mecánico. Dos tornillos de potencia son impulsados por un motor eléctrico por medio de una reducción piñón-cadena; estos tornillos mueven al carro que empuja a través de unos resortes al porta-molde móvil hacia el porta-molde fijo. Sobre los porta-moldes están colocados dos seguidores que se encuentran flotantes por medio de

resortes. Los moldes se sujetan a los seguidores por medio de un tornillo que les da la holgura necesaria que ayuda al acoplamiento, en el momento en que se cierran las dos partes del molde.

Los seguidores sirven para hacer vibrar a los moldes, por medio de una leva, con el fin de que la pieza ya solidifacada caiga del molde sin problemas.

El porta-molde móvil se desliza sobre dos guías que le permiten realizar un movimiento paralelo al porta-molde fijo. El porta-molde móvil tiene dos bocines de bronce para evitar la fricción con la guía. El resorte es guiado por la misma guía del porta-molde móvil.

La abertura de los moldes se realiza al retroceder el carro cuando el vástago que está fijo al porta-molde móvil llega al tope del carro. El vástago está fijo al porta-molde móvil por medio de un tornillo y una contratuerca, que permite regular la posición hasta la cual retrocede el molde, dándonos la flexibilidad de cambiar a moldes de diferentes tamaños. Los manguitos del carro también son de bronce para disminuir la fricción del tornillo sobre el manguito. Los tornillos de potencia están sujetados al bastidor por rodamientos de rodillos cónicos como se muestra en el plano de conjunto

de el apéndice A. Esto es debido a que el tornillo soporta cargas radiales y axiales.

Las guías serán sujetadas al bastidor por medio de tornillos Alen pasantes, como se muestra en el mismo plano anterior.

SISTEMA VIBRADOR

El sistema vibrador será diseñado para producir sacudimientos suficientes para que las fundición y la parte cortada puedan caer sin la intervención del hombre.

Este sistema consiste básicamente de una leva y dos seguidores sobre los cuales están sujetados los moldes.

Para que la leva cumpla con el requerimiento de ser capaz de sacudir con sufiente aceleración a los moldes y hacer caer la fundición, debe producir aceleraciones grandes. Para lograr ésto, se fabricará una leva con un seguidor oscilante de cara plana como se muestra en la figura 4.7.

Las leva más conveniente para nosotros posiblemente sea una de tipo placa poligonal, las cuales producen grandes aceleraciones debido a los cambios bruscos de sección. Además, al aumentar el número de lados aumentamos también

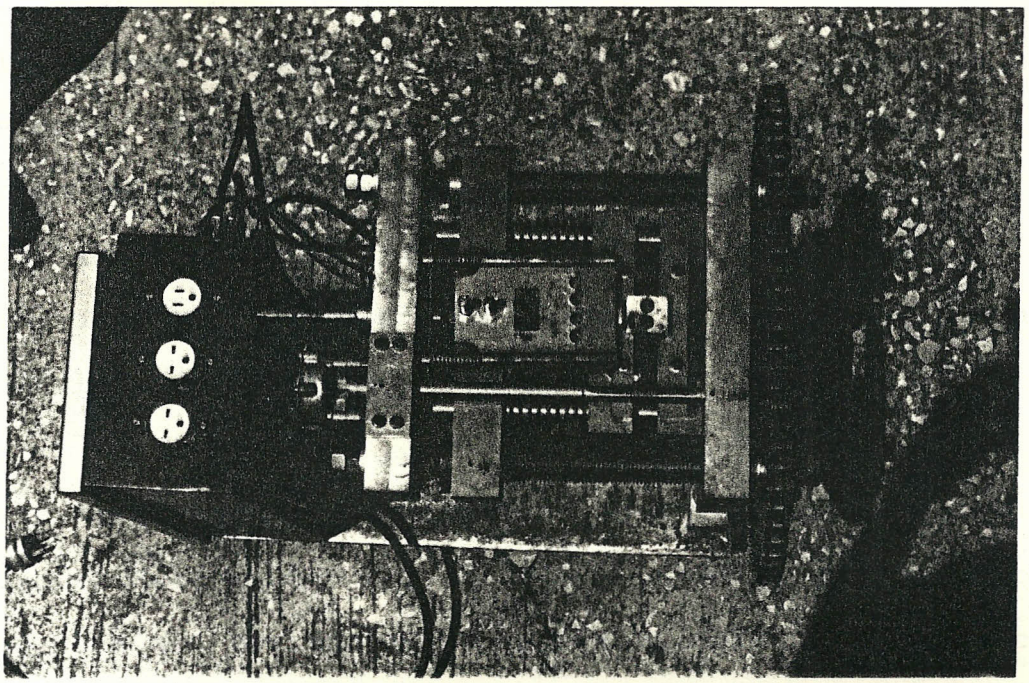


FIGURA 4.7 SISTEMA VIBRADOR

la aceleración (aumenta la frecuencia de vibración); pero ésto tiene un limite porque al aumentar el número de lados también disminuye la amplitud lo cual disminuye la aceleración. Es decir que no podemos pensar que mientras más lados tenga la leva más va a vibrar. Por ejemplo imaginemos que tiene infinito número de lados, esto obviamente no produciría ninguna aceleración.

Gracias a experiencias realizadas con este tipo de levas se encontró que la leva triangular con sus esquinas suavizadas cumple satisfactoriamente nuestros requerimientos.

El seguidor normalmente deberá estar horizontal para que de esta forma pueda ejecutarse correctamente los procedimientos de corte e inyección. Debido a la configuración de la máquina se escogío un seguidor de tipo oscilante que permita vibrar a los moldes con una sóla leva en uno de sus lados.

Para asegurar que el seguidor, como su nombre lo indica siga en todo momento a la leva, se lo va montado sobre resortes que ejercen una presión suficiente para vencer las fuerzas debido al peso y a las fuerzas dinámicas que se produzcan.

El cortador está apoyado sobre el seguidor del porta-molde gracias a un asiento que se encuentra fijado a éste. Este asiento transmite el movimiento del seguidor al cortador.

El motor tiene una pista con una discontinuidad y un contacto que sensa una posición de referencia. De está manera se puede hacer parar la leva en una posición tal que el seguidor se encuentre en el punto muerto superior. Esto evita que los moldes queden inclinados con respecto al cortador produciendo un acople incorrecto que podría producir problemas al llenar y cortar la pieza.

SISTEMA CORTADOR

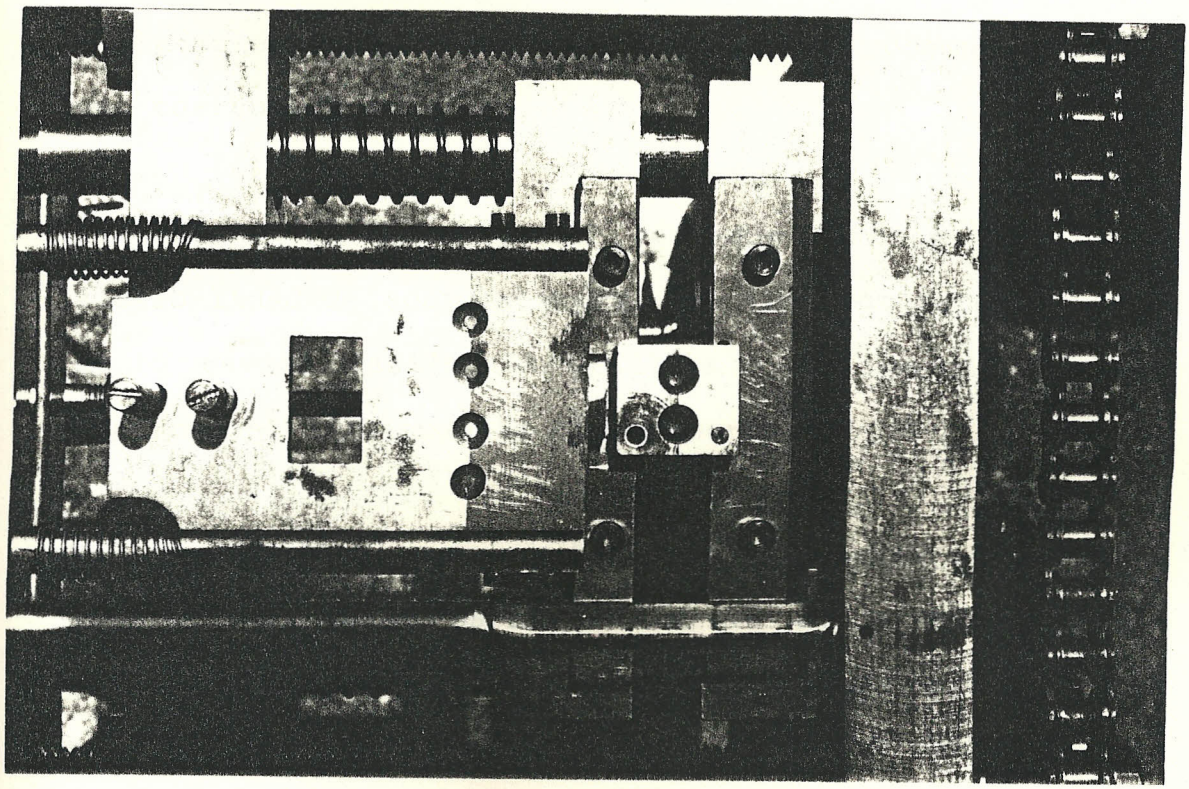


FIGURA 4.8 SISTEMA CORTADOR

El sistema cortador, es el encargado de cortar los vertederos de las piezas fundidas, una vez que la colada se haya solidificado.

El movimiento de éste sistema es también paralelo a las guías, horizontalmente. Como ya lo mencionamos antes, se aprovecha el sistema de tornillos que mueve el carro, también para mover el sistema cortador, para ésto el cortador está acoplado sobre el carro mediante dos

espárragos que le permiten oscilar de manera que este sistema pueda también vibrar con la ayuda de la leva, y así obligar a la parte cortada a caer cuando el cortador se encuentra abierto, ya que no podemos asegurar que caerán por sí solas.

El sistema que suspende al cortador también permite la flexibilidad de acoplar moldes de diversos tamaños, ésto se lo revisa fácilmente calibrando la posición de los espárragos, aflojando la contratuerca.

El cortador tiene un mecanismo que le permite abrirse por la mitad en forma paralela con la ayuda de dos guías cilíndricas laterales. Las guías tienen una ranura que hace de riel para que se deslice la parte posterior del cortador, quedando fijo a ella la parte frontal.

El cortador permanece cerrado gracias a dos resortes que tienen un extremo, empujando al cortador, y el otro, fijo a la guía, gracias a un pasador que las atravieza

El pasador está sujetado a las guías por medio de dos prisioneros que se encuentran alojados en el pie de la guía.

En el ciclo de funcionamiento de la máquina hay una parte

que permite abrir el cortador para desalojar la parte cortada, cuando el carro retrocede. Esto ocurre cuando, el pie de la guía toca con la parte posterior del bastidor obligando a abrir el cortador.

El acabado superficial de los orificios del cortador deberá ser pulido, de manera que la parte cortada no se adhiera demasiado por la rugosidad del cortador y sea más fácil removerla.

Cuando el cortador se mueve hacia la posición de inyección es necesario que se acople firmemente sobre los moldes, de manera que en la inyuección el metal fundido no salga por entre estas dos piezas causándonos problemas para cortarla. Para permitir la articulación del cortador, se lo ha montado sobre un espárrago que tiene forma semiesférica. El otro espárrago que hace de tope se encuentra ligeramente más abajo que el primero, el cortador es entonces presionado sobre los moldes gracias a dos resortes que se encuentran sobre él apoyados por medio de unas tuercas que regulan su presión de en la parte superior de los espárragos. Esto también nos da la flexibilidad de aumentar o disminuir la presión del cortador sobre los moldes hasta encontrar una adecuada.

La parte frontal del cortador en el movimiento antes de la inyección deberá colocarse sobre el seguidor del portamolde móvil y luego subir hasta la altura del molde para posteriormente localizarse exactamente sobre él. Para poder realizar con facilidad estas operaciones el cortador deberá tener un perfil suave que se deslice con facilidad sobre el seguidor y el molde.

En la operación de apertura, el cortador retrocede hasta quedar totalmente abierto y queda apoyado (gracias a una correcta calibración del vástago que hala al portamoldes) sobre el seguidor. Al ser accionado el vibrador la leva mueve al seguidor, el cual a su vez mueve al cortador que se encuentra apoyado sobre él. Esta vibración, ya habíamos analizado que es suficiente para producir el removimiento de la pieza.

La parte del cortador que es empujada por los resortes deberá tener un rebaje, por motivos de espacio, con un radio de curvatura suficiente para no producir demasiada concentración de esfuerzos.

Todos estos criterios utilizados se los puede ver en el plano de conjunto y en la fotografía mostrada en la figura 4.8 arriba.

Esta tecnología de corte es comúnmente usada en la fabricación de piezas pequeñas, especialmente en la tecnología de producción de puntas de balas para rifles y pistolas.

SISTEMA GENERADOR DE ENERGIA

Este sistema es el que suministra la potencia para todos los movimientos de la máquina, que son: el movimiento de los moldes y cortador, el movimiento de vibración de los moldes y el cortaador; y el movimiento de inyección.

GENERADOR DE MOVIMIENTO DE LOS MOLDES Y CORTADOR

Un motor eléctrico de corriente contínua suministra la energía para mover los moldes y el cortador, ésto permite la inversión del sentido del movimiento del motor para poder mover hacia adelante o hacia atrás los moldes.

El movimiento rotacional del motor es transformado en movimiento lineal con la ayuda de los dos tornillos de potencia que están montados en el bastidor.

La transmisión de potencia del motor a los tornillos de potencia se realiza con la ayuda de un mecanismo reductor

de velocidad piñon-cadena. De ésta manera se reduce la velocidad del motor para producir un movimiento más lento de los moldes y cortador, pero con mayor fuerza.
Este mecanismo de transmisión de poencia tiene un piñon movil, que es el templador, que sirbe para templar la cadena.

El templador se puede deslizar en las dos patas frontales del bastidor, de manera que se puede ajustar cualquier posición con la ayuda de dos tornillos Alen que lo ajustan ellas.

El eje del motor será acoplado al piñon impulsor por medio de un acople macho-hembra que se lo puede observar en el plano de conjunto del apéndice A.

GENERADOR DE MOVIMIENTO DEL VIBRADOR

El movimiento del vibrador es generado por un motor eléctrico de corriente contínua que está acoplado a la leva.

Se seleccionó un motor de un limpia parabrisas de automóvil, que es fácil de conseguir en el mercado y además tiene un sistema sensor de posición que sirve para que la pluma siempre se detenga en la posición hacia

abajo, lo cual aprovecharemos para el control de la posición de la leva que vamos a explicar más adelante.

El acoplamiento entre el motor y la leva vamos a hacerlo a través de un pasador roscado, fabricado a partir de un prisionero con alojamiento tipo "alen" que nos permitirá ocultarlo dentro del eje mismo, de manera que no estorbe cuando rote.

GENERADOR DE MOVIMIENTO DE LOS INYECTORES

Este movimiento será realizado por un solenoide eléctrico que es accionado en su debido momento con el controlador.

Este servomecanismo es muy fácil de encontrar en el sistema de arranque de motores de automóviles conocido con el nombre de "vérnix", es por ésto que lo hemos seleccionado.

Además este sistema funciona también con corriente contínua, lo que simplifica el sistema generador de corriente para los movimientos de la máquina.

4.3. DESCRIPCION DE LAS PARTES Y SU FUNCIONAMIENTO

Todas las funciones de la máquina son realizadas automáticamente por medio de un control por computadora, donde el único proceso que no es automático es el proceso de alimentación del horno.

Los elementos o sistemas que permiten cumplir con las funciones mencionadas anteriormentea son básicamente, los siguientes: Sistema de Fusión, Sistema de inyección, Sistema de cierre de moldes, Sistema cortador, Sistema vibrador, y Sistema generador de energía; los cuales se pueden ver en la figura 4.8.

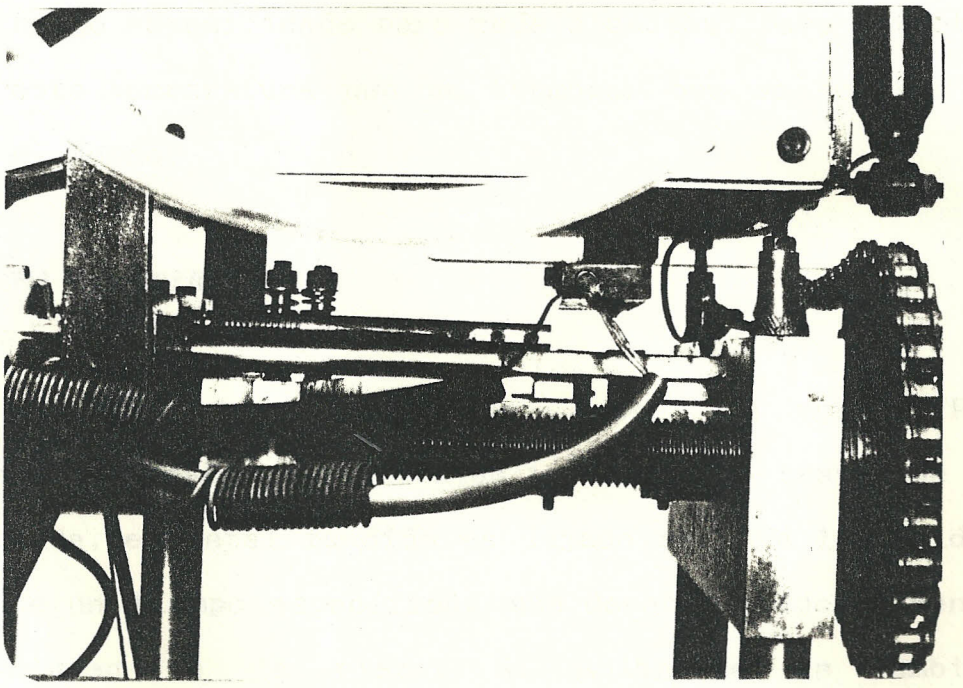


FIGURA 4.8 FUNCIONES DE LA MAQUINA

SISTEMA DE FUSION

Es básicamente el horno; sirve para fundir la aleación, mantenerla en estado líquido y para la alimentación de la máquina. Entonces el sistema de fusión tiene 2 funciones:

-La primera de fusión, que es la que más consume energía, que nos provee de suficiente metal fundido para que el proceso se realice regularmente durante un turno de trabajo.

-La segunda de mantenimiento, que demanda menos cantidad de energía y una buena regulación, que mantiene la temperatura del metal fundido en el rango especificado para cada aleación, para detectar esta temperatura usa un termopar que se sumerge en el horno.

SISTEMA DE INYECCION

Está ubicado debajo del horno, sobre los moldes. Por medio de un sistema de válvulas accionadas a través de un solenoide, el metal fundido es dejado salir a los moldes durante un tiempo específico, que depende principalmente del volumen de la pieza. El solenoide es también refrigerado por el mismo sistema de enfriamiento de la

tapa del horno, debido al trabajo contínuo del proceso.

Además, los inyectores deben ser también calentados y mantenidos a una temperatura específica para que el metal líquido que sale del horno no se enfríe al pasar por ellos, quitandole fluidez u obstruyendo el paso de metal fundido.

Tiene un sistema para amortiguar el sistema de abrir y cerrar los inyectores para evitar sacudimientos que producirían salpicaduras de metal.
El horno tiene un sistema de bisagras que le permiten abatirse sobre la máquina dando así acceso a los distintos dispositivos de ésta para un mantenimiento o para cambiar los moldes.

El piso del molde está hecho de hierro fundido, el cual mejora la distribución de temperatura en el horno, siendo más uniforme, lo que mejora bastante la transferencia de calor.

SISTEMA DE CIERRE DE MOLDES

Cumple las siguientes funciones: Sostiene y guía las mitades del molde; y mantiene cerradas y abre las mitades del molde.

El bastidor es de construcción rigída y fuerte, para que pueda soportar, además del peso de los moldes y la pieza colada, las vibracines producidas por el sistema vibrador de expulsión de las piezas, sin que se desforme significativamente.

Una parte del molde es fija y otra es móvil. La fija está sujetada al bastidor y la móvil se puede deslizar a través de dos guías por medio de un vástago que es movido por el carro a través de los tornillos de potencia.
El porta-molde móvil tiene dos bocines de bronce, a través de los cuales se desliza sobre las guías, para reducir la fricción en el deslizamiento.

La transmisión del movimiento a través de resorte nos da la flexibilidad de cambiar los moldes por otros de diferente tamaño sin tener que ajustar el espacio entre los porta moldes.

Además, al no haber una transmisión rígida del movimiento, se evitan posibles accidentes del operario, que pondrían en peligro su vida.

SISTEMA CORTADOR

Este sistema sirve para cortar el vertedero de la pieza fundida una vez que se ha solidificado. Además sirve para dar mayor flexibilidad al sistema de inyección de manera que se asegure siempre un llenado completo del molde, sin necesidad de mucha precisión, gracias al volumen considerable que tienen los orificios del cortador.

SISTEMA VIBRADOR

Sirve para hacer caer la pieza fundida y la parte cortada una vez que han sido solidificadas. Tiene un sencillo mecanismo de leva-seguidor que producen una gran aceleración a los moldes y al cortador, accionado por un motor independiente.

La forma de la leva triangular satisface muy bien este requerimiento.

4.4. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECANICOS

Ahora que ya sabemos la forma que van a tener los elementos, nos queda solamente determinar sus dimensiones para que no fallen, es decir vamos a dimensionar los elementos mecánicos de la máquina.

Algunos componentes de la máquina como el tornillo de potencia, no podrán ser dimensionados. Solamente vamos a verificar si va a fallar, hallando su factor de seguridad considerando que la máquina sólo trabajará con los moldes que utizamos para las pruebas.

Obviamente estos factores de seguridad van a ser altos porque los moldes para balas son bastantes pequeños y no se necesita demasiada fuerza para cortarlos. Esto nos permite usar moldes mucho más grandes, con aleaciones con mayor resistencia dandole mayor versatilidad a la máquina.

A continuación presentaremos los calculos para el diseño de los tornillos de potencia y manguitos, resortes, leva, seguidores, acoples de motores, cortador, y bastidor.

4.4.1 TORNILLOS DE POTENCIA Y MANGUITOS

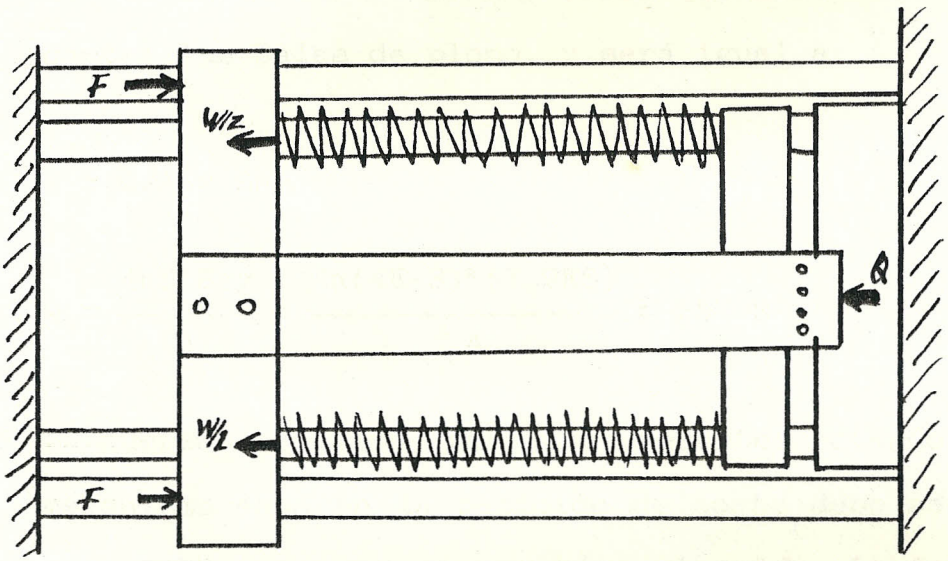


FIGURA 4.9 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LOS TORNILLOS + EL CARRO + EL CORTADOR

En la figura 4.9 se encuentra el diagrama de cuerpo libre de los elementos que interaccionan con el tornillo de potencia.

La resistencia de fluencia al cortante para cualquier material viene dado por la expresión:

$$Ssy = 0.577Sy$$

La resistencia a la fluencia del plomo es Sy=13.8MPa, entonces la resistencia a la fluencia al cortante del plomo será:

$$Ssy = 0.577(13.8) = 7.9MPa$$

La fuerza Q, es la fuerza total que necesaria para cortar las balas de plomo, y será igual a:

$$\tau = Q/A = Ssy$$

$$Q = \frac{4\pi d^2 Ssy}{4} = \frac{4\pi(4E-3)^2(7.9E6)}{4} = 397\ N$$

La fuerza ejercida por los resortes cuando el mecanismo está en la posición de corte debe ser de unos 200N para que cierre bien el molde. La fuerza total sobre cada tornillo entonces será:

$$F = \frac{397+200}{2} \approx 300N$$

El tornillo de potencia que vamos a diseñar tiene rosca cuadrada de un solo filete y está hecho de acero G10500 HR (Sy=338MPa). El manguito es de bronce comercial C20000 suave (Sy=70MPa). El coeficiente de fricción entre el acero y el bronce es μ= 0.09. El diametro exterior de la rosca es DE=30mm y el paso es p=4mm.

$$dm = D-p/2 = 30-4/2 = 28mm$$

$l = np = 1(4) = 4mm$

Despreciando las fuerzas de fricción en los rodamientos el torque total requerido para hacer que el tornillo gire contra la carga es:

$$T = \frac{Fdm}{2}\left[\frac{l + \pi\mu dm}{\pi dm - \mu l}\right] = \frac{300(28E-3)}{2}\left[\frac{4E-3+\pi(.08)(28E-3)}{\pi(28E-3)-.08(4E-3)}\right]$$

$T = 0.53\ Nm$

El tornillo no solo puede fallar por su rosca, sino también por su cuerpo masiso, es por eso que vamos a analizar primero el tornillo y despues su rosca (que es lo más probable que falle primero).

TORNILLO:

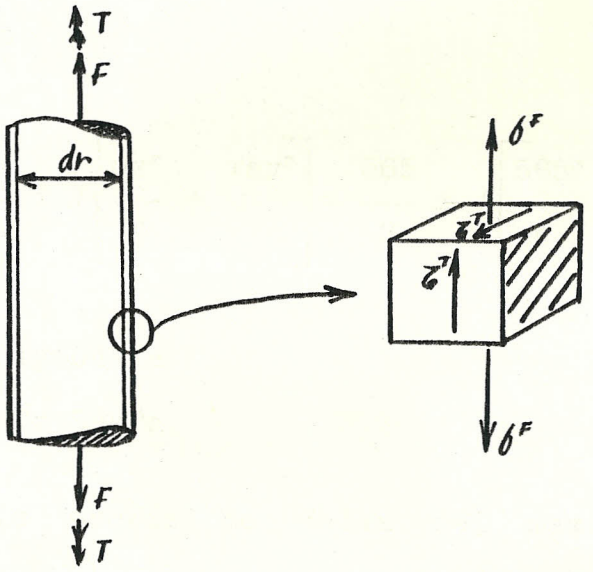


FIGURA 4.10 ELEMENTO DE ESFUERZOS

El esfuerzo cortante en el tornillo tomando como base el area menor de la rosca Ar, y es igual a:

$$\tau = \frac{T\ C}{J} = \frac{32Tdr}{2\pi dr^4} = \frac{16T}{\pi dr^3} = \frac{16(0.53)}{\pi(26E-3)^3} = 154kPa$$

El esfuerzo de flexión en el tornillo en la dirección de su eje, será:

$$\sigma x = \frac{F}{Ar} = \frac{4F}{\pi dr^2} = \frac{4(300)}{\pi(26E-3)^2} = 565kPa$$

Entonces, como tenemos esfuerzos combinados, determinaremos primero los esfuerzos principales para luego poder usar cualquier teoría de falla

para determinar el factor de seguridad del elemento:

$$\sigma 1,3 = \frac{\sigma x}{2} \pm \sqrt{\left[\frac{\sigma x^2}{4} + \tau sy^2\right]} = \frac{565}{2} \pm \sqrt{\left[\frac{565^2}{4} + 154^2\right]}$$

$$\sigma 1,3 \quad \begin{matrix} \sigma 1 = 604 kPa \\ \sigma 3 = -39 kPa \end{matrix}$$

Usando la teoría de falla del maximo esfuerzo cortante:

$$\sigma 1 - \sigma 3 = \frac{Sy}{n} \equiv n = \frac{Sy}{\sigma 1 - \sigma 3} = \frac{338E3}{604+39} = 525 >> 2$$

El factor de seguridad para la construcción de balas de plomo sale notablemente alto, lo que significa que podemos utilizar moldes más grandes, para piezas de mayor resistencia.

ROSCA DEL TORNILLO:

La rosca del tornillo puede fallar por cortante en su diametro menor, o por aplastamiento de su sección transversal.

FALLA POR CORTANTE:

Vmos a suponer que la carga está distribuida uniformemente a lo largo de la altura h del manguito (figura 4.11) y que los hilos de la rosca del tornillo fallarán por cortante sobre su diametro menor.

En vista de estas suposiciones se deberá usar factores de seguridad grandes , n>2.

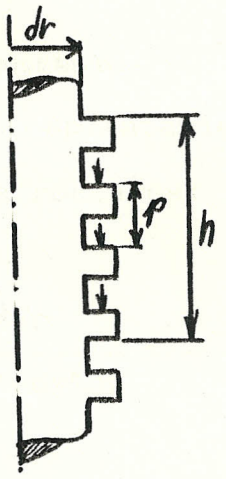


FIGURA 4.11 ESFUERZO CORTANTE EN EL TORNILLO

Entonces el esfuerzo cortante medio en la rosca es:

$$\tau = \frac{F}{Ac} = \frac{2F}{\pi drh} = \frac{2(300)}{\pi(26E-3)(50E-3)} = 147kPa$$

La resistencia a la fluencia en cortante para un acero G10500 HR, es:

$$Ssy = 0.577y = 0.577(338) = 195MPa$$

El factor de seguridad para falla estática de la rosca por cortante puro, será:

$$\tau = \frac{Ssy}{n} \equiv n = \frac{Ssy}{\tau} = \frac{195E3}{147} \approx 1300 >> 2$$

FALLA POR APLASTAMIENTO:

El esfuerzo de aplastamiento en la sección transversal de la rosca es:

$$\sigma = -\frac{F}{A} = -\frac{4Fp}{\pi(d^2-dr^2)h} = -\frac{4(300)(4E-3)}{\pi(30E-3^2-26E-3^2)(50E-3)}$$

$$\sigma = -136\ kPa$$

El factor de seguridad para que la rosca no falle por aplastamiento, es:

$$\sigma = \frac{Sy}{n} \equiv n = \frac{Sy}{n} = \frac{338E3}{16} \approx 2400 >> 2$$

ROSCA DEL MANGUITO:

El esfuerzo cortante en la rosca del manguito es menor que el esfuerzo cortante en la rosca del tornillo, porque la fuerza cortante se distribuye en un area mayor.

Pero la resistencia del manguito (Sy=70MPa) es menor que la resistencia del tornillo, con lo que no tenemos la certeza de que no fallará.

Apesar de que la rosca del tornillo tiene factores de seguridad bastante altos, vamos a calcular a continuación también los factores de seguridad para falla estática de la rosca del manguito.

FALLA POR CORTANTE:

El esfuero cortante en la rosca del manguito tomando las mismas asunciones hechas para la rosca del tornillo, será:

$$\tau = \frac{F}{Ac} = \frac{2F}{\pi dh} = \frac{2(300)}{\pi(30E-3)(50E-3)} = 127kPa$$

La resistencia a la fluencia al cortante para el bronce comercial C22000 suave en varilla, es:

$$Ssy = 0.577Sy = 0.577(70) = 40MPa$$

Entonces el factor de seguridad será aproximadamente:

$$\tau = \frac{Ssy}{n} \equiv n = \frac{Ssy}{\tau} = \frac{40E6}{127} \approx 315 >> 2$$

FALLA POR APLASTAMIENTO:

El esfuerzo de aplastamiento en la rosca del manguito es el mismo del tornillo, el factor de seguridad contra falla estática por aplastamiento en la rosca del manguito es:

$$\sigma = \frac{Sy}{n} \equiv n = \frac{Sy}{\sigma} = \frac{70E3}{136} \approx 515 >> 2$$

4.4.2 MUELLES

Como en nuestro mercado es muy dificil conseguir resortes por catálogo y fabricarlos en nuestro medio no es muy caro, los vamos a diseñar de acuerdo a los requerimientos de la máquina.

El diseño se hará para una vida infinita, con una confiabilidad del 99%.

MUELLE DEL CARRO:

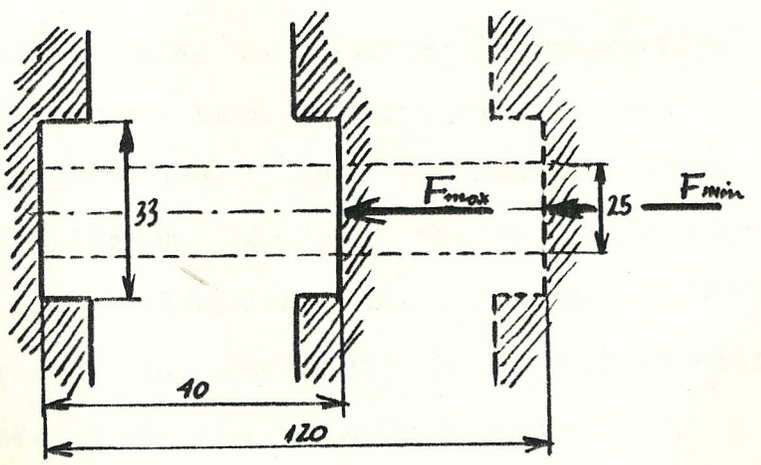


FIGURA 4.12 POSICIONES DEL CARRO

El resorte para que funcione bien deberá tener una precarga y cuando se encuentre en la posición de inyección deberá ejercer una fuerza de por lo menos 100N para que el metal fundido no se salga de la superficie del molde por capilaridad.

Material	Intervalo de calibres, pulg	Intervalo de calibres, mm	Exponente, m	Constante, A kpsi	Constante, A MPa
Alambre para cuerda musical[a]	0.004 – 0.250	0.10 – 6.5	0.146	196	2170
Alambre revenido en aceite[b]	0.020 – 0.500	0.50 – 12	0.186	149	1880
Alambre estirado duro[c]	0.020 – 0.500	0.70 – 12	0.192	136	1750
Al cromo vanadio[d]	0.032 – 0.437	0.80 – 12	0.167	169	2000
Al cromo silicio[e]	0.063 – 0.375	1.6 – 10	0.112	202	2000

[a] La superficie es lisa, no tiene defectos y con brillante acabado lustroso.
[b] Tiene una ligera capa, proveniente del tratamiento térmico, que debe quitarse antes de aplicar recubrimiento.
[c] La superficie es lisa y brillante, sin marcas visibles.
[d] Alambre revenido de calidad para aviones; también puede obtenerse recocido.
[e] Revenido a Rockwell C49, pero también puede obtenerse sin revenir.

TABLA I CONSTANTES PARA ESTIMAR LA RESISTENCIA A LA TENSION DE ALGUNOS ACEROS PARA RESORTES

Vamos a usar un resorte de compresión helicoidal de alambre para instrumento músical de 2.5mm de diametro, con los extremos encuadrados y esmerilados. De la figura 4.12 vemos que el diametro exterior del resorte para que pueda trabajar adecuadamente en el alojamiento de 33mm, debe tener unos 31mm de diametro.

Como no conocemos todavía la longitud libre del resorte para produsca una precarga de 10N, asumiremos primero que tiene 17 espiras.

Entonces de la tabla I, m=0.146 y A=2170MPa para el alambre de música, hallaremos la resistencia última a la tensión de la ecuación siguiente:

$$Sut = \frac{A}{d^m} = \frac{2170}{(2.5)^{0.146}} = 1898.3MPa$$

La resistencia a la fluencia es aproximadamente un 75% de la resistencia última a la tensión, además la resistencia a la fluencia a la torsión por Von Mises es aproximadamente 57.7% de la resistencia a la fluencia en tensión:

$$Ssy = 0.75(0.577)(1898.3) = 821.5MPa$$

El diametro medio del resorte es:

$$D = DE-d = 31-2.5 = 28.5mm$$

El índice de resorte es:

$$C= \frac{D}{d} = \frac{28.5}{2.5} = 11.4$$

El factor de Wahl que corrige directamente por curvatura es:

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.165}{C} = \frac{4(11.4)-1}{4(11.4)-4} + \frac{0.165}{11.4} = 1.13$$

El límite de resistencia a la fatiga para resortes no graneados es S´se = 310MPa. Este valor ya está corregido por por tamaño y acabado se superficie. A este valor sólo es necesario corregirlo por confiabilidad, pués por concentración de esfuerzos ya fué corregido antés el factor de Wahl.

Entonces el límite de resistencia a la fatiga es:

$$Sse = kc\ S´se = 0.814(310) = 252.34MPa$$

Como tenemos fuerzas fluctuantes con caga muerta, la fuerza minima es distinta de cero y el esfuerzo amplitud y medio será:

$$Fa = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{100-10}{2} = 45N$$

$$Fm = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{100+10}{2} = 55N$$

Los esfuerzos amplitud y medio para entrar al gráfico de Goodman son:

$$\tau a = K \frac{8FaD}{\pi d^3} = \frac{1.13(8)(45)(28.5E-3)}{\pi(2.5E-3)^3} = 236.2MPa$$

$$\tau m = K \frac{8FmD}{\pi d^3} = \frac{1.13(8)(55)(28.5E-3)}{\pi(2.5E-3)^3} = 288.7MPa$$

De la figura 4.13 podemos ver que el factor de seguridad contra una falla por fatiga es:

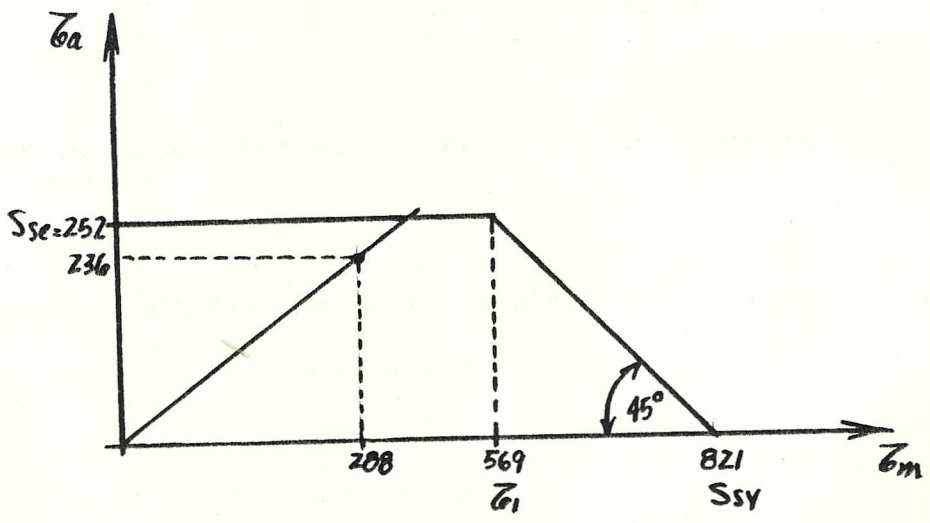
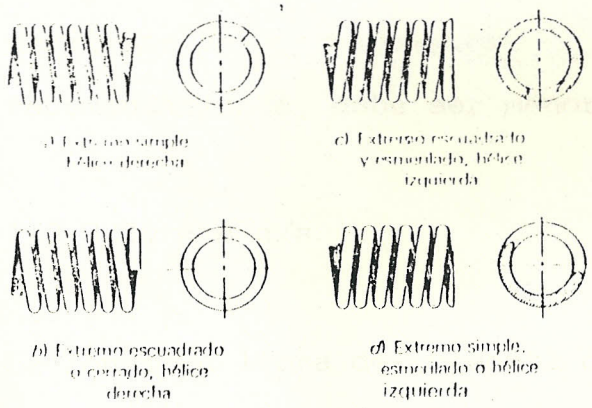


FIGURA 4.13 DIAGRAMA DE FATIGA PARA ESFUERZO TORCIONAL ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS

$$n = \frac{Sse}{\tau a} = \frac{252.34}{236.2} = 1.1$$

Como los extremos son escuadrados y esmerilados, de la figura 4.14 hallamos que ND=2, entonces el número de espiras activas es:

$$N = NT-ND = 17-2 = 15$$



Tipos de extremos de resortes de compresión: *a*) ambos extremos simples, $N_D = \frac{1}{2}$; *b*) ambos extremos cerrados, $N_D = 1$; *c*) ambos extremos cerrados y aplanados, $N_D = 2$; *d*) ambos extremos simples y aplanados, $N_D = 1$.

FIGURA 4.14 TIPOS DE EXTREMOS DE RESORTES DE COMPRESION

Usando G=79.3E9 Pa, la constante del resorte se evalúa mediante la ecuación:

$$k = \frac{d^4G}{8D^3N} = \frac{(2.5E-3)^4(79.3E9)}{8(28.5E-3)^3(15)} = 1115N/m$$

Aplicando e = 76.5kN/m^3 en la siguiente ecuación, encontramos el peso del resorte:

$$W = \frac{\pi^2 d^2 e}{4} = \frac{\pi^2 (2.5E-3)^2 (28.5E-3)(15)(76.5E3)}{4} = 0.5N$$

La frecuencia critica por lo tanto es:

$$f = \frac{1}{2}\sqrt{(kg/W)} = \frac{1}{2}\sqrt{((1115)(9.81)/(0.5))} = 73.9c/s$$

La frecuencia operacional para que no se produzcan problemas de resonancia de acuerdo a recomendaciones, debe ser menor de:

$$173.9/20 \approx 4\ c/s$$

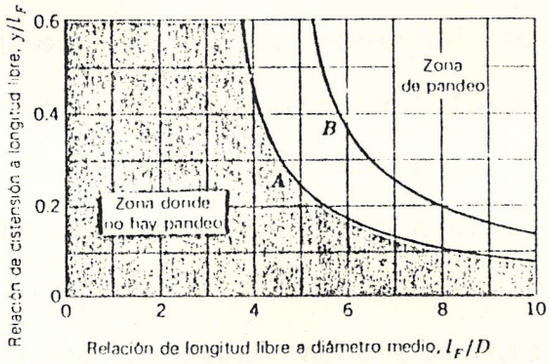
La longitud libre del resorte deberá ser:

$$Ymin = \frac{Fmin}{k} = \frac{10}{1115} = 9mm$$

$$Ymax = \frac{Fmax}{k} = \frac{100}{1115} = 90mm$$

$$h = d\ NT = 17(2.5) = 42.5mm$$

$$Lf = 90+42.5 \approx 130mm$$



Curvas que indican cuándo puede producirse pandeo en resortes helicoidales de compresión. Ambas curvas son para resortes con extremos cerrados y aplanados. Para la curva *A*, un extremo del resorte se comprime contra una superficie plana y el otro contra una redondeada. Para la curva *B* ambos extremos del resorte se comprimen contra superficies planas y paralelas.

FIGURA 4.15 CURVAS QUE INDICAN CUANDO PUEDE PRODUCIRSE PANDEO EN RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESION

Como los extremos son cerrados y esmerilados podemos aplicar la figura 4.15, para predecir si ocurrirá pandeo o no:

y/Lf = 90/130 = 0.69

Lf/D = 130/28.5 = 4.56

Entrando con estos dos parámetros, se ve claramente en la curva B que para extremos apoyados sobre superficies planas y paralelas no ocurrirá falla por pandeo.

MUELLE GUIA DEL CORTADOR:

La fuerza necesaria para cerrar bien el cortador debe ser de por lo menos 5N (precarga) y cuando el cortador está totalmente abierto deberá ejercer una fuerza de no más de 12N, para no tener que consumir mucha energía para retroceder el carro.

Para que funcione adecuadamente en su alojamiento interior escojeremos un resorte con DI=15.5mm.

El resorte será helicidal de alambre para instrumento músical de 1mm de diametro, con los extremos encuadrados y esmerilados, además 15 espiras en total.

El diametro medio del resorte entonces será:

$$D = DI+d = 15.5+1 = 16.5mm$$

Y el índice del resorte será:

$$C = \frac{D}{d} = \frac{16.5}{1} = 16.5$$

El factor de corrección de Wahl al igual que en el

resorte del carro lo calculamos de:

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.165}{d} = \frac{4(16.5)-1}{(16.5)-4} + \frac{0.165}{16.5} = 1.06$$

La resistencia a la fluencia a la torsión o cortante, de la misma manera como se procedio para el muelle del carro es:

$$Sut = \frac{A}{d^m} = \frac{2170}{(1)^{0.146}} = 2170MPa$$

$$Ssy = 0.75(0.577)(2170) = 940MPa$$

La límite de resistencia a la fatiga para resortes no graneados es S´se = 310MPa.

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$Sse = kcSse = 0.814(310) = 252.34MPa$$

Como tenemos fuerzas fluctuantes con carga muerta, la fuerza mínima es distinta de cero y el esfuerzo amplitud y medio será:

$$Fa = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{6-2.5}{2} = 1.75N$$

$$Fm = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{6+2.5}{2} = 4.25N$$

Los esfuerzos amplitud y medio para entrar al gráfico de Goodman son:

$$\tau a = K\frac{8FaD}{\pi d^3} = \frac{1.06(8)(1.75)(16.5E-3)}{\pi(1E-3)^3} = 78MPa$$

$$\tau m = K\frac{8FmD}{\pi d^3} = \frac{1.06(8)(4.25)(16.5E-3)}{\pi(1E-3)^3} = 189MPa$$

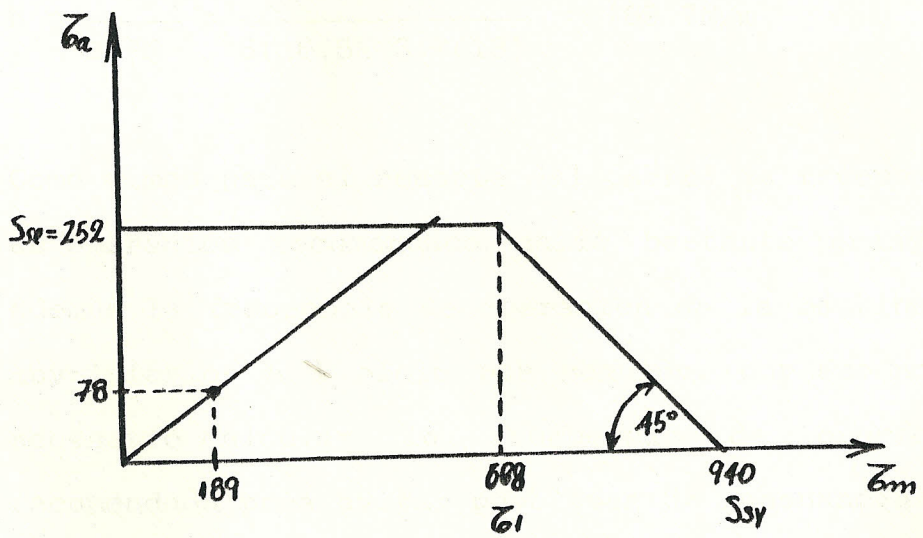


FIGURA 4.16 DIAGRAMA DE FATIGA PARA EL ESFUERZO TORSIONAL ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS

De la figura 4.16 podemos ver que el factor de seguridad contra una falla por fatiga es:

$$n = \frac{Sse}{\tau a} = \frac{252.34}{78} = 3.2$$

Como los extremos son escuadrados y esmerilados, de la figura 4.14 hallamos que ND=2, entonces el número de espiras activas es:

$$N = NT-ND = 15-2 = 13$$

Usando G=79.3E9 Pa, la constante del resorte se evalúa mediante la ecuación:

$$k = \frac{d^4G}{8D^3N} = \frac{(1E-3)^4(79.3E9)}{8(16.5E-3)^3(13)} = 169.7N/m$$

Como vimos para el resorte del carro, la frecuencia de operación recomendada salió bastante grande y además la frecuencia de operación de la máquina es muy inferior a 1 ciclo por segundo, por eso no es necesario calcular la frecuencia de operación recomendada para evitar problemas de resonancia.

La longitud libre del resorte para cumplir con los

requerimientos de fuerza y espacio necesitados será:

$$Ymin = \frac{Fmin}{k} = \frac{2.5}{169.7} = 15mm$$

$$Ymax = \frac{Fmax}{k} = \frac{6}{169.7} = 35mm$$

$$h = d\ NT = 1(15) = 15mm$$

$$Lf = 35+15 \approx 50mm$$

Como los extremos son cerrados y esmerilados podemos aplicar la figura 4.15, para predecir si ocurrirá pandeo o no:

$$y/Lf = 35/50 = 0.7$$

$$Lf/D = 50/16.5 = 3$$

Entrando con estos dos parametros se ve claramente en la curva B para extremos apoyados sobre superficies planas y paralelas que no ocurrirá falla por pandeo.

MUELLE DEL SEGUIDOR:

La fuerza necesaria para que el seguidor mantenga un buen contacto con la leva, venciendo el peso de los moldes más la fundición deberá ser una fuerza de unos 30N. Esto es cunado el seguidor está en su punto muerto superior donde la unica fuerza que tiene que vencer es el peso de la fundición y los moldes. Para el punto muerto inferior vamos a suponer que la fuerza en los resortes aumenta unos 10N.

Para que funcione adecuadamente en su alojamiento interior de 6mm, escojeremos un resorte con DI=14mm para evitar el pandeo.

El resorte será helicoidal de alambre para instrumento músical de 1.5mm de diametro, con los extremos encuadrados y esmerilados, además 6 espiras en total.

El diametro medio del resorte entonces será:

$D = DI+d = 14+1.5 = 15.5mm$

Y el índice del resorte será:

$$C = \frac{D}{d} = \frac{15.5}{1.5} = 10.3$$

El factor de corrección de Wahl al igual que en el resorte del carro lo calculamos de:

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.165}{C} = \frac{4(10.3)-1}{(10.3)-4} + \frac{0.165}{10.3} = 1.1$$

La resistencia a la fluencia a la torsión o cortante, de la misma manera como se procedio para el muelle del carro es:

$$Sut = \frac{A}{d^m} = \frac{2170}{(1.5)^{0.146}} = 2045MPa$$

$$Ssy = 0.75(0.577)(2045) = 885MPa$$

La límite de resistencia a la fatiga para resortes no graneados es S´se = 310MPa.

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$Sse = kcSse = 0.814(310) = 252.34MPa$$

Como tenemos fuerzas fluctuantes con carga muerta,

la fuerza mínima es distinta de cero y el esfuerzo amplitud y medio será:

$$Fa = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{40-30}{2} = 5N$$

$$Fm = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{40+30}{2} = 35N$$

Los esfuerzos amplitud y medio para entrar al gráfico de Goodman son:

$$\tau a = K\frac{8FaD}{\pi d^3} = \frac{1.1(8)(5)(15.5E-3)}{\pi(1.5E-3)^3} = 64MPa$$

$$\tau m = K\frac{8FmD}{\pi d^3} = \frac{1.1(8)(35)(15.5E-3)}{\pi(1.5E-3)^3} = 450MPa$$

De la figura 4.17 podemos ver que el factor de seguridad contra una falla por fatiga es:

$$n = \frac{Sse}{\tau a} = \frac{252.34}{64} = 3.9$$

Como los extremos son escuadrados y esmerilados, de

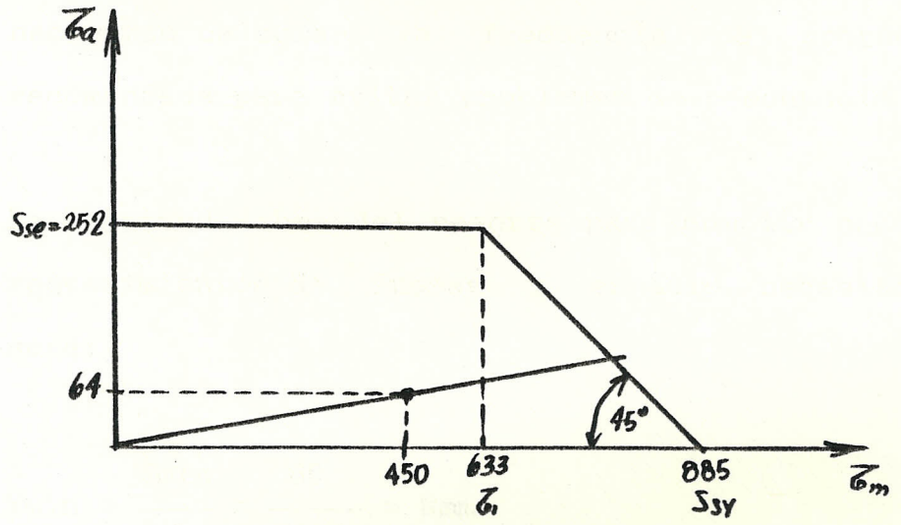


FIGURA 4.17 DIAGRAMA DE FATIGA PARA EL ESFUERZO TORSIONAL ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS

la figura 4.14 hallamos que ND=2, entonces el número de espiras activas es:

$$N = NT - ND = 6 - 2 = 4$$

Usando G=79.3E9 Pa, la constante del resorte se evalúa mediante la ecuación:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N} = \frac{(1.5E-3)^4(79.3E9)}{8(15.5E-3)^3(4)} = 3369 N/m$$

Como vimos para el resorte del carro, la frecuencia de operación recomendada salió bastante grande y además la frecuencia de operación de la máquina es muy inferior a 1 ciclo por segundo, por eso no es necesario calcular la frecuencia de operación recomendada para evitar problemas de resonancia.

La longitud libre del resorte para cumplir con los requerimientos de fuerza y espacio necesitados será:

$$Ymin = \frac{Fmin}{k} = \frac{30}{3369} = 9mm$$

$$Ymax = \frac{Fmax}{k} = \frac{40}{3369} = 12mm$$

$$h = d\ NT = 1.5(6) = 9mm$$

$$Lf = 26+9 \approx 35mm$$

Como los extremos son cerrados y esmerilados podemos aplicar la figura 4.15, para predecir si ocurrirá pandeo o no:

$$y/Lf = 12/35 = 0.3$$

$Lf/D = 35/15.5 = 2.3$

Entrando con estos dos parametros se ve claramente en la curva B para extremos apoyados sobre superficies planas y paralelas que no ocurrirá falla por pandeo.

MUELLE DEL CORTADOR:

La fuerza necesaria para que el cortador se apoye de una manera estanca sobre los moldes para el proceso de fundición, debe ser del orden de los 30N lo cual fué probado de una manera práctica. Y supongamos que cuando el cortador está en su posición de vibración inferior, el resorte lo presiona con una fuerza de 20N.

Para que funcione adecuadamente en su alojamiento interior de 10mm, escojeremos un resorte con DI=14mm, para evitar el pandeo.

El resorte será helicoidal de alambre para instrumento músical de 1.5mm de diametro, con los extremos encuadrados y esmerilados, además 6 espiras en total.

El diametro medio del resorte entonces será:

$$D = DI+d = 14+1.5 = 15.5mm$$

Y el índice del resorte será:

$$C = \frac{D}{d} = \frac{15.5}{1.5} = 10.3$$

El factor de corrección de Wahl al igual que en el resorte del carro lo calculamos de:

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.165}{C} = \frac{4(10.3)-1}{(10.3)-4} + \frac{0.165}{10.3} = 1.1$$

La resistencia a la fluencia a la torsión o cortante, de la misma manera como se procedio para el muelle del carro es:

$$Sut = \frac{A}{d^m} = \frac{2170}{(1.5)^{0.146}} = 2045MPa$$

$$Ssy = 0.75(0.577)(2045) = 885MPa$$

La límite de resistencia a la fatiga para resortes no graneados es S´se = 310MPa.

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$Sse = kc\ Sse = 0.814(310) = 252.34MPa$$

Como tenemos fuerzas fluctuantes con carga muerta, la fuerza mínima es distinta de cero y el esfuerzo amplitud y medio será:

$$Fa = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{30-20}{2} = 5N$$

$$Fm = \frac{Fmax-Fmin}{2} = \frac{30+20}{2} = 25N$$

Los esfuerzos amplitud y medio para entrar al gráfico de Goodman son:

$$\tau a = K\frac{8FaD}{\pi d^3} = \frac{1.1(8)(5)(15.5E-3)}{\pi(1.5E-3)^3} = 64MPa$$

$$\tau m = K\frac{8FmD}{\pi d^3} = \frac{1.1(8)(35)(15.5E-3)}{\pi(1.5E-3)^3} = 322MPa$$

De la figura 4.18 podemos ver que el factor de seguridad contra una falla por fatiga es:

$$n = \frac{Sse}{\tau a} = \frac{252.34}{64} = 3.9$$

Como los extremos son escuadrados y esmerilados, de la figura 4.14 hallamos que ND=2, entonces el

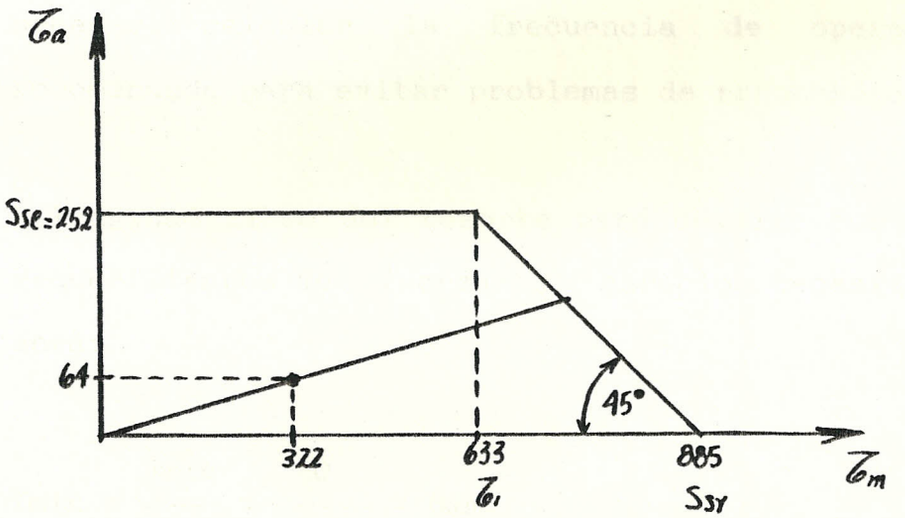


FIGURA 4.18 DIAGRAMA DE FATIGA PARA EL ESFUERZO TORSIONAL ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS

número de espiras activas es:

$$N = NT - ND = 6 - 2 = 4$$

Usando G=79.3E9 Pa, la constante del resorte se evalúa mediante la ecuación:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N} = \frac{(1.5E-3)^4(79.3E9)}{8(15.5E-3)^3(4)} = 3369 N/m$$

Como vimos para el resorte del carro, la frecuencia de operación recomendada salió bastante grande y además la frecuencia de operación de la máquina es

muy inferior a 1 ciclo por segundo, por eso no es necesario calcular la frecuencia de operación recomendada para evitar problemas de resonancia.

Lalongitud libre del resorte para cumplir con los requerimientos de fuerza y espacio necesitados será:

$$Ymin = \frac{Fmin}{k} = \frac{20}{3369} = 6mm$$

$$Ymax = \frac{Fmax}{k} = \frac{30}{3369} = 9mm$$

$$h = d\ NT = 1.5(6) = 9mm$$

$$Lf = 29+6 = 35mm$$

Como los extremos son cerrados y esmerilados podemos aplicar la figura 4.15, para predecir si ocurrirá pandeo o no:

$$y/Lf = 12/35 = 0.3$$

$$Lf/D = 35/15.5 = 2.3$$

Entrando con estos dos parametros se ve claramente

en la curva B para extremos apoyados sobre superficies planas y paralelas que no ocurrirá falla por pandeo.

Entonces usaremos para el cortador 2 resortes de las mismas características de los resortes para los seguidores, ahorrandonos un poco de dinero debido a que es más barato fabricar 6 resortes que 2.

4.4.3 LEVA

La leva va a estar sometida a una combinación de esfuerzos fluctuantes que propagarán cualquier fisura en su material y ocacionará fatiga.

Además la superficie de la leva también estará sometida a esfuerzos fluctuantes de rozamiento o contacto que producirán falla en la superficie por picadura.

Estos dos casos de falla: de la leva y de la superficie de la leva serán anlizados en forma independiente.

FATIGA POR FLEXION

La leva está sometida a esfuerzos de flexión fluctuantes debido a la fuerza que ejercen los seguidores sobre ella, y a esfuerzos de torsión fluctuantes también debido a los seguidores que ejercen un par resistente al movimiento.

Para tener una idea de el ordén de magnitud de los dos esfuerzos, haremos un analisis estático

utilizando el valor máximo de la fuerza de los seguidores como se muestra en el diagrama de cuerpo libre de la figura 4.19.

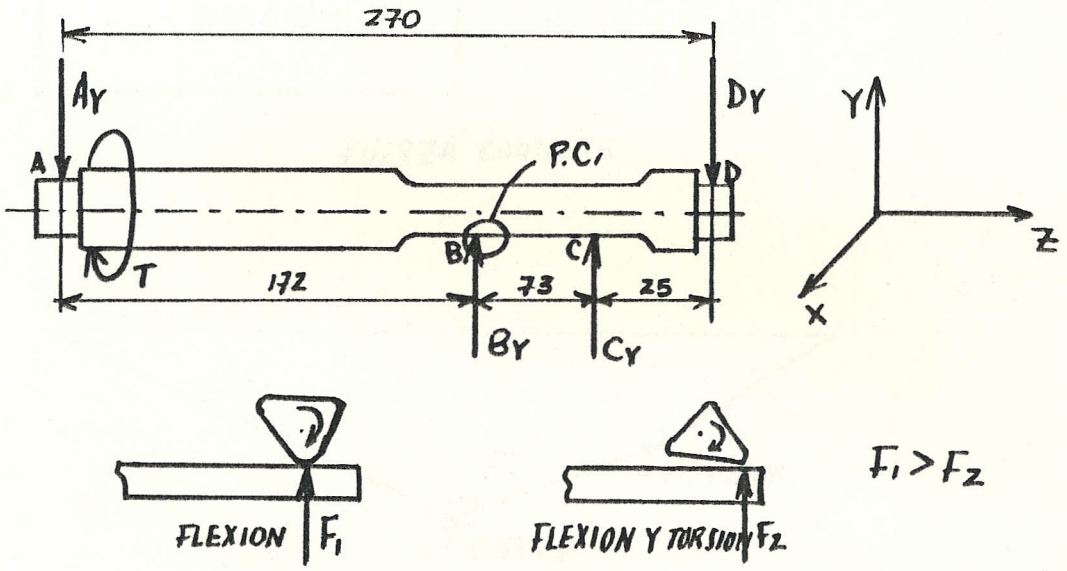


FIGURA 4.19 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA LEVA

$By_{max}=40N$

$Cy_{max}=40N$

$\circlearrowleft+\Sigma M_A=0$

$172(40)+245(40)-270Dy=0$

$Dy=61.8N$

$\uparrow+\Sigma Fy=0$

$-Ay+40+40-61.8=0$

$Ay=18.2N$

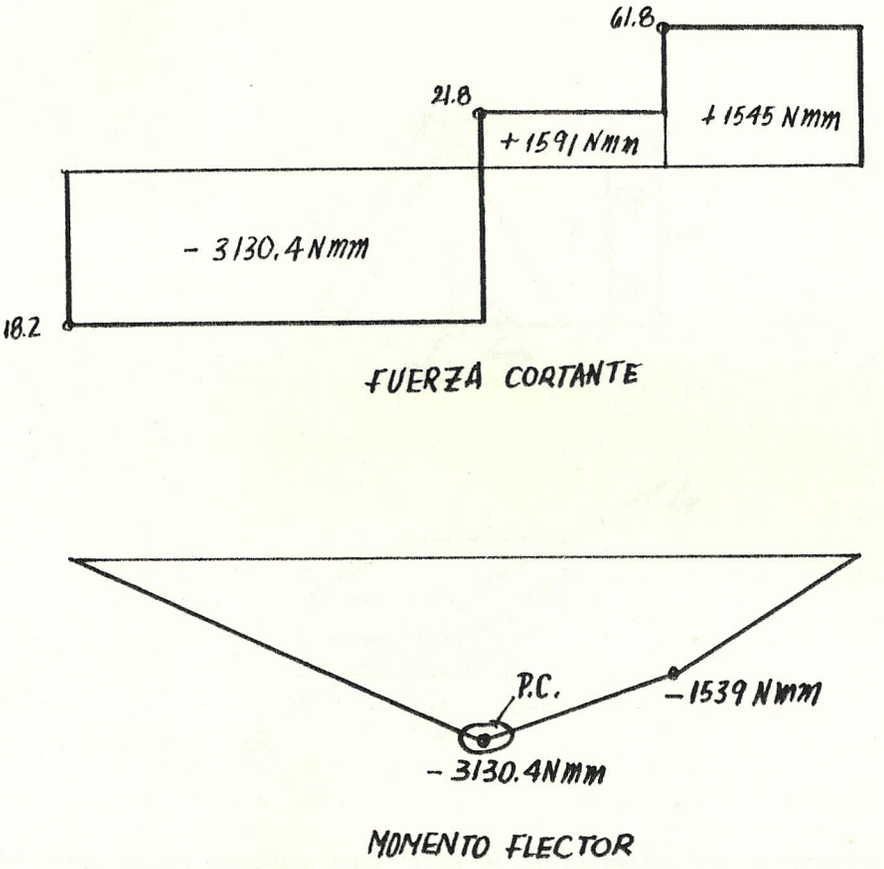
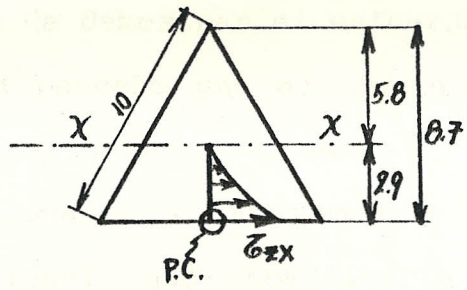


FIGURA 4.20 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLEXIONANTE DE LA LEVA

El esfuerzo máximo debido a la flexión es calculado a partir del momento máximo de flexión en la leva, para la posición crítica donde el esfuerzo torsional es máximo, como muestra la figura 4.21.

La figura 4.21 también muestra el diagrama de cuerpo libre de un elemento tridimencional correspondiente a la posición crítica de esfuerzos

combinados.



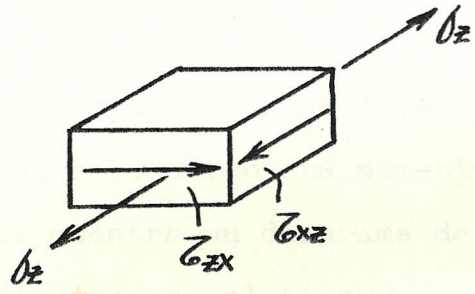


FIGURA 4.21 PUNTO CRITICO Y ELEMENTO DE ESFUERZOS

Mmax=3130.4Nm

$$Ix = \frac{bt^3}{36} = \frac{10(8.7)^3}{36} = 182.9mm^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I} = \frac{(3130.4E-3)(2.9E-3)}{182.9E-12} = 49.6MPa$$

$$T = 80(5) = 400Nmm$$

$$\tau_{max} = \frac{20T}{2b^2} = \frac{20(400E-3)}{2(10E-3)^2} = 40kPa$$

Como se acabo de demostrar el esfuerzo torsional es mil veces más pequeño que el esfuerzo de flexión, entonces el que gobernará nuestro diseño es el esfuerzo flexionante y no vamos a considerar el esfuerzo torsional que complicaría bastante el calculo de el factor de seguridad.

A continuación haremos el análisis de fatiga para la leva como si sólo estubierá sometida a flexión, la figura 4.22 muestra un diagrama de como varía el esfuerzo de flexión con el tiempo.

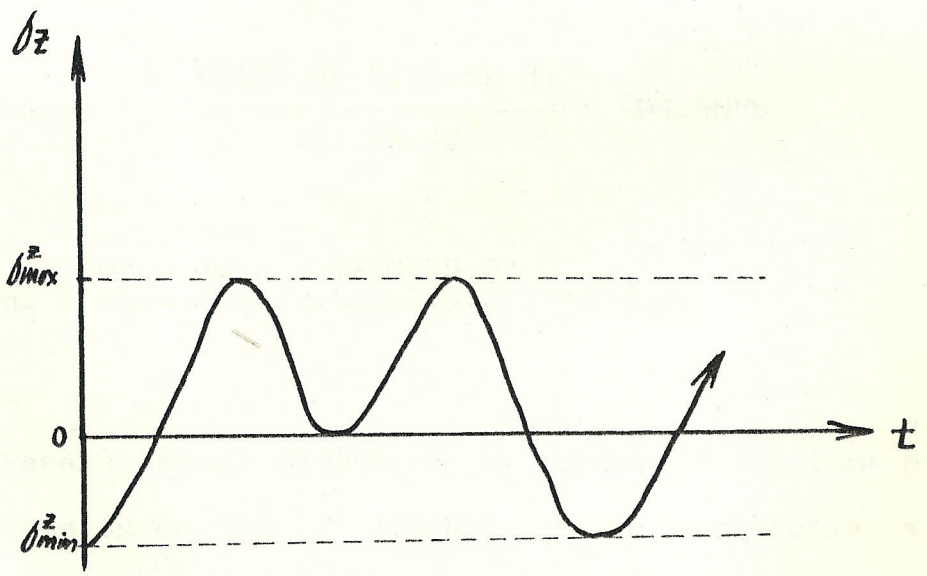


FIGURA 4.22 RELACION ESFUERZO TIEMPO PARA LA LEVA

Ahora como no consideraremos esfuerzos torsionantes nuestro punto crítico de máximo esfuerzo estará en el punto más alejado de la sección, es decir en las esquinas, cuando la leva se encuentre en su punto muerto inferior.

El esfuerzo mínimo de flexión se producirá en el punto opuesto a las esquinas cuando la leva se encuentra en su punto muerto inferior (fuerza máxima), donde el esfuerzo será positivo, porque es de tensión.

Entonces los esfuerzos medio y amplitud serán:

$$\sigma_{zmax} = \frac{MC}{I} = \frac{(3130.4E-3)(2.9E-3)}{182.9E-12} = 49.6MPa$$

$$\sigma_{zmin} = -\frac{(3130.4E-3)(5.8E-3)}{182.9E-12} = -99.3MPa$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{2} = \frac{49.6+99.3}{2} = 74.4MPa$$

Para un acero G10500 HR la resistencia última a la tensión es Sut = 620MPa, y la resistecia a la fluencia es Sy = 378MPa. Entonces la resistencia a

la fatiga para una viga rotatoria para aceros con Sut ≤ 1400MPa es:

$S'se = 0.5\ Sut = 0.5(620) = 310MPa$

El factor de corrección para acabado de superficie maquinado es ka = 0.75 de la figura 4.23.

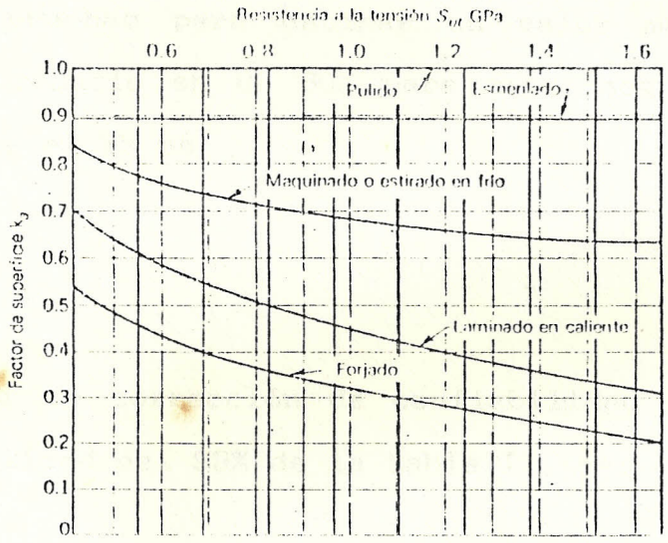


FIGURA 4.23 FACTORES DE MODIFICACION DE ACABADO SUPERFICIAL PARA EL ACERO

Para cargas de flexión el factor de corrección por tamaño y por carga kb, se lo calcula de:

$kb = 1.189\ d^{-0.097}$, para $8mm < d \leq 250mm$

donde d es la dimensión efectiva, que para un eje circular masiso es igual al diametro y como para nuestro caso no exixten pruebas experimentales para

poder determinarlo, usaremos el valor del diametro a partir del cual fué maquinado para tener una idea de por donde anda su valor, entonces kb es igual a:

$$kb = 1.189(15)^{-0.097} = 0.91$$

Como este valor es para una sección circular y no tenemos pruebas para estimar un valor más real, vamos a redurlo en un 30% para mayor seguridad es decir que el kb es:

$$kb = 0.6$$

El factor de corrección de confiabilidad para una confiabilidad del 99% de la tabla II, es:

$$kc = 0.814$$

Confiabilidad R	Variable estandarizada z_r	Factor de confiabilidad k_c
0.50	0	1.000
0.90	1.288	0.897
0.95	1.645	0.868
0.99	2.326	0.814
0.999	3.091	0.753
0.999 9	3.719	0.702

TABLA II FACTORES DE CORRECCION POR CONFIABILIDAD

El factor de concentración de esfuerzos lo vamos a estimar utilizando un diagrama de factores de

concentración de esfuerzos para un eje circular

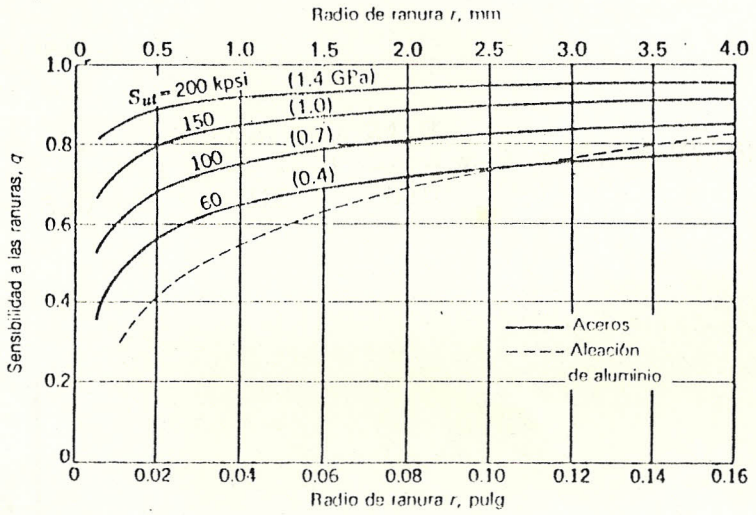


FIGURA 4.24 DIAGRAMA DE SENSIBILIDAD A LAS RANURAS PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGA FLEXIONANTE O AXIALES INVERTIDAS ALTERNATIVAMENTE

sometido a flexión. Para poder entrar al diagrama de la figura 4.25, D/d=1.07 y r/d=0.03, entonces:

Kt = 2

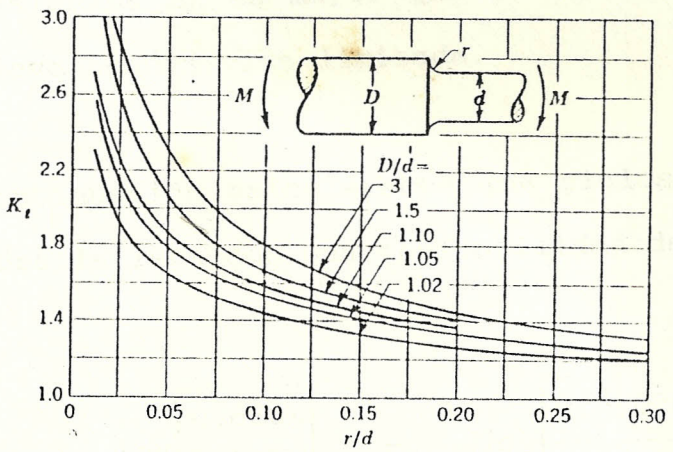


FIGURA 4.25 DIAGRAMA PARA FACTORES DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS

ordenadas en el diagrama de Goodman de la figura 4.25, para verificar si la leva tendrá vida limitada.

$$\frac{\sigma_a}{Sf} + \frac{\sigma_m}{620} = 1 \equiv \frac{74.4}{Sf} + \frac{24.8}{620} = 1 \equiv Sf = 77.5MPa$$

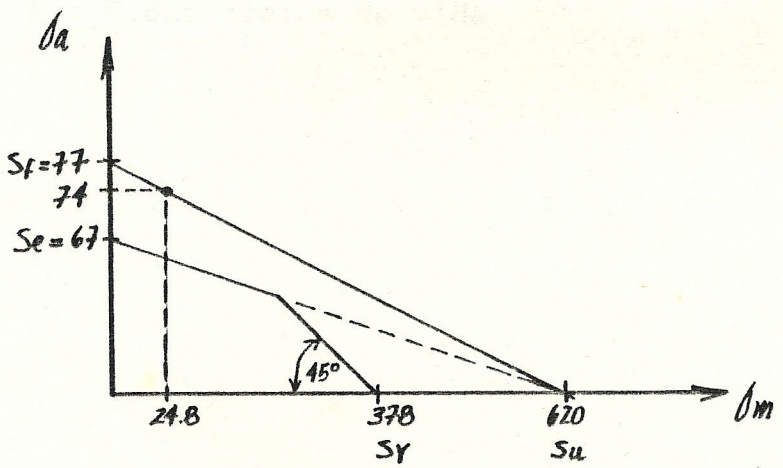


FIGURA 4.25 DIAGRAMA DE GOODMAN PARA LA LEVA

El valor de Sf es mayor que el de Se, por lo tanto la leva tendrá vida limitada.

A continuación calcularemos los ciclos de vida que tendrá la leva con una confiabilidad del 99%:

$$b = -\frac{1}{3}\log\left[\frac{0.8Sut}{Se}\right] = -\frac{1}{3}\log\left[\frac{0.8(620)}{67}\right] = -0.29$$

$$C = \log\left[\frac{(0.8Sut)^2}{Se}\right] = \log\left[\frac{(0.8*620)^2}{67}\right] = 3.56$$

$$N = 10^{-c/a}Sf^{1/b} = 10^{+3.56/0.29}Sf^{1/0.29} =$$

N = 5.8E5 ciclos de vida

FATIGA SUPERFICIAL:

Ahora vamos a considerar la posibilidad de falla por fatiga en la superficie debido a los esfuerzos de Herzt.

Para ácero el módulo de elasticidad es E=207 GPa, y la dureza Brinell para un ácero G10500 es HB=179.

Entonces la resistencia a la fatiga en la superficie para el caso del ácero se lo calcula facilmente de la siguiente ecuación:

$$Sc = 2.76HB-70 = 2.76(179)-70 = 424MPa$$

El factor de carga y esfuerzo de Buckingham es función de la resistencia a la fatiga en la superficie y de los modulos de elasticidad de los elementos en contacto. Se lo calcula de la ecuación siguiente:

$$K1 = 2.857Sc^2\left[\frac{1}{E1} + \frac{1}{E2}\right] = 2.857(424)^2(2/207E3) =$$

$$K1 = 4.96MPa$$

$$\frac{F}{W}\left[\frac{1}{r1}+\frac{1}{r2}\right]=\frac{40}{18E-3}\left[\frac{1}{\infty}+\frac{1}{9E-3}\right]=$$

$$=0.25MPa$$

El factor de seguridad contra falla por fatiga para que una vida de 10^8 ciclos lo encontramos de la expresión:

$$\frac{F}{W}\left[\frac{1}{r1}+\frac{1}{r2}\right]=\frac{K1}{n}\equiv n=\frac{K1}{\frac{F}{W}\left[\frac{1}{r1}+\frac{1}{r2}\right]}=$$

$$n=\frac{4.96}{0.25}=20.1$$

Lo que significa que no fallará hasta 10^8 ciclos.

4.4.4 SEGUIDORES

El seguidor como se muestra en la figura 4.26 está sometido a esfuerzos de flexión fluctuante por lo que se puede producir fatiga en la sección donde exista mayor concentración de esfuerzos y momento flexionante.

Pero también existe la posibilidad de falla por fatiga en la superficie al igual que en la leva debido a la presencia de los esfuerzos de Hertz, por lo tanto también tomaremos en cuenta esto en nuestro diseño.

FATIGA POR FLEXION:

A continuación se hayará el punto más crítico de esfuerzos a los cuales está sometido el seguidor y se hayarán los esfuerzos medio y amplitud para poder entrar al diagrama de Goodman y encontrar el factor de seguridad para que no falle.

Del diagrama de momento flector vemos que el momento máximo aplicado a el seguidor es Mmax=960 Nmm y constante entre las dos guías del seguidor.

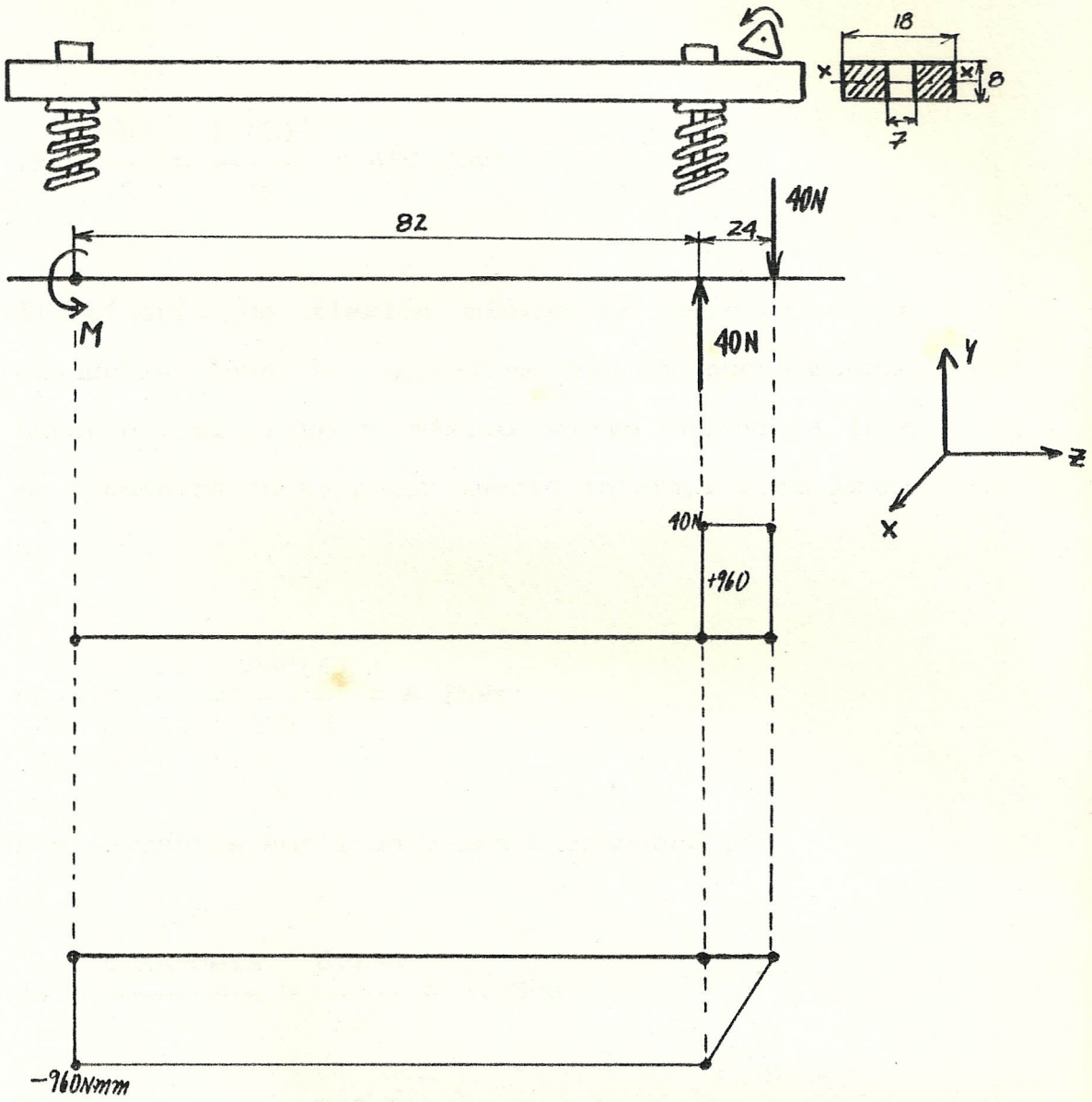


FIGURA 4.26 DIAGRAMAS DE CUERPO LIBRE, FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL SEGUIDOR

El momento de inercia de la sección donde se encuentra el agujero por donde pasa la guía del seguidor es:

$$Ix = \frac{bh^3}{12} = \frac{11(8)^3}{12} = 469.3mm^4$$

El esfuerzo de flexión mínimo es cero y sucede cuando la leva se encuentra en su punto muerto superior; el esfuerzo máximo ocurre cuando la leva se encuentra en su punto muerto inferior y es igual a:

$$\sigma_{max} = \frac{MC}{I} = \frac{960(4)}{469.3} = 8.2MPa$$

Los esfuerzos amplitud y medio entonces son:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{2} = \frac{8.2-0}{2} = 4.1MPa$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max}+\sigma_{min}}{2} = \frac{8.2+0}{2} = 4.1MPa$$

El límite a la fatiga para la probeta rotatoria de Moore de ácero G10500 con Sut=620MPa es:

S'_{se}= 0.5Sut = 0.5(620) = 310MPa, para Sut≤1400MPa

El factor de corrección por acabado superficial para el seguidor lo sacamos de la figura 4.23 y es

ka=0.90 para acabado rectificado.

El factor de corrección por tamaño y tipo de carga para carga de flexión está en función de la dimensión efectiva que para un rectangulo de 18x8 es igual a:

$$d = \sqrt{\left[\frac{0.05bh}{0.0766}\right]} = \sqrt{\left[\frac{0.05(18)(8)}{0.0766}\right]} = 9.7mm$$

El factor de corrección kb entonces es:

$$kb = 1.189d^{-0.097} = 0.95$$

Para una confiabilidad del 99% el factor de corrección por confiabilidad de la tabla II es kc=0.814.

La sensibilidad a la ranura del seguidor para un radio de curvatura r=3.5mm y Sut=620Mpa de la figura 4.24 es q=0.9.

El factor de concentración de esfuerzo sin reducción para una placa sometida a flexión con un agujero en la mitad, lo estimamos de la figura 4.27

para una placa sometida a tensión, y es Kt=1.7.

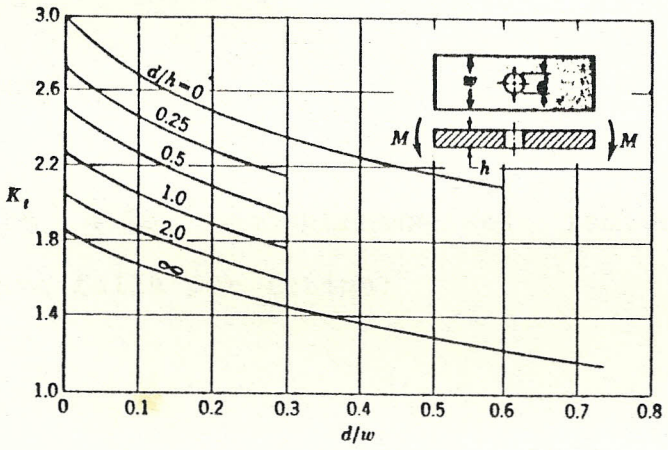


FIGURA 4.27 FACTORES DE CONCENTRACION DE ESFUERZO PARA PLACA SOMETIDA A FLEXION

El factor de concentración de esfuerzos reducido para fatiga es igual a:

$$Kf = 1+q(Kt-1) = 1+0.9(1.7-1) = 1.63$$

El factor de corrección por concentración de esfuerzos es entonces:

$$ke = 1/Kf = 1/1.63 = 0.61$$

Ahora el límite de fatiga corregido para el

seguidor será:

$S_{se} = k_a k_b k_c k_e \, S'_{se} = 0.9(0.95)(0.814)(0.61)(310) =$

$S_{se} = 131.6MPa$

De la figura 4.28, encontramos el factor de seguridad para falla por fatiga:

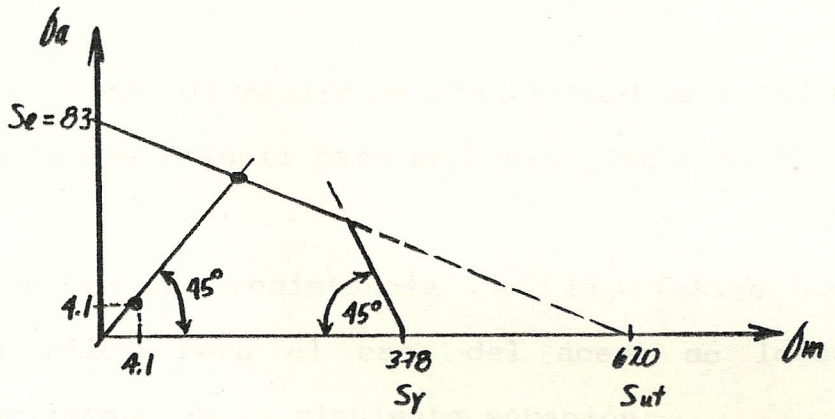


FIGURA 4.28 DIAGRAMA DE GOODMAN PARA ESFUERZOS FLUCTUANTES

$$\left[\begin{array}{l} \dfrac{\sigma a}{131.6} + \dfrac{\sigma m}{620} = 1 \\ \\ \sigma a = \sigma m \end{array}\right] \equiv \frac{\sigma a}{131.6} + \frac{\sigma a}{620} = 1 \equiv Sa=108.5MPa$$

$$n = \frac{S_a}{\sigma_a} = \frac{108.5}{4.1} = 26.5$$

Lo que significa que el seguidor tendrá vida infinita.

FATIGA SUPERFICIAL:

Ahora vamos a considerar la posibilidad de falla por fatiga en la superficie debido a los esfuerzos de Hertz.

Para ácero el módulo de elasticidad es E=207 GPa, y la dureza Brinell para un ácero G10500 es HB=179.

Entonces la resistencia a la fatiga en la superficie para el caso del ácero se lo calcula facilmente de la siguiente ecuación:

$$Sc = 2.76HB-70 = 2.76(179)-70 = 424MPa$$

El factor de carga y esfuerzo de Buckingham es función de la resistencia a la fatiga en la superficie y de los modulos de elasticidad de los elementos en contacto. Se lo calcula de la ecuación

siguiente:

$$K1 = 2.857Sc^2\left[\frac{1}{E1} + \frac{1}{E2}\right] = 2.857(424)^2(2/207E3) =$$

$$K1 = 4.96MPa$$

$$\frac{F}{W}\left[\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2}\right] = \frac{40}{18E-3}\left[\frac{1}{\infty} + \frac{1}{9E-3}\right] =$$

$$= 0.25MPa$$

El factor de seguridad contra falla por fatiga para que una vida de 10^8 ciclos lo encontramos de la expresión:

$$\frac{F}{W}\left[\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2}\right] = \frac{K1}{n} \equiv n = \frac{K1}{\frac{F}{W}\left[\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2}\right]} =$$

$$n = \frac{4.96}{0.25} = 20.1$$

Lo que significa que no fallará hasta 10^8 ciclos.

4.4.5 ACOPLES MOTOR

Los dos acoples de los motores elécticos son diferentes, debido principalmente al tamaño del eje que se acopla.

El acople utilizado para el motor principal es del tipo macho hembra, porque el tamaño del eje lo permitía y además esto permite un desacople rápido para poder dar mantenimiento al motor.

Este acople tiene un juego grande con el fin de corregir desalineamientos en el eje, que pueden producir vibraciones excesivas.

El acople del vibrador es del tipo pasador, a través de un prisionero alen que queda alojado dentro del eje de la leva.

Así mismo este acople tiene un juego grande de tal forma que los desalineamientos en los ejes pueda ser absorvido fácilmente.

ACOPLE MOTOR PRINCIPAL

El motor principal se encuentra acoplado a la transmisión de movimiento por medio de un acoplamiento macho-hembra.

La fuerza que necesita el piñon propulsor para mover la cadena y a su vez mover los tornillos, es aquella que puede vencer la fuerza de fricción de los tornillos.

En el diagrama de cuerpo libre de la figura 4.29 mostramos las fuerzas que actúan en el piñon y sus catalinas.

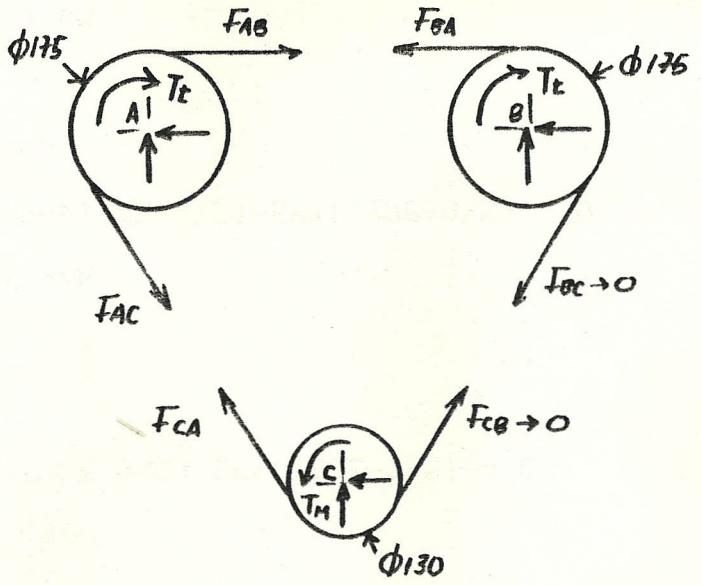


FIGURA 4.29 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE CATALINAS Y PIÑON

El torque resistor del tornillo fué calculado anteriormente y es Tt=0.64Nm.

La resistencia a la fluencia en cortante para un acero G10500 es Ssy=194.8MPa como lo calculamos anteriormente.

Haciendo una sumatoria de momentos para la catalina A y B, podemos calcular las fuerzas que actúan sobre el piñon C, de esta manera:

$+ \Sigma M_A = 0$

$-0.64-F_{AB}(175E-3/2)+F_{AC}(175E-3/2) = 0$

$F_{AC} = 14.6N$

$+ \Sigma M_B = 0$

$-0.64-F_{BC}(175E-3/2)+F_{BA}(175E-3/2) = 0$

$F_{AB} = 7.31N$

$+ \Sigma M_C = 0$

$Tm+F_{CB}(130E-3/2)-F_{CA}(130E-3/2) = 0$

$T_m = 0.95Nm$

Este es el torque que debe vencer el motor para mover el carro, con ayuda de esto lo

seleccionaremos posteriormente.

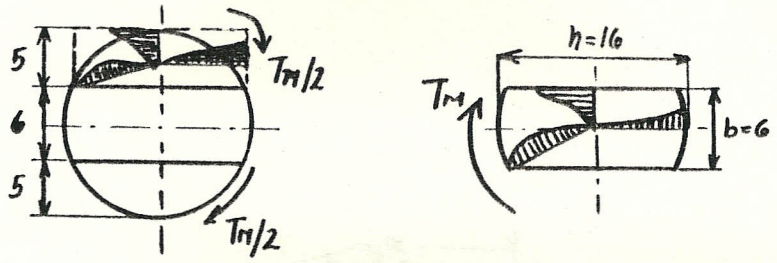


FIGURA 4.30 DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN EL ACOPLE

Los acoples están sometidos a esfuerzos torsores y la distribución de esfuerzos en sus geometrias no se encuentra en las literaturas consultadas, por eso vamos a asumir que las secciones son rectangulares y que el error que se produce al hacer esta asunción es pequeño.

El esfuerzo cortante máximo ocurre en la superficie del lado mayor y obviamente es cero en las esquinas como se ve en la figura 4.30. La magnitud del esfuerzo máximo del libro de IRVING página 194, es:

$$\tau \approx \left[\frac{15h+9}{5h^2 b^2} \right] T$$

La cuerda S de la figura 3.35, es la base del rectángulo análogo al acople hembra y es:

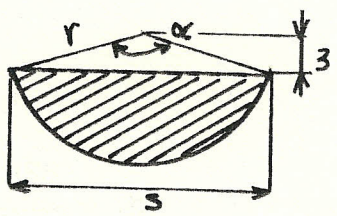


FIGURA 4.31 CUERDA DEL ACOPLE HEMBRA

$$h = r(1-\text{Cos}\ \alpha/2) \equiv 8(1-\text{Cos}\ \alpha/2) = 5$$

$$\alpha = 2\ \text{Cos}^{2}\ (1-5/8) = 34°$$

$$S = 2r\ \text{Sen}\ \alpha/2 = 2(8)\ \text{Sen}\ 68° = 14.8\text{mm}$$

Entonces el esfuerzo cortante máximo para el acople hembra y macho es:

$$\tau_1 \approx \left[\frac{15(14.8E-3)+9(5E-3)}{5(14.8E-3)(5E-3)^{2}}\right]\left[\frac{0.95}{2}\right] = 4.6\text{MPa}$$

$$\tau_2 \approx \left[\frac{15(16E-3)+9(6E-3)}{5(16E-3)(6E-3)^2} \right] 0.95 = 6.1MPa$$

Como son esfuersos cortantes puros y no hay esfuerzos fluctuantes el factor de seguridad para falla por fatiga del acople que soporta mayor esfuerzo es:

$$n = \frac{Ssy}{\tau_2} = \frac{194.8E6}{6.1E6} = 32$$

Lo que sisgnifica que ninguno de los dos acoples fallará.

ACOPLE MOTOR VIBRADOR

Los cálculos a continuación mostrados no considerán la posibilidad de falla en la leva por aplastamiento o por torsión, porque tiene mayor inercia que el eje del motor, y si diseñamos el eje del motor para que no falle es obvio que no fallará tampoco la leva.

EJE DEL MOTOR:

A continuación mostramos en la figura 4.32 el diagrama de cuerpo libre del eje del motor y del prisionero.

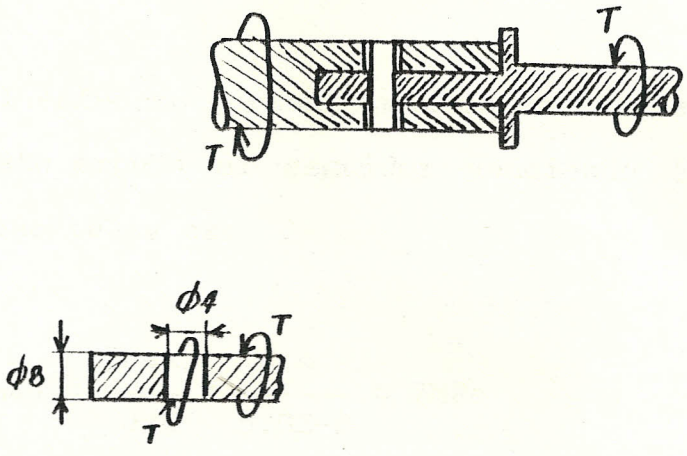


FIGURA 4.32 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE DEL MOTOR

Vamos a calcular primero el factor de seguridad para el eje del motor para verificar que no fallará ni por fatiga.

La resistencia última a la tensión para el material del eje del motor de acero G10500 es Sut=620.8MPa y la resistencia a la fluencia al cortante es Ssy=338MPa.

El modulo de la sección es:

$$J/C = \frac{\pi D^3}{16} - \frac{dD^2}{6} = \frac{\pi(8E-3)^3}{16} - \frac{(4E-3)(8E-3)^2}{6} =$$

$$J/C = 5.8E-8m^3$$

El esfuerzo cortante máximo en el eje ocurre cuando éste empuja al seguidor venciendo la presión del resorte, y es:

$$\tau_{max} = \frac{Tmax}{J/C} = \frac{0.4}{5.8E-8} = 7MPa$$

El esfuerzo cortante mínimo en el eje es cero puesto que en la posición de la leva PMS, el seguidor no ejerce presión sobre ésta. Así el

esfuerzo cortante mínimo es:

$$\tau_{min} = 0$$

Los esfuerzos amplitud y medio para encontrar el factor de seguridad, son:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2} = \frac{7}{2} = 3.5MPa$$

El factor de corrección por acabado superficial de la figura 4.23 es ka=0.78.

El factor de corrección por tamaño y por carga es kb=1, para un eje de diametro menor a 8mm.

El factor de corrección por confiabilidad para una confiabilidad del 99%, es kc=0.814 de la tabla II.

La sensibilidad a la ranura para un radio de curvatura de 4mm es q=0.79 de la figura 4.24, y el factor de concentración de esfuerzos para carga estática para una relación de d/D=0.5 es K_{ts}=2.8 de la figura 4.33. Entonces el factor de concentración de esfuerzos para carga fluctuante o de fatiga es:

$K_f = 1+q(K_{ts}-1) = 1+0.79(2.8-1) = 2.4$

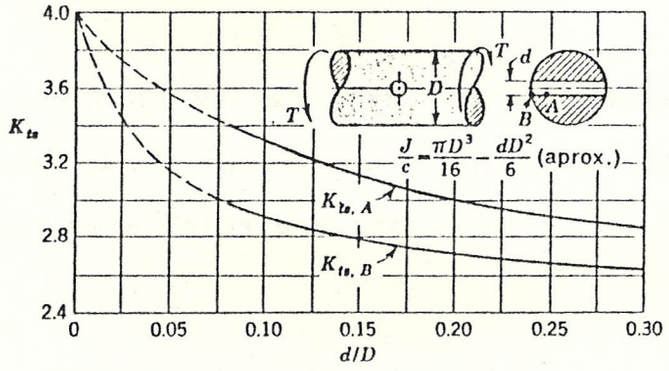


FIGURA 4.33 FACTORES DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS PARA BARRA CIRCULAR EN TORSION CON AGUJERO TRANSVERSAL

El factor de corrección por concentración de esfuerzos para el eje del motor es:

$ke = 1/Kf = 1/2.4 = 0.4$

El límite de fatiga para el ensayo de Moore es:

$S'_e = 0.5Sut = 0.5(620.8) = 310.4MPa$

El límite de fatiga al cortante corregido para nuestro eje es:

$S_e = kakbkcke\ S'_e = 0.78(0.814)(0.4)(310.4) =$

$S_e = 78.8MPa$

$S_{se} = 0.577S_e = 0.577(78.8) = 45.5MPa$

Del diagrama de fatiga para esfuerzo torsional de la figura 4.34 encontramos que el factor de seguridad para falla por fatiga es:

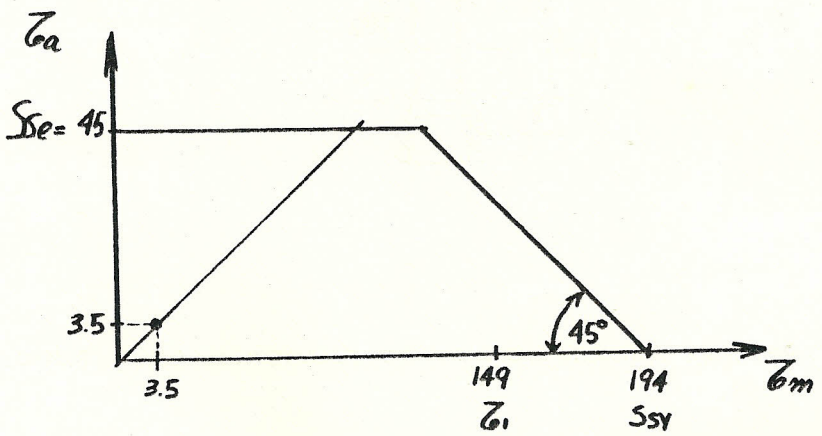


FIGURA 4.34 DIAGRAMA DE FATIGA PARA EL ESFUERZO TORSIONAL ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS.

$$n = \frac{Sse}{\tau_a} = \frac{45.5}{3.5} = 13$$

Es decir que tiene vida infinita con una confiabilidad del 99%.

PRISIONERO

La resistencia última a la tensión del prisionero grado metrico 4.6 es Sut=400MPa y la resistencia a la fluencia al cortante es Ssy=138.5MPa.

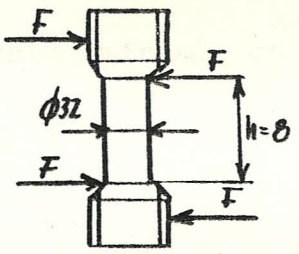


FIGURA 4.35 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL PRISIONERO

La fuerza cortante máxima que actúa sobre el prisionero, como se muestra en el diagrama de cuerpo libre de la figura 4.35, es:

$$Fmax = \frac{Tmax}{h} = \frac{400}{8} = 50N$$

El área mínima de la sección transversal del prisionero es:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(3.2E-3)^2}{4} = 8.04E-6\ m^2$$

El esfuerzo cortante máximo, es:

$$\tau_{max} = \frac{Fmax}{A} = \frac{50}{8.04E-6} = 6.2MPa$$

El esfuerzo cortante mínimo es cero como vimos anteriormente, entonces:

$$\tau_{min} = 0$$

Los esfuerzos amplitud y medio para encontrar el factor de seguridad, son:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2} = \frac{6.2}{2} = 3.1MPa$$

El factor de corrección para acabado superficial maquinado de la figura 4.23 es ka=0.78.

El factor de corrección por tamaño y por carga es kb=1, para un eje de diametro menor a 8mm.

El factor de corrección por confiabilidad para una

confiabilidad del 99%, es kc=0.814 de la tabla II.

La sensibilidad a la ranura para un radio de curvatura de 0.2mm es q=0.58 de la figura 4.24, y el factor de concentración de esfuerzos para carga estática es K_{ts}=1 porque el radio de curvatura es pequeño y además no exixte información para este estado de esfuerzos. Entonces el factor de concentración de esfuerzos para carga fluctuante o de fatiga es:

$$K_f = 1+q(K_{ts}-1) = 1+0.58(1-1) = 1$$

El factor de corrección por concentración de esfuerzos para el eje del motor es:

$$ke = 1/Kf = 1/1 = 1$$

El límite de fatiga para el ensayo de Moore es:

$$S'_e = 0.5Sut = 0.5(400) = 200MPa$$

El límite de fatiga al cortante corregido para nuestro eje es:

$$S_e = kakc\ S'_e = 0.78(0.814)(200) = S_e = 127MPa$$

$S_{se} = 0.577S_e = 0.577(127) = 73.3MPa$

Del diagrama de fatiga para esfuerzo torsional de la figura 4.36, encontramos que el factor de seguridad para falla por fatiga, que es:

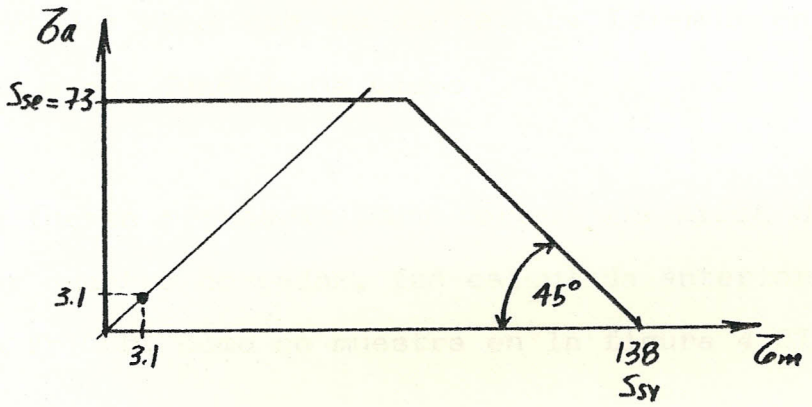


FIGURA 4.36 DIAGRAMA DE FATIGA PARA EL ESFUERZO TORSIONAL ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS.

$$n = \frac{Sse}{\tau_a} = \frac{73.3}{3.1} = 23.6$$

Es decir que tiene vida infinita con una confiabilidad del 99%.

4.4.6 CORTADOR

PLACA CORTADORA

El cortador debe estar diseñado para soportar el esfuerzo de aplastamiento que se genera al cortar la pieza fundida.

Para nuestro cálculo del factor de seguridad de el cortador para que no falle, lo haremos en base a una pieza fundida de plomo.

La fuerza necesaría para cortar una pieza de plomo por nuestro cortador, fué calculada anteriormente y es F=100N, como se muestra en la figura 4.37.

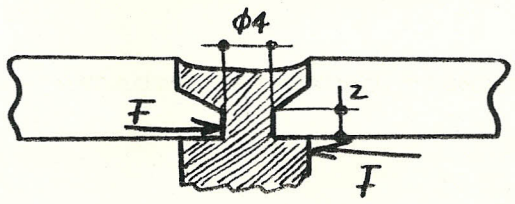


FIGURA 4.37 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE EL CORTADOR

El cortador está hecho de un material G10500 con un Sut=620.8MPa y un Sy=338MPa.

El esfuerzo máximo de aplastamiento será:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} = \frac{100}{(2E-3)(4E-3)} = 12.5MPa$$

$$\sigma_{min} = 0$$

En la figura 4.38 se muestra la relación esfuerzo tiempo para el cortador. Como se puede ver se producen esfuersos repetitivos no sinusoidales.

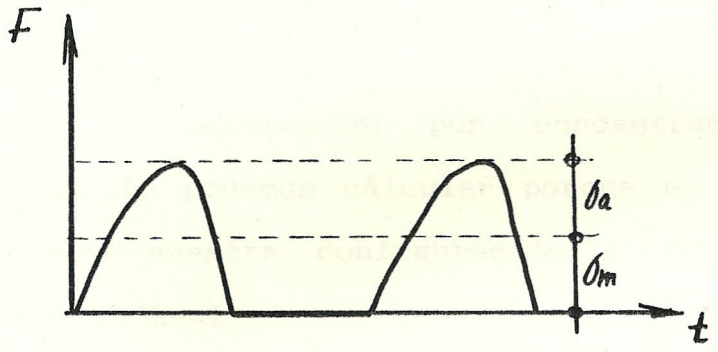


FIGURA 4.38 RELACION ESFUERZO TIEMPO PARA EL CORTADOR

Los esfuerzos medio y amplitud tendrán igual magnitud porque son esfuerzos repetitivos, son iguales a:

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2} = \frac{12.5}{2} = 6.25MPa$$

La resistencia a la fatiga sin corregir es:

$S'_e = 0.5Sut = 0.5(620.8) = 310.4MPa$

El factor de corrección por acabado de superficie pulido, de la figura 4.23, es ka=0.78.

El factor de corrección por tamaño y tipo de carga es kb=0.60 para carga axial pura sin pruebas.

El factor de corrección por confiabilidad para una confiabilidad del 99% es kc=0.814 de la tabla II.

El factor de corrección por concentración de esfuerzo no lo podemos cálcular porque no existen pruebas para nuestra configuración geométrica, y asumiremos un ke=1.

Entonces el límite de la resistencia a la fatiga corregido es:

$S_e = kakbkcke\ S'_e = 0.78(0.6)(0.814)(310.4) =$

$S_e = 118.2MPa$

El factor de seguridad lo encontramos con la ayuda del diagrama de Goodman y es:

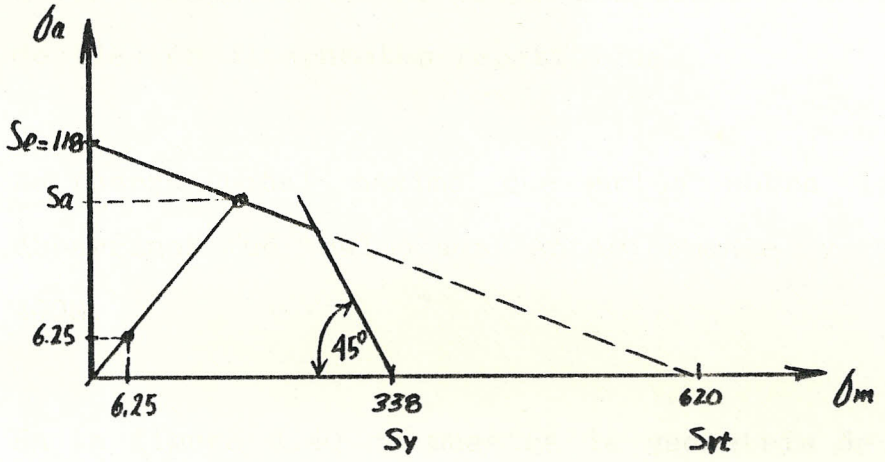


FIGURA 4.39 DIAGRAMA DE GOODMAN PARA ESFUERZO AXIAL ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS

$$\frac{\sigma_a}{118.2} + \frac{\sigma_m}{620.8} = 1 \equiv \frac{\sigma_a}{118.2} + \frac{\sigma_a}{620.8} = 1 \equiv S_a = 99.3 MPa$$

$$\sigma_a = \sigma_m$$

$$n = \frac{S_a}{\sigma_a} = \frac{99.3}{6.25} = 15.9$$

Lo cual nos da la seguridad de que no fallará.

ESPARRAGOS

Estos elementos van a estar sometidos a esfuerzos de flexión alternantes repetitivos.

La fuerza total máxima que actúa sobre los dos esparragos fué cálculada anteriormente y es de 400N.

En la figura 4.40 se muestra la geometría de estos elementos.

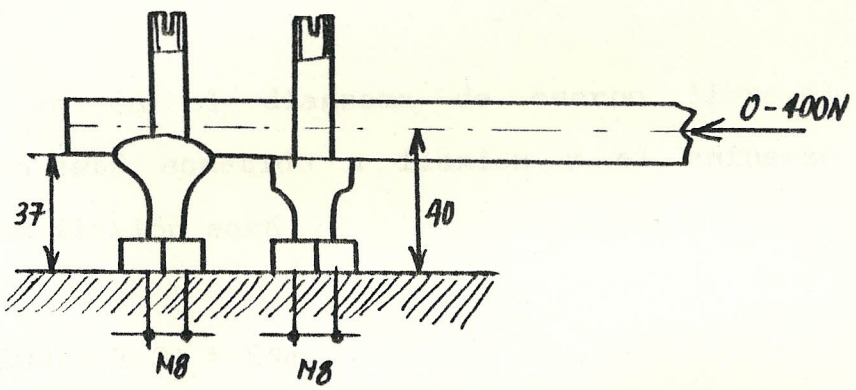


FIGURA 4.40 GEOMETRIA DE LOS ELEMENTOS

Ahora asumiendo que la carga se reparte uniformemente, la carga que soporta cada esparrago será de 200N, como se muestra en la figura 4.41.

El material es un acero G10500 con un Sut=620.8MPa y un Sy=338MPa.

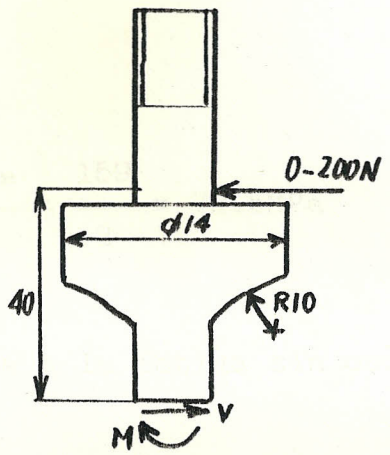


FIGURA 4.41 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE UN ESPARRAGO

Como se ve en el diagrama de cuerpo libre el esparrago está sometido a flexión y el esfuerzo máximo de flexión será:

$$Mmax = 200(40E-3) = 8Nm$$

$$Mmin = 0$$

$$\sigma_{max} = \frac{MmaxC}{I} = \frac{Mmax(64)}{2\pi d^4} = \frac{32Mmax}{\pi d^3} = \frac{32(8)}{\pi(8E-3)^3} = 159MPa$$

$$\sigma_{min} = 0$$

Los esfuerzos medios y amplitud para entrar a

Goodman son:

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2} = \frac{159}{2} = 79.5MPa$$

La resistencia a la fatiga sin corregir es:

$$S'_e = 0.5Sut = 0.5(620.8) = 310.4MPa$$

El factor de corrección para un acabado superficial maquinado es de la figura 4.23 ka=0.78.

El factor de corrección por tamaño y tipo de carga es kb=1, para diametros menores a 8mm.

El factor de corrección por confiabilidad para una confiabilidad del 99% es kc=0.814, de la tabla II.

La sensibilidad a la ranura para el elemento con menor radio de curvatura en su punto crítico de esfuerzos de la figura 4.24 es q≈1.

El factor de concentración de esfuerzos para carga estática para un D/d=1.75 y un r/d=10/8, de la figura 4.25, es Kt≈1.

Así el factor de corrección por concentración de esfuerzos queda ke≈1

Entonces el límite de fatiga para el elemento será:

$S_e = k_a k_b k_c k_e S'_e = 0.78(0.814)(310.4) = 197MPa$

Entrando al diagrama de Goodman el factor de seguridad, de la figura 4.42, es:

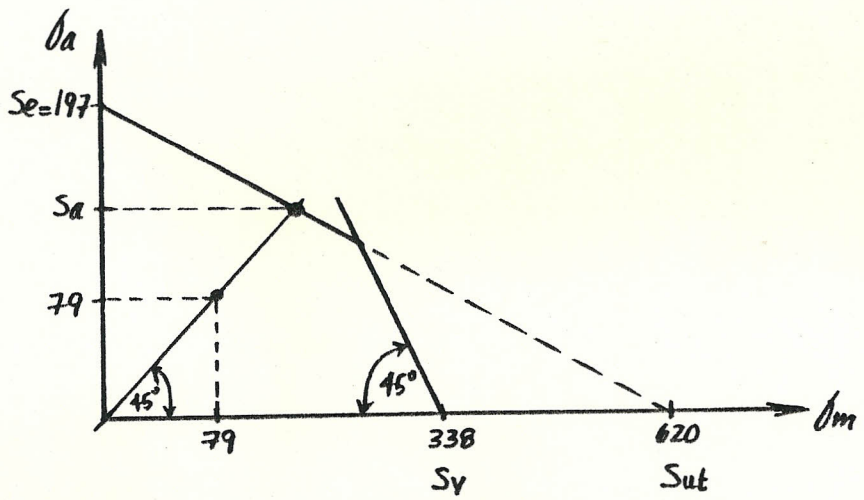


FIGURA 4.42 DIAGRAMA DE GOODMAN PARA ESFUERZO DE FLEXION ALTERNANTE Y MEDIO COMBINADOS

$$\left[\begin{array}{l} \dfrac{\sigma_a}{197} + \dfrac{\sigma_m}{620.8} = 1 \equiv \dfrac{\sigma_a}{197} + \dfrac{\sigma_a}{620.8} = 1 \equiv S_a = 149.5MPa \\ \\ \sigma_a = \sigma_m \end{array}\right.$$

$$n = \frac{S_a}{\sigma_a} = \frac{149.5}{79.5} = 1.9$$

Lo cual significa que no fallará.

4.5. SELECCION DE LOS ELEMENTOS MECANICOS ESTANDARIZADOS

A continuación presentaremos los cálculos para la selección de elementos que por fabricarse en forma estandar no requieren ser diseñados.

4.5.1 COJINETES

Los elementos mecánicos que giran, necesitan unos apoyos o cojinetes que soporten sus reacciones, sin desgastarlos. Para este propósito en mi diseño seleccionaré rodamientos adecuados para la leva, tornillos de potencia, y motor principal.

COJINETES DE LA LEVA:

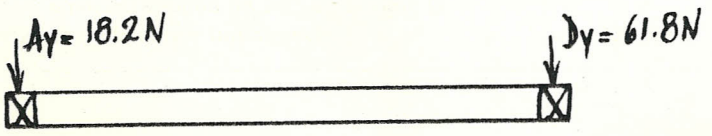


FIGURA 4.43 REACCIONES EN EL EJE DE LA LEVA

El factor de rotación es V=1, porque el anillo interior es el giratorio, además a=10/3.

La carga radial equivalente entonces es:

$$Fe = VFr = (1)(61.8) = 61.8N$$

La vida nominal para una máquina que trabaja 8 horas y se utiliza plenamente es en promedio LD=25 kh, de la figura 4.44.

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso infrecuente	Hasta 0.5
Motores de aviación	0.5-2
Máquinas de operación breve intermitente donde la interrupción de servicio es de importancia secundaria	4-8
Máquinas para servicio intermitente en que la operación confiable es de gran importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h que no siempre se utilizan plenamente	14-20
Máquinas para servicio de 8 h que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo de 24 h	50-60
Máquinas para servicio continuo de 24 h en las que la confiabilidad es de la mayor importancia	100-200

FIGURA 4.44 VIDAS DE COJINETES RECOMENDADAS PARA MAQUINARIA DIVERSA

El factor de aplicación de carga, para máquinas que operan con choques ligeros, es n=1.3 de la figura 4.45.

Tipo de aplicación	Factor de carga
Engranes de precisión	1.0-1.1
Engranes comerciales	1.1-1.3
Aplicaciones en que hay sellado deficiente de cojinetes	1.2
Máquinas que operan sin choques	1.0-1.2
Máquinas que operan con choques ligeros	1.2-1.5
Máquinas que operan con choques moderados	1.5-3.0

FIGURA 4.45 FACTORES DE APLICACION DE CARGA

Las pruebas de los cojinetes SKF se realizan para una vida nominal de 3000 horas a 500 rpm, es decir L_R=3000 hr y n_R=500 rpm.

La velocidad de giro del motor propulsor de la leva que vamos a utilizar (motor limpiaparabrisas de carro), es n_D=120 rpm, entonces la capacidad básica de carga es:

$$C = nFe\left[\frac{L_D}{L_R}\frac{n_D}{n_R}\right]^{3/10} = 1.3(61.8)\left[\frac{25}{3} * \frac{120}{500}\right]^{3/10} =$$

$$C = 99\ N$$

Para nuestro diámetro interior de diseño de 15 mm tenemos que seleccionar unos rodamientos de agujas (por las limitaciones de espacio que tenemos) que soporten una capacidad básica de carga de 100 N.
El rodamianto NA4903 de la FAG satisface muy bien estos requerimientos (se adjunta copia de catálogo en apéndice).

COJINETES DE LOS TORNILLOS DE POTENCIA:

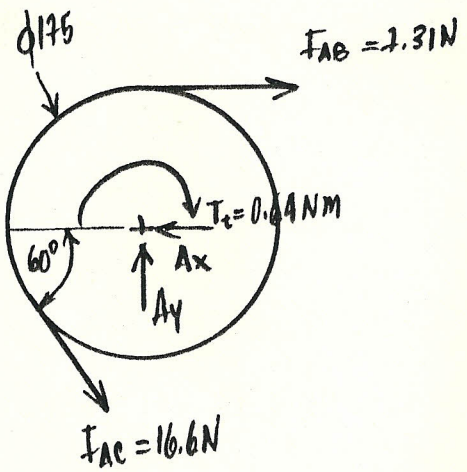


FIGURA 4.46 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA CATALINA

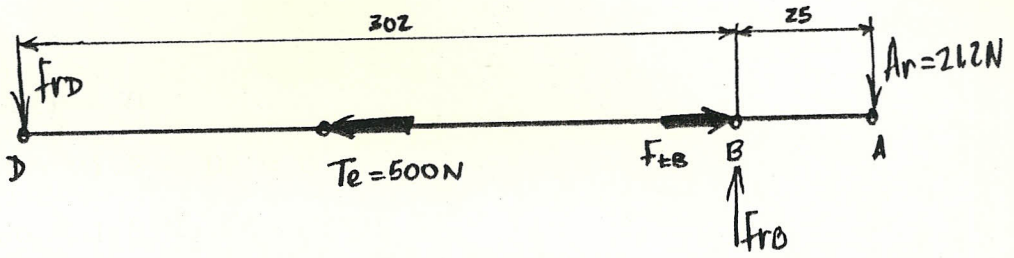


FIGURA 4.47 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL TORNILLO

Los cojinetes que seleccionaremos para los tornillos de potencia son del tipo cónico de ángulo pequeño, ya que ellos soportarán cargas radiales y axiales.

$\uparrow\downarrow \Sigma Fx = 0$

$7.31 + 16.6 \text{ Cos } 60° - Ax = 0$

$Ax = 15.61 \text{ N}$

$\uparrow\downarrow \Sigma Fy = 0$

$Ay - 16.6 \text{ Sen } 60° = 0$

$Ay = 14.4 \text{ N}$

$Ar = \sqrt{((15.61)^2+(14.4)^2)} = 21.2 \text{ N}$

$\circlearrowleft \Sigma M_D = 0$

$F_{rB}(302) - 21.2(327) = 0$

$F_{rB} = 23$ N

$\uparrow\downarrow \Sigma Fr = 0$

$23 - 21.2 - Dr = 0$

$F_{rD} = 1.8$ N

La relación de capacidad de carga radial del cojinete a la capacidad de carga axial, es K=1.5 para cojinetes radiales. Entonces las cargas radiales equivalentes son:

$$F_{eB} = 0.4F_{rB} + K_B\left[\frac{0.47F_{rD}}{K_D} + Te\right] =$$

$$F_{eB} = 0.4(23) + 1.5\left[\frac{0.47(1.8)}{1.5} + 500\right] = 760 \text{ N} \quad *$$

$$F_{eB} = 0.4F_{rD} + K_B\left[\frac{0.47F_{rB}}{K_B} - Te\right] =$$

$$F_{eB} = 0.4(1.8) + 1.5\left[\frac{0.47(23)}{1.5} - 500\right] = -738.5 \text{ N}$$

La vida nominal para una máquina que trabaja 8 horas y se utiliza plenamente es en promedio LD=25

kh, de la figura 4.44.

El factor de aplicación de carga, para máquinas que operan con choques ligeros, es n=1.3 de la figura 4.45.

Las pruebas de los cojinetes SKF se realizan para una vida nominal de 3000 horas a 500 rpm, es decir L_R=3000 hr y n_R=500 rpm.

La velocidad de giro del motor propulsor de los tornillos que vamos a utilizar (motor limpiaparabrisas de carro), es n_D=120 rpm, entonces la velocidad de giro de los tornillos debido a la reducción es 60 rpm, y la capacidad básica de carga es:

$$C = nFe\left[\frac{L_D}{L_R}\frac{n_D}{n_R}\right]^{3/10} = 1.3(760)\left[\frac{25}{3} * \frac{60}{500}\right]^{3/10} =$$

C = 988 N

Para nuestro diámetro interior de diseño de 17 mm tenemos que seleccionar unos rodamientos, que soporten una capacidad básica de carga de 1000 N.

El rodamiento 30203 de SKF satisface muy bien estos requerimientos (se adjunta copia de catálogo en apéndice).

4.5.2 RUEDAS DENTADAS Y CADENA

Las ruedas dentadas con que contamos son BROWNING, tienen 3/8 de ancho, una de 24 y dos de 33 dientes, un diámetro exterior de 5.12 (parte Nº 5024) y 6.92" (parte Nº5033) respectivamente.

La cadena que seleccionaremos a continuación es también marca BROWNING, según la relación de velocidades la longitud de la cadena deberá ser de 50".

De cálculos anteriores sabemos que la tensión máxima de la cadena es de 14.6 N (5 Lbf), que es bastante pequeña comparada con las tensiones que soportan cadenas estandares.

Para una cadena de ancho 3/8 (del mismo ancho de catalinas con que contabamos) y paso de 5/8" (cadena Nº 50), la resistencia mínima a la tensión es de 6100 Lbf.

Esta cadena es bastante satisfactoria para nuestro diseño y una copia del catálogo se muestra en la figura 4.48.

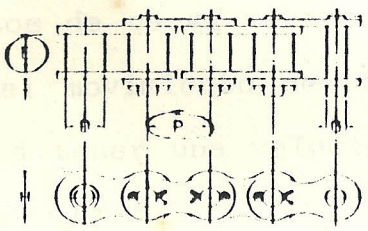
Browning Roller Chain



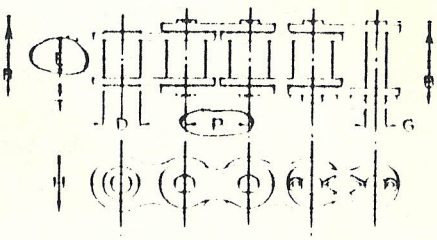
Single Strand—Riveted



Single Strand—Cottered



Roller Chain



LL Chain

Table No. 1

SINGLE STRAND CHAIN

Chain Pitch P	Chain No.	CHAIN: Average Tensile Strength Lbs.	CHAIN: Average Weight per Ft. Lbs.	DIMENSIONS: Connecting Links A	Connecting Links B	Rollers D	Rollers E	Pins G	Side Plates H	Side Plates T	Standard Lengths†	STOCK PACKAGING: Riveted Chain also available in Lengths Marked "X", Cottered Marked "C" 25'	50'	100'	250'	500'
STANDARD																
* 1/4	25	925	.09	.150	.190	.130	1/8	.0905	.230	.030	10			X		
* 3/8	35	2,100	.23	.228	.286	.200	3/16	.141	.344	.050	10		X	X		X
* 1/2	41	2,000	.28	.260	.370	.306	1/4	.141	.390	.050	10		X	X	X	X
* 1/2	40	3,700	.41	.314	.373	.312	5/16	.156	.468	.060	10		X	X	X	
* 5/8	50	6,100	.66	.327	.408	.400	1/4	.200	.571	.080	10					
* 5/8	50	6,100	.69	.392	.458	.400	1/4	.200	.571	.080	10		X	X		
* 3/4	60	8,500	1.01	.493	.567	.468	1/2	.231	.679	.094	10		X	X		
* 1	80	14,500	1.77	.613	.762	.625	5/8	.312	.908	.125	10		X	X		
* 1 1/4	100	24,000	2.59	.770	.910	.750	3/4	.375	1.125	.156	10		X			X
1 1/2	76	26,000	2.73	.820	.969	.750	3/4	.375	1.094	.187	10					
* 1 1/2	120	31,000	4.05	.970	1.111	.875	1	.437	1.314	.187	10		X			
* 1 3/4	140	46,000	5.10	1.016	1.204	1.000	1	.500	1.625	.219	10.2					
* 2	160	58,000	6.85	1.245	1.422	1.125	1 1/4	.562	1.875	.250	10					
2 1/4	180	80,000	9.40	1.391	1.687	1.406	1 7/16	.687	2.125	.281	10,125					
* 2 1/2	200	95,000	10.20	1.533	1.850	1.562	1 5/8	.781	2.250	.312	10					
#3	240	130,000	16.50	1.895	2.187	1.875	1 7/8	.937	2.800	.375	—	—	—	—	—	—
HEAVY																
* 1 1/4	60H	8,500	1.25	.555	.631	.468	1/2	.234	.679	.125	10			X		
* 1	80H	11,500	2.00	.705	.824	.625	5/8	.312	.908	.156	10					
* 1 1/4	100H	21,000	3.10	.832	.972	.750	3/4	.375	1.125	.187	10					
* 1 1/2	120H	34,000	4.10	1.032	1.173	.876	1	.437	1.314	.219	10					
1 3/4	140H	46,000	5.40	1.108	1.266	1.000	1	.500	1.625	.250	10.2					
#2	160H	58,000	7.10	1.307	1.484	1.125	1 1/4	.562	1.875	.281	10					
STAINLESS STEEL*																
* 1/4	25SS	700	.09	.150	.190	.130	1/8	.0905	.230	.030	10			X		
* 3/8	35SS	1,800	.20	.228	.286	.200	3/16	.141	.344	.050	10			X		
* 1/2	41SS	1,950	.28	.260	.370	.306	1/4	.141	.390	.050	10					
* 1/2	40SS	3,100	.40	.314	.373	.312	5/16	.156	.468	.060	10			X		
* 5/8	50SS	5,500	.60	.392	.458	.400	1/4	.200	.571	.080	10					
* 3/4	60SS	6,500	.90	.493	.567	.468	1/2	.231	.679	.094	10					
*1	80SS	11,500	1.60	.643	.762	.625	5/8	.312	.908	.125	10			X		
LL																
* 1/2	40 LL	3,400	.41	.318	.403	.312	5/16	.156	.468	.060	10			X		
* 5/8	50 LL	5,500	.69	.397	.480	.400	1/4	.200	.585	.080	10			X		
* 3/4	60 LL	7,500	1.01	.493	.567	.468	1/2	.231	.702	.094	10			X		
* 1	80 LL	13,000	1.77	.643	.762	.625	5/8	.312	.938	.125	10					

*Carried in stock in riveted construction. "Carried in stock in cottered construction. No. 60 chain and larger will be furnished in cottered construction unless otherwise specified.

#Not carried in stock; available on special order.

†Standard Lengths will be furnished unless otherwise specified.

FIGURA 4.48 CATALOGO BROWNING CATALINAS Y CADENA

4.5.3 MOTORES ELECTRICOS

Los requerimientos de carga máxima que tenemos que mover son los del movimiento del molde cuyo motor por diseño deberá tener una velocidad de 120 rpm y 1 Nm de torque impulsor.

Los motores limpiaparabrisas de carro cumplen muy bien estos requerimientos de potencia y velocidad, además, funcionan con 12 voltios corriente continua que como veremos en las páginas siguientes es una gran ventaja económica, pues necesitamos una fuente de poder de 12 voltios para manejar las tarjetas, y estos motores pueden invertir su movimiento.

Aunque la potencia que necesita la leva para su movimiento es inferior a la del motor para los moldes, es conveniente seleccionar el mismo motor por su precio, facilidad para encontrar en nuestro mercado, y porque estéticamente se ve mejor dos motores iguales en la misma máquina que dos desiguales.

4.6. ADQUISICION DE DATOS Y CONTROL DE PROCESOS

El control de procesos de la máquina es realizado por la computadora, con lo que estaríamos en la categoría del CPC (Control de procesos con computadora), puesto que lo que se va a controlar es un proceso de producción y no de fabricación (CNC, control numérico con computadora).

En la adquisición de datos para el control del proceso se utilizará una tarjeta analógico digital de ocho bits de dieciséis canales con un sistema paralelo de entrada y salida de datos.

La posición de la leva será leída con una señal de cinco voltios mandada por el sensor de posición del motor a la tarjeta A/D.

Además de la tarjeta A/D se utilizará el puerto paralelo para mandar señales de control a los diferentes servomecanisos que mueven el proceso, además se tomará la alimentación para las tarjetas que controlan el proceso de los slots de la computadora.

El control del proceso con la computadora es muchas veces más ventajoso para el control automático de mecanismos

por la sencillez de los circuitos, economía de sus elementos, y gran flexibilidad para cambiar parámetros del proceso sin la necesidad de tener que regular nuevamente todos los componentes que controlan el proceso. Esto simplemente se lo puede realizar cambiando únicamente el programa que controla el proceso a través de un disckets y muy pocas veces es necesaria la regulación de algún componente de la máquina.

Por otra parte, la tecnología de fabricación de las computadoras evoluciona de forma cada vez más acelerada, bajando sus costos.

En la actualidad la computadora que necesitamos para un control de procesos no cuesta más allá de Un Millón Quinientos Mil Sucres.
En cambio los controles neumáticos necesitan inversiones mucho mayores del orden de los diez millones de sucres, sólo para la compra del compresor de aire. Otra opción la constituyen los controles hidráulicos, pero tienen un costo semejante al anteriormente mencionado, para la compra del sistema generador de la potencia hidráulica.

También un factor digno de considerarse en el precio, es el hecho de que la generalidad de las industrias tienen ya una computadora, que puede utilizarse para controlar

procesos sin que se requiera de una nueva inversión.

4.6.1 MEDICION DE TEMPERATURAS

De todos los sensores de temperatura investigados en el mercado, el que presta mayores ventajas en todo aspecto es el termopar. El termopar, además de su agilidad de respuesta, gran precisión, linealidad, puede medir rangos de temperatura bastante amplios, soporta grandes temperaturas hasta al rededor de 2.000°C (Termopar de Hierro-Constantant), es barato, fácil de adquirir, no necesita mayor mantenimiento, es resistente a la presión, vibración y temperaturas bajas; su única desventaja es que su lectura es muy pequeña.

EL TERMOPAR

Como sabemos, la información recibida por los termopares es muy débil (vease la tabla III), por lo que se hace necesaria la amplificación y filtración de la señal antes de ser convertida de analógica a digital; caso contrario la señal digital convertida no tendría mucha precisión debido a la baja resolución y a los ruidos que se

infiltrarán en las señales de bajo potencial.

TEMPERATURA (°C)	VOLTAJE (mV)	
	TIPO "J"	TIPO "K"
0	0	0
10	0.507	0.397
20	1.019	0.798
100	5.268	4.095
500	23.388	20.640

TABLA III VOLTAJES LEIDOS EN TERMOPARES J Y K A DIFERENTES TEMPERATURA.

La cantidad de los electrones libres que se generan en el termopar con el aumento de la temperatura se produce a partir del punto cero absoluto (menos 273° K). Pero muchas veces las temperaturas se las mide en grados centígrados y como la señal del termopar comienza desde 0° K es necesario sustraerle a esta temperatura 273° C.

Si la adquisición de datos de temperatura se hace a través de la computadora, este problema se elimina muy fácilmente a través del software. Pero si el controlador es un termostato, la señal necesita ser

compensada con los 273° C.

Con los termopares hay que tener cuidado de no formar nuevos pares de metal en las conexiones, que puedan ocasionarnos errores en la mediciones de las temperaturas; para evitar ésto tenemos que usar el mismo material en las conexiones y su nivel de temperatura deberá ser el mismo.

Reciéntemente la compañía Analog Device desarrolló un nuevo chip altamente integrado que ofrece la compensación y la amplificación en un sólo dispositivo, además, tiene un switch ajustable para enviar una señal de alarma o trabajar como termostato.

En nuestra máquina los tres termopares son del tipo "J".

EL AMPLIFICADOR

Los amplificadores deberán ser calibrados con la ayuda de un simulador de temperaturas electrónico que genera voltajes similares a los que generan los termopares tipo "J" y además uno puede escoger la temperatura.

De esta manera podemos calibrar los amplificadores para que el voltaje de salida del amplificador sea máximo de cinco voltios, cuando tenemos la temperatura máxima de 500°C (temperatura a la cual no vamos a llegar por que las aleaciones que vamos a fundir tienen puntos de fusión menores), Así la tarjeta analógico digital tampoco trabajará a más de cinco voltios, que es la temperatura máxima que puede leer. Vease la figura 4.49.

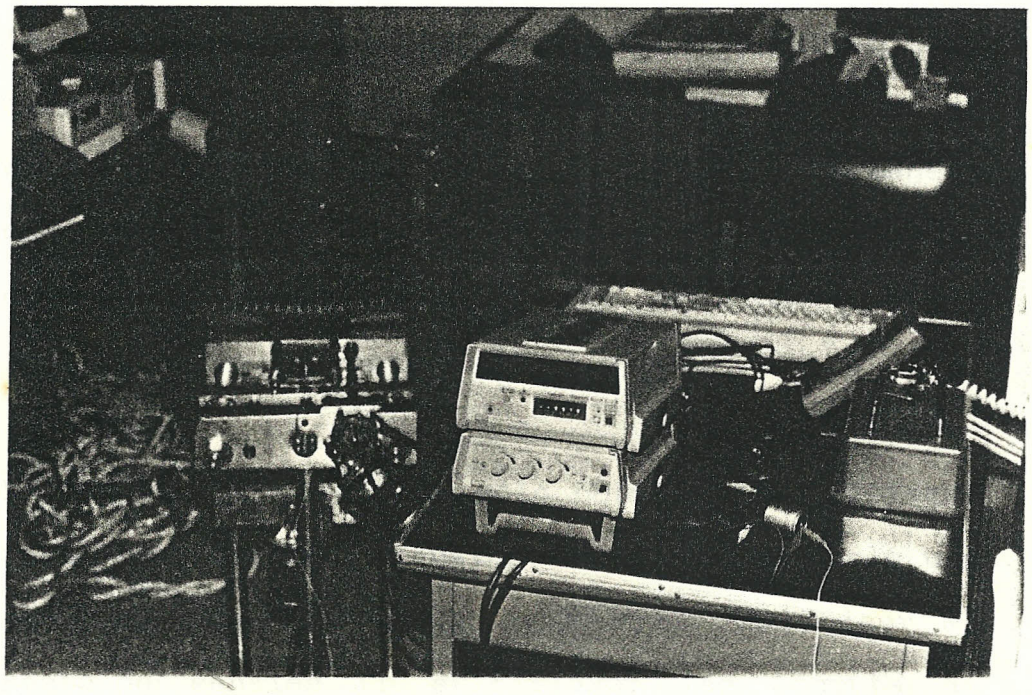


FIGURA 4.49 SIMULADOR DE TEMPERATURAS (FLUXES)

Luego de la amplificación la señal irá a la computadora con cables coaxiales para evitar que la señal se contamine de ruido.

A través del software se podría haber utilizado un sólo amplificador para las tres señales, simplemente conmutando las señales de temperatura al mismo amplificador a diferentes tiempos, a través de un multiplexor. El precio de los amplificadores era tan económico que no cabía complicar el programa con este detalle.

LA TARJETA A/D

La tarjeta A/D tiene unos jumpers que sirven para direccionar la tarjeta dentro de un espacio de memoria libre de la computadora, de esta manera cada slots de la computadora tiene una dirección de memoria diferente, para que no se confundan las instrucciones de control.

La tarjeta A/D tiene un sólo convertidor utilizado para los dieciséis canales. Es decir, sólo una señal se puede convertir a la vez. Para leer el resto de señales un multiplexor las conmuta al convertidor con la ayuda del software.

Estas tarjetas A/D funcionan con órdenes del Basic por lo tanto, éste será el lenguaje que

utilizaremos en todo el programa de control de proceso.

La temperatura va a ser un voltaje entre cero y cinco voltios que va a ser convertido en digital entre 0 y 255, ya que la tarjeta es de 8 bits.
El valor digital corresponde a una temperatura en grados centigrados de la siguiente manera:

VALOR DIGITAL	VALOR DE TEMPERATURA
0	-273 °C
255	500 °C

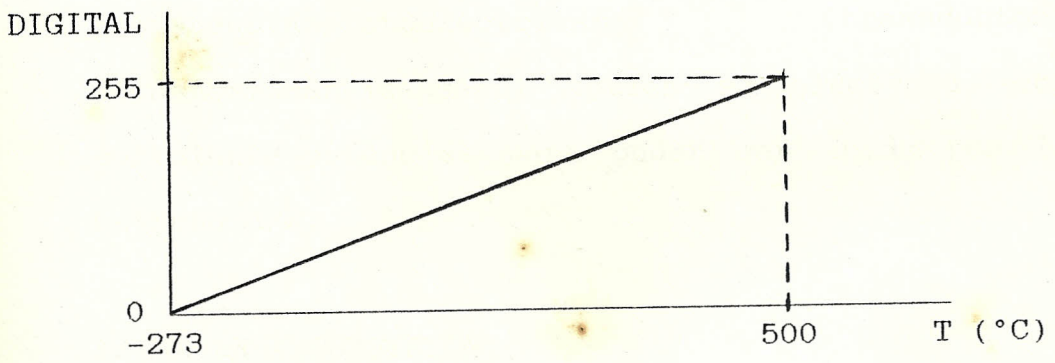


FIGURA 4.50 GRAFICO DIGITAL VS. TEMPERATURA

En la figura 4.50 podemos ver la relación entre el

valor leído por la computadora y la temperatura. Ventajosamente sabemos que la respuesta de un termopar es casí lineal lo que nos facilitará el calculo de temperatura, que simplemente será realizado por la ecuación de una recta.

4.6.2 MEDICION DE POSICION DEL CARRO PORTA-MOLDES

Para el control de posición se utilizará un disco de adquisición y una barra perforada a la posición respectiva de cada movimiento del carro.

A través de unas fibras ópticas se llevará la señal de la posición a la caja de control donde unas resistencias fotoeléctricas (transductor) transformarán la señal óptica en eléctrica, con suficiente potencial para poder ser leída por la tarjeta A/D.

BARRA DE ADQUISICION

La barra perforada se encuentra enroscada al carro y ajustada por medio de una contratuerca que permite calibrar la posición.

Las perforaciones están hechas a 120° cada una, de manera que una perforación no perturbe la señal a la que no corresponde. Como son tres posiciones de control, existen perforaciones en la barra.

La barra en su otro extremo tiene un rebajado de manera que permita ser sujetada con una llave, para que su posición pueda ser calibrada.

EL DISCO DE ADQUISICION

A través de este disco serán sensadas las posiciones del carro, por medio de puertas ópticas arregladas a 120° cada una. La señal emisora se encuentra a 180° del receptor.

Cuando la posición de la barra coincide con una de las posiciones del carro, una de sus tres perforaciones deja pasar la luz de la emisora al receptor. Esta luz es transmitida hasta la caja de control por medio de fibras ópticas que se sujetan con facilidad al disco, gracias a que éste se encuentra partido en dos.

Para apretar la fibra óptica al disco, sólo necesitamos apretar los tres tornillos que los

unen.

El disco está sujetado al bastidor también por tres tornillos que lo atraviezan.

Como este elemento no necesita resistir esfuerzos elevados será fabricado de bronce, para evitar la corrosión y dar una buena apariencia al conjunto.

Detalles de su fabricación los podemos encontrar en los planos del apéndice.

SENSORES (LDR)

Los sensores son resistencias fotoeléctricas, es decir, sensibles a la luz.

Estos sensores se los utiliza bastante en las cámaras fotográficas modernas, para controlar automáticamente el flash y la apertura del lente. Estos elementos son semiconductores, que bajan su resistencia con un aumento de la intensidad de luz.

También existen en la actualidad los fotodiodos, que trabajan en forma parecida, pero con variaciones más pequeñas de resistencia para el

mismo cambio de intensidad de luz que en las LDR, siendo necesario muchas veces el uso de amplificadores para poder utilizar sus señales, lo que hace más cara su utilización. Su ventaja es que tienen mayor velocida de respuesta (interrupciones hasta de una frecuencia de 50 MHZ).

También existen los fototransistores, que son transistores cuya base es activada por la luz. Esto se produce generalmente en cajas mecánicas por una ventana por donde pasa la luz; se encuentran a veces con dos patas (el colector y el emisor) y la base está soldada a la caja.

Estos sensores se utilizan mucho en la industria, para controlar el nivel de un líquido, para contar productos que pasan por una banda transportadora, para leer los códigos de barras que utilizan los almacenes y comisariatos para marcar los precios, la localización de una fuente de luz, para encender la iluminación de calles, sistemas de seguridad contra robo, etc.

Estos sensores son sensibles sólo dentro de un rango de longitudes de onda electromagnéticas, este rango va generalmente desde el 0.2 hasta el 0.4

micrómetros.

EMISORES

No sólo los receptores tienen rangos específicos de trabajo, también los emisores de luz trabajan en ciertos rangos.
Los diodos luminosos que son los emisores de luz, que utilizaremos tienen un rango de emisión de 0.9 a 1 micrómetro (rango infrarojo).

TARJETA A/D

La señal de variación de la resistencia la mediremos en función de la diferencia de potencial arreglando un circuito con otra resistencia fija en serie, de modo que la diferencia de voltaje que tengamos cuando recibimos una señal luminosa en el receptor, sea máximo de cinco voltios. De esta manera, puede ser fácilmente medida sin necesidad de amplificación, por la tarjeta A/D.

Las señales serán mandadas a la tarjeta A/D por medio de cables coaxiales para evitar que, igualmente que con los termopares, se produzcan perturbaciones de ruido.

4.6.3 MEDICION DE LA POSICION DE LA LEVA

Como habíamos dicho anteriormente la posición de la leva debe ser medida para su posterior control por medio de la computadora.

Y también ya sabemos que necesitamos que la leva, una vez terminado el ciclo de vibración, deje el seguidor en su punto muerto superior, para que el proceso de inyección en el molde y corte no se vea perturbado.

Para hacer ésto nos aprovecharemos de una aplicación que tienen los motores que accionan limpiaparabrisas de carros, para evitar que las plumas queden en la mitad del parbrisas una vez que uno apaga el sistema.

Esta aplicación se la realiza a través de tres contactos que se deslizan sobre una pista conductora que se encuentra en la corona, que es movida por el motor por medio de un tornillo sin fin. Esta pista tiene una parte discontinua para uno de los contactos, de manera que cuando está prendido, el contacto que está sobre la pista completa manda la corriente al motor todo el tiempo

de modo que gira constantemente.
Cuando apagamos el limpia parabrisas queda un contacto que gira sobre la pista completa conectado a la corriente, y el otro que gira sobre la pista discontinua manda la energia a el motor para hacerlo girar. De este modo cuando apagamos el limpiador, mientras éste contacto siga en la parte continua, el motor seguirá andando, y cuando entre a la parte discontinua no mandará más corriente al motor y este se parará.

Ahora para nosotros sólo son necesarios dos contactos: uno que gira sobre la pista continua y el otro que gira sobre la pista discontinua.
Así si ponemos una señal digital de 5V en un de los contactos, tendremos en el otro una señal también de 5V, cuando el contacto está sobre la pista, y de 0V cuando el contacto está sobre la parte discontinua.

La señal de cero Voltios significa entonces que la leva está en una posición determinada que no necesariamente es la posición en la que el seguidor se encuentra en su punto muerto superior. Además cuando mandamos a parar al motor, por efectos de inercia éste sige rotando un determinado tiempo

hasta pararse, de manera que no se garantiza que vamos a seguir en la parte discontinua de la pista.

4.6.4 CONTROL DEL PROCESO

Una vez realizado el proceso de adquisición de datos podemos continuar con el control de procesos con computadora, mediante actuadores o servomecanismos que van a estar integrados en la máquina de forma centralizada, por medio de un programa que realiza la secuencia y regulación del automatismo de la máquina.

EL CONTROL DE TEMPERATURA

Primero por medio de una termocupla leeremos la señal de temperatura de las diferentes partes, para luego compararlas con una referencia que dependerá de la aleación que estemos fundiendo, de manera que si esta temperatura es menor que la de referencia mediante un controlador on/off prendemos la resistencia a la que corresponde la temperatura, y si la temperatura es mayor que la temperatura de referancia más un valor de histéresis, apagamos la resistencia.

REFERENCIA

Este valor debe ser un poco mayor que el punto de fusión de la aleación que estamos fundiendo de manera que aseguremos así la liquidez del metal fundido.

Este valor tampoco debe ser muy alto ya que se gastaría energía de manera innecesaria, además se perdería mucho metal en forma de vapor y se formaría una gran cantidad de metal óxidado que perjudicaría las propiedades de la pieza a fundir.

HISTERESIS

Debido a la velocidad con que son tomadas las lecturas (para un PC aproximadamente 16 Mz), el sistema de control se volvería "loco", si no hubiera un rango de temperaturas como referencia, produciendo daños en los contactos del relé que acciona la resistencia.

El control de temperatura con computadora como no es un controlador de tipo mecánico con masa, necesita que a través del programa se compare la

temperatura con un rango y se tome la decisión on/off depndiendo de si es mayor o menor.

Un controlador de temperatura mecánico como por ejemplo un termostato tiene inherente a él una histéresis que hace que el control on/off no se ponga "loco", y prenda y apage dentro de un determinado tiempo.

La curva de calentamiento y mantención de temperatura para un control on/off se muestra en la figura 4.51, donde se puede ver la curva de calentamiento desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de referencia donde se apaga la resistencia.

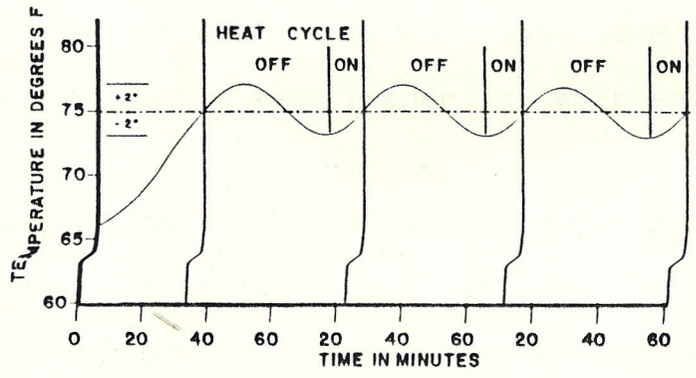


FIGURA 4.51 CONTROL DE TEMPERATURA ON/OFF CON COMPUTADORA

Luego viene la parte de mantención de la temperatura, donde tenemos una parte de calentamiento y otra de enfriamiento dentro de la brecha diferencial con una estabilidad limitada.

LOGICA DEL CONTROLADOR

Se realiza por medio de un programa en Basic donde se lee con la tarjeta A/D, la temperatura.

Si la temperatura que leemos es menor que la temperatura de referencia y está prendida la resistencia, el controlador no hace nada; si está apagada, el controlador prende la resistencia.

Si es mayor que la temperatura de referencia y menor que ésta más la histéresis y está prendida la resistencia, el controlador no hace nada; si está apagada, el controlador prende la resistencia.

Si es mayor que la temperatura de referencia más la histéresis y está prendida la resistencia, el controlador apaga la resistencia; si está apagada, el controlador no hace nada.

En la página siguiente mostramos la parte del

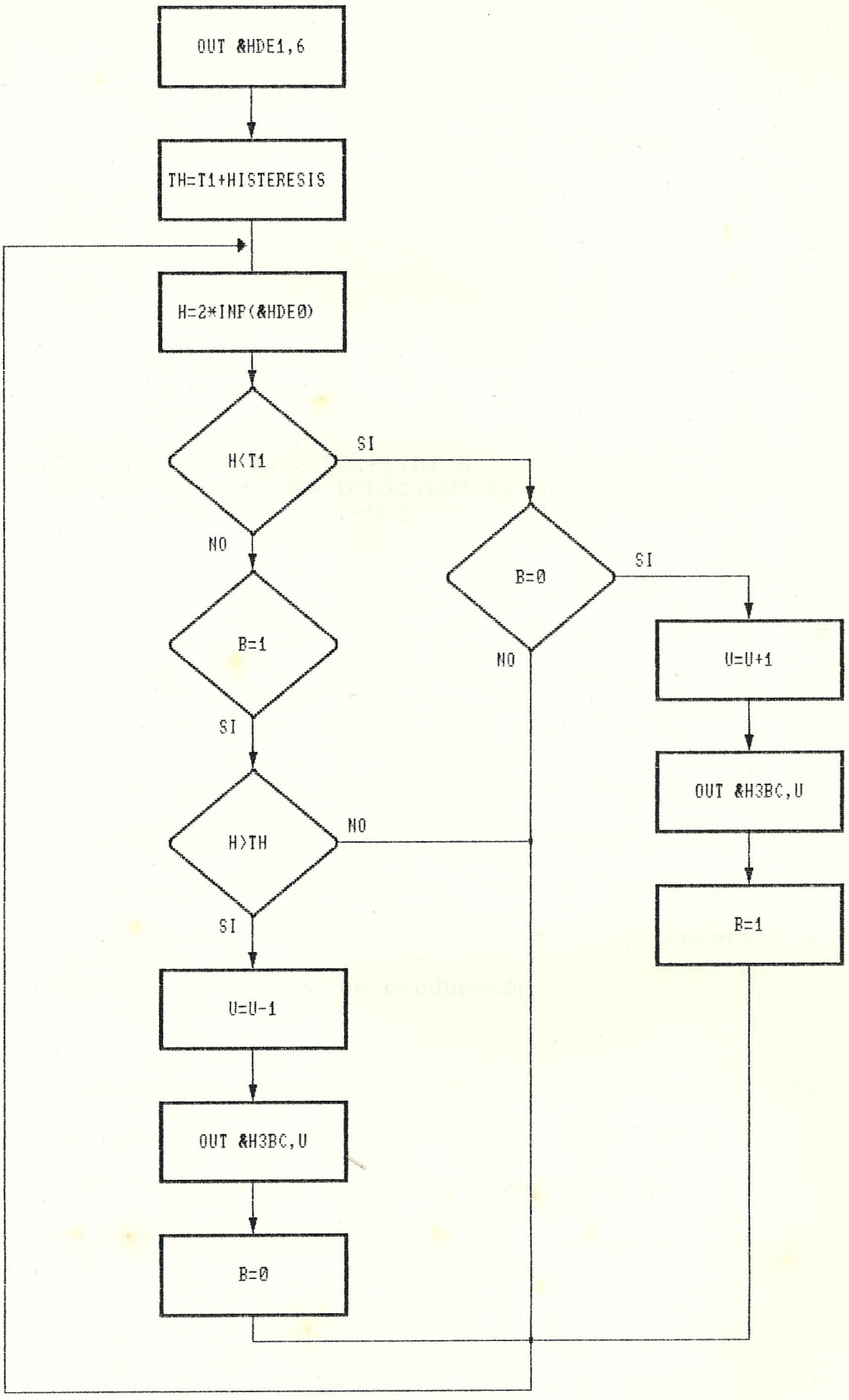


FIGURA 4.52 DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROL DE TEMPERATURA

programa que corresponde al control de temperatura del horno y en la figura 4.52 el diagrama de flujo del programa:

```
4000 REM CONTROL DE TEMPERATURA DEL HORNO**********************
4001 OUT &HDE1,6:X=INP(&HDE0)
4002 TH=T1+HISTERESIS
4010 OUT &HDE1,6
4020 H=2*INP(&HDE0):LOCATE 7,22:PRINT H
4030 IF H<T1 THEN IF B=0 THEN U=U+1:OUT &H3BC,U:B=1 ELSE ELSE
     IF B=1 THEN IF H>TH THEN U=U-1:OUT &H3BC,U:B=0
4040 RETURN
```

Esta es una subrutina del programa secuencial, que es utilizada en la primea etapa para el calentamiento, y luego es también usada por el programa secuencial para regular la temperatura durante el proceso de producción.

El programa secuencial lo analizaremos con más detalle posteriormente, y en esta parte de la tesis nos limitaremos a hablar únicamente de cada control en forma independiente.

CONTROL DE LA POSICION DEL CARRO

El control de la posición del carro también es un control regulador analógico, ya que tomamos la lectura de la caída de voltaje que hay en la resistencia FOTOELECTRICA a través de la tarjeta A/D, la comparamos con una referencia, si es menor que ésta no hacemos nada y volvemos a leer hasta que la lectura sea mayor que la referencia.
Significa que en ese momento el sensor está comenzando a recibir luz del otro lado del disco, entonces mandamos a parar al motor.

Anteriormente habíamos dicho que estas resistencias fotosensibles las habíamos conectado en serie a una resistencia fija de manera que si aplicábamos una diferencia de potencial entre las dos, la caída de potencial en la resistencia sensible a la luz sería máximo de 5V, y ésto ocurre cuando la barra deja pasar toda la luz al otro lado.

De esta manera sabemos cuando estamos en la posición correcta, y con el programa se puede parar el motor cuando deseemos. Por los efectos de inercia de los elementos mecánicos en movimiento, cuando mandemos a apagar el motor, éste no parará

instantaneamente de manera que, tenemos que adelantar la parada unos instantes para así conseguir parar el carro en la posición deseada.

Esto es sencillo porque el agujero de la barra es bastante grande y nos permite jugar un poco con las intensidades de luz que llegan a la resistencia fotosensible, de manera que cuando está justo en el centro, recibimos una mayor cantidad de voltaje en la tarjeta A/D y cuando se comienza a acercar al centro, el voltaje es menor.

Como acabamos de ver a través del software podemos regular la posición en la cual queremos parar el carro, además de la rosca que tenemos en la barra que permite meter o sacar más la barra.

Afortunadamente para nosotros la resistencia que tiene que vencer el carro cuando se mueve a la posición de inyección es tan grande, que el motor para, casi inmediatamente después que es apagado evitandonos tener que parar el motor con un adelanto de tiempo.

Abajo mostramos el fragmento del programa que controla las tres posiciones del carro de la máquina:

```
1000 REM MOVIMIENTO POSICION ATRAS*****************************
1010 OUT &HDE1,3:X=INP(&HDE0)
1020 U=U+32
1030 OUT &H3BC,U
1040 OUT &HDE1,3
1050 X=INP(&HDE0)
1060 IF X<10 THEN 1050
1070 U=U-32
1080 OUT &H3BC,U
1090 FOR I=1 TO 80
1100 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
1110 NEXT I
1120 LOCATE 22,78:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
1130 RETURN
.
.
.
3000 REM MOVIMIENTO INYECCION*********************************
3010 OUT &HDE1,2
3020 U=U+16
3030 OUT &H3BC,U
3040 U=U+32
3050 OUT &H3BC,U
3060 OUT &HDE1,2
3070 X=INP(&HDE0)
3080 IF X<1 GOTO 3070
3090 U=U-48
3100 OUT &H3BC,U
3110 FOR I=1 TO 80
3120 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
3130 NEXT I
3140 LOCATE 22,13:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
3150 RETURN
.
.
.
8000 REM MOVIMIENTO POSICION CORTE*****************************
8010 OUT &HDE1,1
8020 U=U+16
8030 OUT &H3BC,U
8040 U=U+32
8050 OUT &H3BC,U
8060 OUT &HDE1,1
8070 X=INP(&HDE0)
8080 IF X<1 GOTO 8070
8090 U=U-48
8100 OUT &H3BC,U
8110 FOR I=1 TO 80
8120 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
8130 NEXT I
8140 LOCATE 22,1:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
```

CONTROL DE DIRECCION DE MOVIMIENTO DE CARRO

También necesitamos un control para el sentido del movimiento del carro. Para lograr que se pueda mover en dos direcciones (hacia adelante y hacia atrás), de acuerdo a lo que queramos en nuestro flujo de cargas (secuencias).

Para hacer ésto necesitamos dos señales de control del puerto paralelo. Una para prender el motor, y la otra para cambiar de dirección de giro (hacia adelante o hacia atrás).

Vamos a usar 4 relés de 14 voltios y 30 amperios, de manera que dos conectan al motor con una polaridad y los otros dos con la otra.

Cada par de relés es accionado con una posición de el relé 16. Es decir que en la posición izquierda conecta al motor para que haga mover al carro para adelante, y en la posición derecha conecta al motor para que haga mover al carro para atrás.

Ahora, para prender y apagar el motor una vez que hemos conmutado la dirección correcta de movimiento del motor, simplemente conectamos el rele 32 a la

fuente de voltaje del relé 16 (que cambia la dirección) para que éste suministre el voltaje necesario para accionar los relés que hacen mover el motor, como se ve en la figura 4.53.

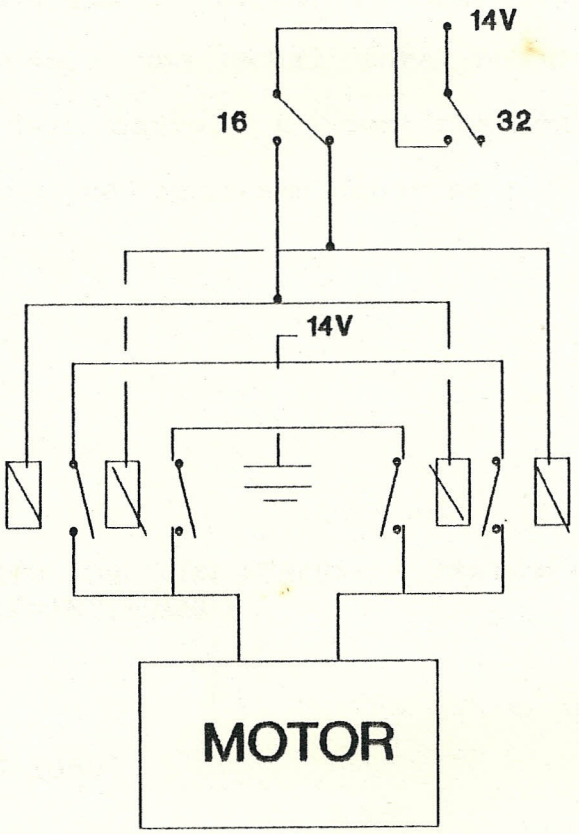


FIGURA 4.53 CONTROL DE DIRECCION DE MOVIMIENTO DEL CARRO

El voltaje con que hacemos funcionar a los relés es de 14 voltios, al igual que el voltaje con que

accionamos el motor.

De esta manera es muy fácil hacer funcionar para adelante o para atrás el carro, pués a través del programa se manda una señal al relé 16 de la tarjeta de relés, indicando en qué dirección queremos que se mueva, y luego por medio del relé 32 mandamos una señal para prender o apagar el motor del carro. A continuación mostramos un fragmento del programa donde se puede ver muy claro ésto:

```
1000 REM MOVIMIENTO POSICION ATRAS*****************************
1010 OUT &HDE1,3:X=INP(&HDE0)
1020 U=U+32
1030 OUT &H3BC,U
1040 OUT &HDE1,3
1050 X=INP(&HDE0)
1060 IF X<10 THEN 1050
1070 U=U-32
1080 OUT &H3BC,U
1090 FOR I=1 TO 80
1100 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
1110 NEXT I
1120 LOCATE 22,78:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
1130 RETURN
.
.
.
3000 REM MOVIMIENTO POSICION INYECCION************************
3010 OUT &HDE1,2
3020 U=U+16
3030 OUT &H3BC,U
3040 U=U+32
```

```
3050 OUT &H3BC,U
3060 OUT &HDE1,2
3070 X=INP(&HDE0)
3080 IF X<1 GOTO 3070
3090 U=U-48
3100 OUT &H3BC,U
3110 FOR I=1 TO 80
3120 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
3130 NEXT I
3140 LOCATE 22,13:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
3150 RETURN
.
.
.
8000 REM MOVIMIENTO POSICION CORTE**************************
8010 OUT &HDE1,1
8020 U=U+16
8030 OUT &H3BC,U
8040 U=U+32
8050 OUT &H3BC,U
8060 OUT &HDE1,1
8070 X=INP(&HDE0)
8080 IF X<1 GOTO 8070
8090 U=U-48
8100 OUT &H3BC,U
8110 FOR I=1 TO 80
8120 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
8130 NEXT I
8140 LOCATE 22,1:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
8150 RETURN
```

CONTROL DE POSICION DE LA LEVA

Se la realiza a través del software, que lee una señal digital del motor. Esta señal es cinco voltios la mayor parte del recorrido de una vuelta donde el contacto que se desliza sobre la pista discontinua se encuentra sobre la pista de cobre; y

es cero voltios cuando está sobre la parte discontinua de la pista, una pequeña parte del recorrido de una vuelta.

Esta señal a pesar de ser digital la vamos a leer por medio de la tarjeta A/D de 16 canales, que sólo tiene ocupados 6 canales.
Esta señal también podría ser medida por medio de el puerto paralelo, a través de cualquiera de las tres entradas: E1,E2,o E3. Pero es más seguro usar la tarjeta A/D, porque puede darse el caso de que no se reciva exactamente 5V, debido a la resistencia de los cables, suciedad en la pista, fuente de voltaje un poco defectuosa, etc.; y entonces es aconsejable usar la tarjeta A/D con la cual podremos medir cualquier lectura entre 0 y 5V.

A continuación mostraremos un fragmento del software que corresponde a la subrutina que controla el movimiento de el vibrador:

```
2000 REM MOVIMIENTO VIBRADOR**********************************
2005 OUT &HDE1,0
2010 U=U+64
2020 OUT &H3BC,U
2040 FOR T=1 TO 5000
2050 NEXT T
2060 X=INP(&HDE0)
```

```
2070 IF X>200 THEN GOTO 2060
2080 FOR I=1 TO 100:NEXT I
2090 U=U-64
2100 OUT &H3BC,U
2110 RETURN
```

Como podemos ver en el software, después de hacer funcionar la leva un determinado tiempo a través de un arreglo (tiempo que ha sido probado es el necesario para hacer caer la pieza), tomamos lecturas de la señal que se lee del contacto sensor para ver en qué momento pasa por la parte sin pista y así ordenar que pare el motor de la leva después de un determinado tiempo.

Este tiempo es debido a que si hacemos parar el motor de la leva inmediatamente después de recibida la lectura de 5V, es muy difícil que coincida la leva en el punto muerto superior en el que debe parar.
Este tiempo se lo puede hallar experimentalmente probando diferentes tiempos hasta que uno de ellos cumpla la condición de que la leva pare en su estado de equilibrio.

Algo importante de notar es que el motor acciona un engranaje tipo corona que mueve un sin fin donde

está aplicado el eje de la leva, que significa que si la leva queda en una posición inestable no podrá moverse a su posición de equilibrio debido a la acción de los resortes.

El tiempo debe ser hallado con mucho cuidado procurando sea más o menos grande para que así el error sistematico sea lo menor posible, de manera que cuando haya cumplido con un determinado número de ciclos de vibración la leva siga parando en su posición de equilibrio.

Este también es un sistema de control regulador ya que se lee un valor, se lo compara con una referencia y en función de ésto se toma una desición de control.

Algo importante al instalar este sistema, es que debemos conectar la polaridad del motor de tal manera que la dirección de giro del mismo sea favorable para la función que le hemos encomendado. Pues la vibración en un sentido no produce el mismo efecto que en el otro sentido.

¿Cual es el sentido de rotación que produce mayor sacudimiento de las piezas?

Por sentido común sabemos que la dirección de movimiento que se aproveche más de la ventaja mecánica proporcinada por la palanca que se genera al empujar el seguidor, será el sentido de rotación que produce el mayor sacudimiento en las piezas.

CONTROL SECUENCIAL DEL PROCESO

El control secuencial del proceso lo vamos a realizar a través del software, que va a realizar todo el flujo de cargas que hemos diseñado para el control del proceso mostrado en la figura 4.54.

Al principio, el programa deberá inicializar todas las variables que usaremos en el proceso además, activará los chips de las tarjetas de control que usaremos y borrará la línea de funciones que aparece en la parte inferior de la pantalla, también definirá la función "error" y la función "F10".

```
5 REM  P R O R A M A  P R I N C I P A L **********************
10 ON ERROR GOTO 10000
15 OUT &H3BC,0
20 OUT &HDE3,144
```

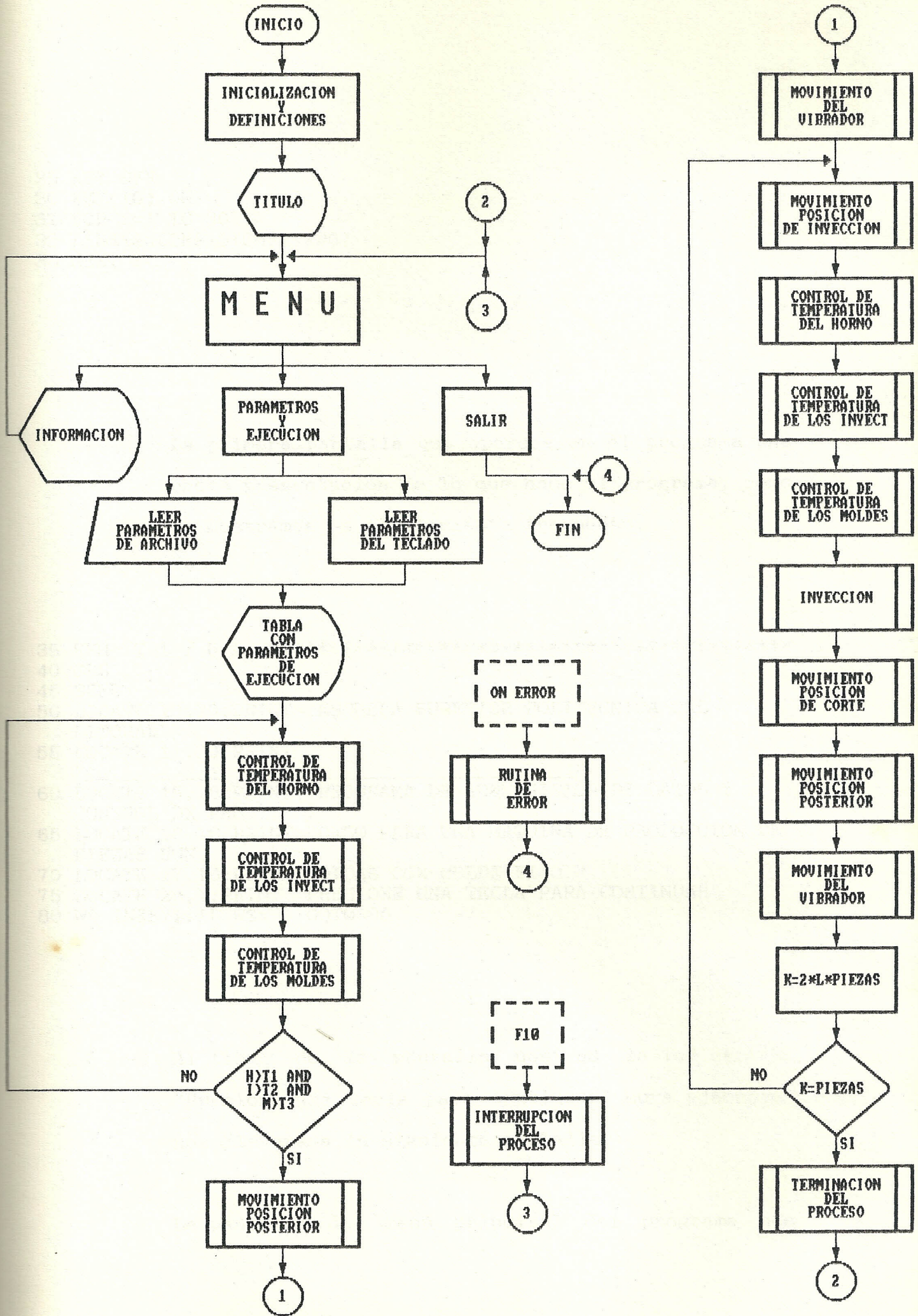


FIGURA 4.54 DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROL SECUENCIAL

```
25 KEY OFF
30 KEY(10) ON
31 FOR I=1 TO 80
32 LINE1$=LINE1$+CHR$(196)
33 NEXT I
```

La primera pantalla que aparece en el programa una breve presentación de lo que hace el programa, como lo mostramos en el siguiente fragmento:

```
35 REM  T I T U L O*****************************************
40 CLS
45 BEEP
50 LOCATE 10,20:PRINT "ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
   LITORAL"
55 LOCATE 11,20:PRINT
   "_____"
60 LOCATE 15,16:PRINT "PROGRAMA DE ADQUISICION DE DATOS Y
   CONTROL DE PRO"
65 LOCATE 16,16:PRINT "CESO PARA UNA MAQUINA DE PRODUCCION DE
   PIEZAS FUN"
70 LOCATE 17,16:PRINT "DIDAS CON MOLDE FIJO."
75 LOCATE 25,1:PRINT "PRESIONE UNA TECLA PARA CONTINUAR"
80 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 80
```

Al final de la pantalla nos da la indicación: "Presione una tecla para continuar" cuya ejecución nos llevará a la siguiente pantalla.

La pantalla del menú principal del programa nos

muestra las opciones que podemos utilizar.

```
85 REM  M E N U ***********************************************
90 CLS
95 BEEP
100 LOCATE 8,8:PRINT "***M E N U***"
105 LOCATE 9,8:PRINT "_____________"
110 LOCATE 12,1:PRINT "1.INFORMACION"
115 LOCATE 13,1:PRINT "2.PARAMETROS Y EJECUCION"
120 LOCATE 14,1:PRINT "3.SALIR"
125 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 125
130 IF W$="1" GOTO 145
135 IF W$="2" GOTO 265
140 IF W$="3" GOTO 550
```

La primera es: "INFORMACION" que es una especie de ayuda que servirá para que el operario o persona encargada del manejo de la máquina, pueda hacer funcionar el programa de la manera indicaa aquí:

"Este programa tiene como finalidad el control del proceso de producción de la máquina.

El programa controla las temperaturas del horno, inyectores y molde; además de controlar la posición de las partes mecánicas y todas las secuencias de operación.

El programa, en caso de que exista falla de la

corriente eléctrica es vuelto a cargar automáticamente y continúa con el proceso en la última secuencia que hizo.

El programa memoriza la última orden de ejecución, y en caso de que se desee puede volvérsela a ejecutar.

En caso de un error en la ejecución del programa, éste anda *a parar la máquina inmediatamente.*

En caso de que se quiera parar la máquina durante la operación, presione la tecla F10.

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA REGRESAR AL MENU"

```
145 REM  I N F O R M A C I O N ******************************
150 CLS
155 BEEP
160 LOCATE 2,15:PRINT
    "****************INFORMACION******************"
165 LOCATE 3,15:PRINT
    "                                                    "
170 LOCATE 6,15:PRINT "ESTE PROGRAMA TIENE COMO FINALIDAD EL
    CONTROL"
175 LOCATE 7,15:PRINT "DEL PROCESO DE PRODUCCION DE LA
    MAQUINA."
180 LOCATE 8,15:PRINT "EL PROGRAMA CONTROLA LAS TEMPERATURAS
    DEL HOR"
185 LOCATE 9,15:PRINT "NO, INYECTORES Y MOLDES; ADEMAS  DE
```

```
    CONTROLAR"
190 LOCATE 10,15:PRINT "LA POSICION DE LAS PARTES MECANICAS  Y
    TODAS"
195 LOCATE 11,15:PRINT "LAS SECUENCIAS DE OPERACION."
200 LOCATE 12,15:PRINT "EL PROGRAMA,EN CASO DE QUE EXISTA
    FALLA DE LA"
205 LOCATE 1,15:PRINT "CORRIENTE ELECTRICA, ES VUELTO A
    CARGAR AUTO-"
210 LOCATE 14,15:PRINT "MATICAMENTE Y CONTINUA CON EL PROCESO
    CON  LA"
215 LOCATE 15,15:PRINT "ULTIMA SECUENCIA QUE HIZO."
220 LOCATE 16,15:PRINT "EL PROGRAMA MEMORIZA LA ULTIMA ORDEN
    DE EJECU"
225 LOCATE 17,15:PRINT "CION, Y EN CASO DE QUE SE DESEE PUEDE
    VOLVER-"
230 LOCATE 18,15:PRINT "SELO A EJECUTAR."
235 LOCATE 19,15:PRINT "EN CASO DE UN ERROR EN LA EJECUCION
    DEL  PRO-"
240 LOCATE 20,15:PRINT "GRAMA, ESTE MANDA A PARAR LA MAQUINA
    INMEDIA-"
245 LOCATE 21,15:PRINT "TAMENTE."
246 LOCATE 22,15:PRINT "EN CASO DE QUE SE QUIERA PARAR LA
    MAQUINA DU-"
247 LOCATE 23,15:PRINT "RANTE LA OPERACION, PRESIONE LA TECLA
    F10."
250 LOCATE 25,1:PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA REGRESAR
    AL MENU"
255 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 255
260 GOTO 85
```

La segunda opción es: "PARAMETROS Y EJECUCION". Aquí tenemos otras dos opciones para entrar a los parámetros de la máquina, la una es leer los datos a través de un archivo secuencial, y la otra es leer los datos a través del teclado. Esto es, para evitar volver a escribir los datos de operación que se utilizan más comúnmente, de tal manera que el programa simplemente los tiene grabados en y los

utiliza si así lo deseamos.

Este programa graba en un archivo los últimos parámetros de ejecución que utilizó, para que si queremos volver a fabricar un pieza idéntica a la últimamente fabricada contestamos a la pregunta siguiente: "¿QUIERE EJECUTAR EL PROGRAMA CON LOS ANTIGUOS PARAMETROS? <SI O NO>", sí.

Si contestamos que no, programa preguntará estos parámetros necesarios para la ejecución en la pantalla y los ingresaremos a través del teclado:

¿INGRESE LA TEMPERATURA DEL HORNO, INYECTORES Y MOLDES?

¿INGRESE LA HISTERESIS?

¿INGRESE EL NUMERO DE PIEZAS?

¿INGRESE EL NUMERO DE MOLDES?

¿TIEMPO DE INYECCION?

PULSE CUALQUIER TECLA PARA EJECUTAR

Este fragmento del programa lo mostramos a continuación:

```
265 REM P A R A M E T R O S **********************************
270 CLS
275 BEEP
280 LOCATE 12,10:PRINT "QUIERE EJECUTAR EL PROGRAMA CON LOS
    ANTIGUOS PARAMETROS<SI O NO>?"
285 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 285
290 IF W$<>"S" AND W$<>"N" GOTO 275
295 IF W$="S" GOTO 420
300 CLS
305 BEEP
310 LOCATE 3,23:PRINT "**********PARAMETROS***********"
315 LOCATE 4,23:PRINT "_____________________________________"
320 LOCATE 8,1
325 INPUT "INGRESE LA TEMPERATURA DEL HORNO, INYECTORES Y
    MOLDES";T1,T2,T3
330 BEEP
335 LOCATE 10,1
340 INPUT "INGRESE LA HISTERESIS";HISTERESIS
345 BEEP
350 LOCATE 12,1
355 INPUT "INGRESE EL NUMERO DE PIEZAS";PIEZAS
360 BEEP
365 LOCATE 14,1
370 INPUT "INGRESE EL NUMERO DE MOLDES";MOLDES
375 BEEP
380 LOCATE 16,1
385 INPUT "TIEMPO DE INYECCION";T
390 BEEP
395 LOCATE 25,1:PRINT "PULSE CUALQUIER TECLA PARA EJECUTAR"
400 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 400
405 OPEN "O",#1,"A:PARAMETR"
410 PRINT #1,T1,T2,T3,HISTERESIS,PIEZAS,MOLDES,T
415 CLOSE #1
```

A continuación el programa muestra una tabla con los parámetros de ejecución y los parámetros de

operación de manera que podamos observar en la pantalla cómo está evolucionando el proceso. En esta pantalla podemos detectar cualquier desperfecto en el control de la máquina, por ejemplo la temperatura de los inyectores, si está muy lejana de los parámetros de ejecución significa que algo anda mal en su control.

Además esta pantalla nos muestra el número de piezas producida en cada instante, así tenemos una idea de cuánto hemos producido y de cuánto falta para terminar la producción estimada.

En la parte inferior de la pantalla, durante el desarrollo del proceso, se muestra siempre la posición del carro de forma tal que siempre sabemos en qué posición del proceso estamos. Si estamos en la posición de inyección, o en la de corte o en la posterior, etc.

El programa graba en un archivo secuencial el número de piezas terminadas, y en el caso de falla de corriente eléctrica, éste recuerda cuántas habían sido realizadas hasta ese momento, y continúa con el proceso hasta cumplir con el número programado al principio.

```
12000 LOCATE 3,20:PRINT "TEMP.HORNO"
12010 LOCATE 3,35:PRINT "TEMP.INYEC"
12020 LOCATE 3,50:PRINT "TEMP.MOLDE"
12030 LOCATE 3,65:PRINT "NUM.PIEZAS"
12040 LOCATE 3,65:PRINT "NUM.PIEZAS"
12080 LOCATE 4,1:PRINT LINE1$
1200 OPEN "I",#1,"A:PARAMETR"
12100 INPUT #1,T1,T2,T3,HISTERESIS,PIEZAS,MOLDES,T
12110 CLOSE #1
12120 LOCATE 5,3:PRINT "PARAMETROS"
12130 LOCATE 5,22:PRINT T1
12140 LOCATE 5,37:PRINT T2
12150 LOCATE 5,52:PRINT T3
12160 LOCATE 5,67:PRINT PIEZAS
12170 LOCATE 7,3:PRINT "OPERACION"
12180 RETURN
```

A continuación, el programa realizará el calentamiento del horno, inyectores y moldes hasta la temperatura de ejecución. A partir de ahora la pantalla anterior nos dará información durante todo el proceso, si es que no lo hemos interrumpido con la función F10 y no se a producido ningún error en la estructura del programa.

```
420 REM  E J E C U C I O N **********************************
425 CLS
430 BEEP
435 KEY(10) ON
436 ON KEY(10) GOSUB 11000
440 GOSUB 12000
455 U=0:B=0:C=0:D=0:L=0
460 GOSUB 4000
465 GOSUB 5000
470 FOR I=1 TO 5000:NEXT I
```

```
475 IF H>T1 AND I>T2 THEN 480 ELSE 460
```

Una vez que la temperatura de estos tres componentes se ha calentado hasta su temperatura de referencia, el programa seguirá con la secuencia de funcionamiento o flujo de carga para la producción de piezas.

En una etapa de inicialización de la máquina, ésta siempre moverá su carro hasta la posición de referencia, a partir de la cual comenzará a medir su posición. Hacemos ésto por que no sabemos qué ha pasado antes de que prendamos la máquina; no sabemos si anteriormente ha estado trabajando y se ha ido la corriente eléctrica, si se estuvo haciendo una operación de mantenimiento y el carro quedó en una posición indeterminada, si se realizó el movimiento del carro en forma manual por cualquier circunstancia, etc.

Es por ésto que es necesario que de cualquier posición de donde esté el carro de la máquina moverlo hasta una posición de referencia a partir de la cual vamos a comenzar a medir su posición.

En el caso de que haya habido una falla en la corriente eléctrica no sabríamos en qué parte del proceso se quedó la máquina; si se quedó en el proceso de inyección, si en el de vibración, si en el de corte, etc. Para este caso no nos importa perder la producción del ciclo y lo que haremos será abrir los moldes y hacerlos vibrar y comenzar el ciclo desde la posición posterior. De este modo si no se ha fundido todavía la pieza no vamos a perder nada.

```
480 GOSUB 1000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
485 GOSUB 2000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
```

A partir de ahora comienza el ciclo de operación de la máquina a través de subrutinas del programa que realizan el control de cada parte del proceso de producción.

Primero la máquina deberá moverse desde la *posición* posterior hasta la *posición* de inyección, luego deberá de hacer un control de la temperatura del horno, inyectores y moldes.

Una vez controladas estas temperaturas, el programa deberá accionar los inyectores a través de una subrutina que los abrirá un determinado tiempo que va a hacer en función del peso y del material de la pieza que vamos a fundir, que luego de ese tiempo se cerrarán, quedando llenos los moldes y el cortador.

El programa ahora esperará un determinado tiempo hasta que se solidifique el metal fundido en los moldes, tiempo que puede ser determinado experimentalmente para cada pieza de determinado material.

Luego de este tiempo, la máquina deberá cortar los vertederos por donde ingresó el metal fundido al molde a través de la subrutina de corte. Luego el programa deberá abrir los moldes y el cortador moviendo el carro hasta la posición posterior, por medio de la subrutina de "movimiento hacia la posición posterior".

En esta posición el programa deberá hacer caer las piezas a través de la subrutina de vibración de la leva. Después de esta subrutina el programa

cuenta el número de veces que ha pasado por el ciclo de producción y lo multiplica por el número de piezas que ejecuta en cada ciclo. Este valor lo compara con el número de piezas que tiene que producir y si no ha cumplido todavía con esta encomienda, regresará a ejecutar todas las subrutinas anteriormente mencionadas, hasta que el número de piezas producidas sea igual al número de piezas pedidas.

```
490 GOSUB 3000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
495 GOSUB 4000
500 GOSUB 5000
505 GOSUB 7000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
510 GOSUB 8000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
515 GOSUB 1000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
520 GOSUB 2000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
525 L=L+1
530 K=2*L*MOLDES
532 LOCATE 7,67:PRINT K
535 IF K=PIEZAS THEN GOSUB 9000
540 GOTO 490
550 BEEP
555 END
```

Cuando ocurre ésto, el programa ejecutará una subrutina de terminación del proceso que apagará la máquina y mandará el mensaje a la pantalla de que el proceso ha terminado, y también le dirá al operario que presione cualquier tecla para regresar al menú. Desde allí podrá escojer cualquiera de las

dos opciones explicadas anteriormente o seleccionar la última opción, que es: "SALIR", con la cual, se sale del programa y el proceso termina.

```
9000 REM TERMINACION DEL PROCESO*****************************
9020 OUT &H3BC,0
9030 LOCATE 12,8:PRINT "EL PROCESO HA TERMINADO"
9040 LOCATE 20,1:PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA REGRESAR
     AL MENU"
9050 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 9050
9060 GOTO 85
9070 RETURN
```

El programa tiene además una subrutina de interrupción de procesos, de la cual ya hemos hablado de una manera general, que a través de la función F10 se ejecuta. Esta subrutina una vez ejecutada manda inmediatamente a apagar la máquina e imprime en la pantalla:

"EL PROCESO HA SIDO INTERRUMPIDO"

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA REGRESAR AL MENU

Esta subrutina ha sido diseñada por motivos de seguridad en caso de que la continuación del proceso pueda dañar la máquina o incluso poner en peligro la vida humana.

```
11000 REM RUTINA DE INTERRUPCION*****************************
11010 OUT &H3BC,0
11015 BEEP
11030 LOCATE 12,8:PRINT "EL PROCESO HA SIDO INTERRUMPIDO"
11040 LOCATE 20,1:PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA
      REGRESAR AL MENU"
11050 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 11050
11060 GOTO 85
11070 RETURN
```

También tiene una subrutina para que en caso de error de BASIC el programa la ejecute. Esta subrutina apaga la máquina y manda un mensaje en la pantalla de la computadora indicando qué tipo de error se ha producido y en qué línea del programa se ha producido el error. Luego, sale del programa para que pueda ser chequeado a través de un "list", y ser corregido en la línea indicada.

```
10000 REM RUTINA DE ERROR************************************
10010 OUT &H3BC,0
10020 CLS
10030 LOCATE 12,8:PRINT "ERROR NUMERO";ERR;"EN LA LINEA";ERL
10040 RESUME 550
```

N O T A S :

(1) **Browning:** *"Catalogo de Equipos para Transmisión de Potencia"*. 1980.

(2) **Ceballos Javier:** *"GW BASIC BASICA para IBM-Pc y compatibles"*. 1990.

(3) **Dormido, S., Prada de, C.:** *"Fundamentos y técnicas básicas en el control de procesos con ordenador"*. 1984.

(4) **Gupton James A.:** *"Computer Controlled Industrial Machines, Processes, and Robots"*. Prentice Hall, 1986.

(5) **Hall, Holowenco, Laughlin:** *"Diseño de Máquinas"*. 1971.

(6) **Helmut Schmidt/Wolfgang Weber:** *"Messen und Experimentieren mit IBM-PC's und Kompatiblen"*. 1986.

(7) **Holman:** *"Experimental Methods for Engineers"*. 1978.

(8) **Katsuhiko Ogata:** *"Ingeniería de Control Moderna"*. 1980.

(9) **Marks:** *"Manual del Ingeniero Mecánico"*. 1984.

(10) **Popov Egor:** *"Meánica de Sólidos"*. 1986.

(11) **Shigley/John Uicker:** *"Teoría de máquinas y mecanismos"*. 1983.

(12) **Shigley/Larry Mitchell:** *"Diseño en Ingeniería Mecánica"*. 1985.

(13) **SKF:** *"Catalogo General"*. 1982.

(14) **Timoshenko S.:** *"Resistencia de materiales"*. 1967.

CAPITULO V

EVALUACION

5.1. PRUEBAS PARCIALES

Durante la construcción de la máquina y de los controles, y a medida que se iva terminando cada parte de la máquina, se fueron haciendo pruebas para ver si su funcionamiento era el adecuado.

Muchas de estas pruebas fueron realizadas manualmente, es decir, haciendo funcionar la máquina y viendo si el comportamiento de la parte era como se esperaba. Otras pruebas fueron realizadas por medio de instrumentos de precisión en el laboratorio, constatando que las tolerancias sean las adecuadas, los voltajes en los circuitos electrónicos sean los esperados, las temperaturas sean las medidas por la computadora, etc.

Las pruebas las vamos a dividir así:

-Pruebas de Fusión e Inyección

-Pruebas de Movimiento del Carro;

-Pruebas de Movimiento de Leva;

-Pruebas de Temperatura; y

-Pruebas de Funcionamiento en conjunto.

PRUEBAS DE FUSION E INYECCION

Estas pruebas fueron realizadas independientemente de la máquina, mediante un controlador de temperatura analógico y el accionamiento de los inyectores realizado manualmente. El controlador de temperatura era independiente para el horno y los inyectores.

Así, con la ayuda de un molde para fundición casera de balas, se fabricaron algunos cientos de balas de plomo.

Estos moldes para fundición manual tienen un cortador que puede ser accionado con un martillo manualmente o con cualquier otra herramienta para golpear.
Luego, pueden ser abiertos por medio de sus dos maniguetas que funcionan como tijera y dejados caer con ligeros golpeteos sobre alguna superficie sólida.

Los moldes que se utilizaron sólo tenían capacidad para

dos balas a la vez, por ésto fue necesario desconectar dos inyectores, desentornillando sus pines.
Las primeras piezas fundidas tuvieron que perderse porque no se contaba con un sistema de precalentamiento de moldes, y así fue necesario hacer varias coladas en el molde hasta que éste se caliente a una temperatura adecuada para la fusión.

Es por ésto que fue necesario en el diseño de la máquina incorporar un sistema de calentamiento de moldes por medio de aire caliente.

El sistema tenía la ventaja de que cuando el molde se calentaba demasiado podía ser usado para enfriarlo desconectando la resistencia que calentaba el aire.

El problema del control de temperatura del molde se lo resolvía fácilmente con el software dándole órdenes de control para la temperatura mínima y máxima que debía de tener el molde.

PRUEBAS DE MOVIMIENTO DEL CARRO

Para ayudarnos en las pruebas que se realizarían para accionamiento de los servomecanismos de la máquina, se

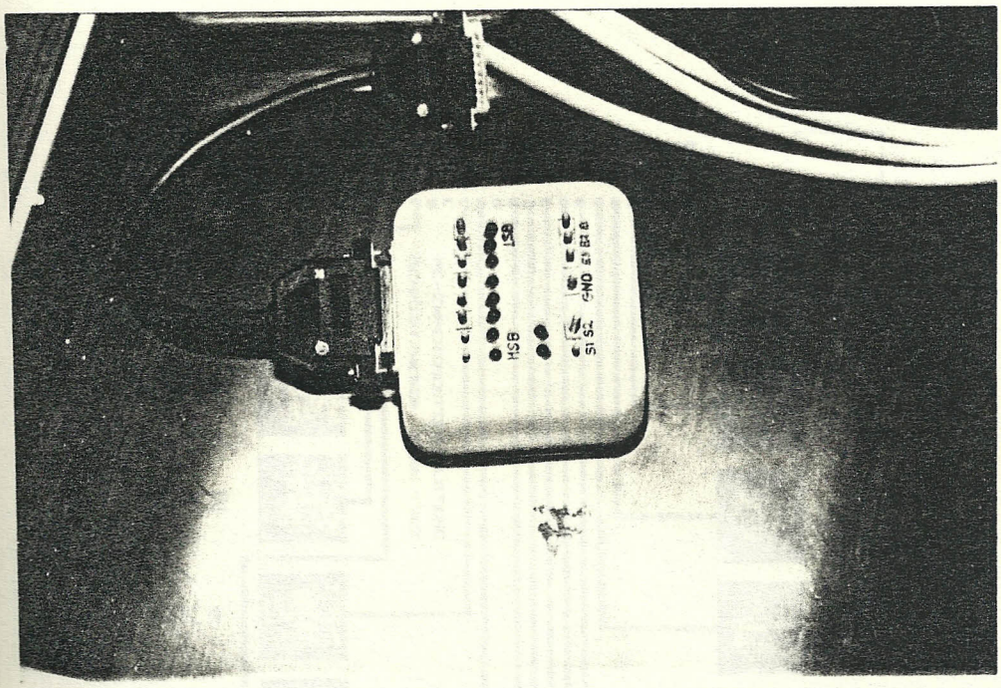


FIGURA 5.2 CAJA PARA PRUEBAS DEL PUERTO PARALELO

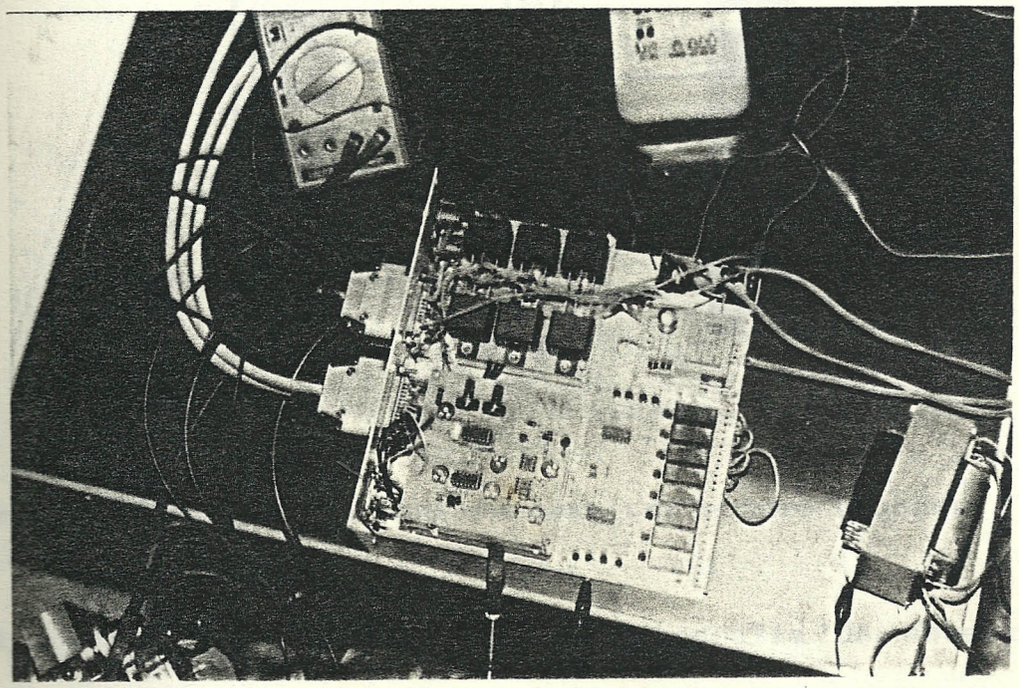


FIGURA 5.3 VISTA SUPERRIOR DE LOS CONTROLES

construyó una caja con ocho diodos luminosos conectados a un enchufe 25D como se muestra en la figura 5.1:

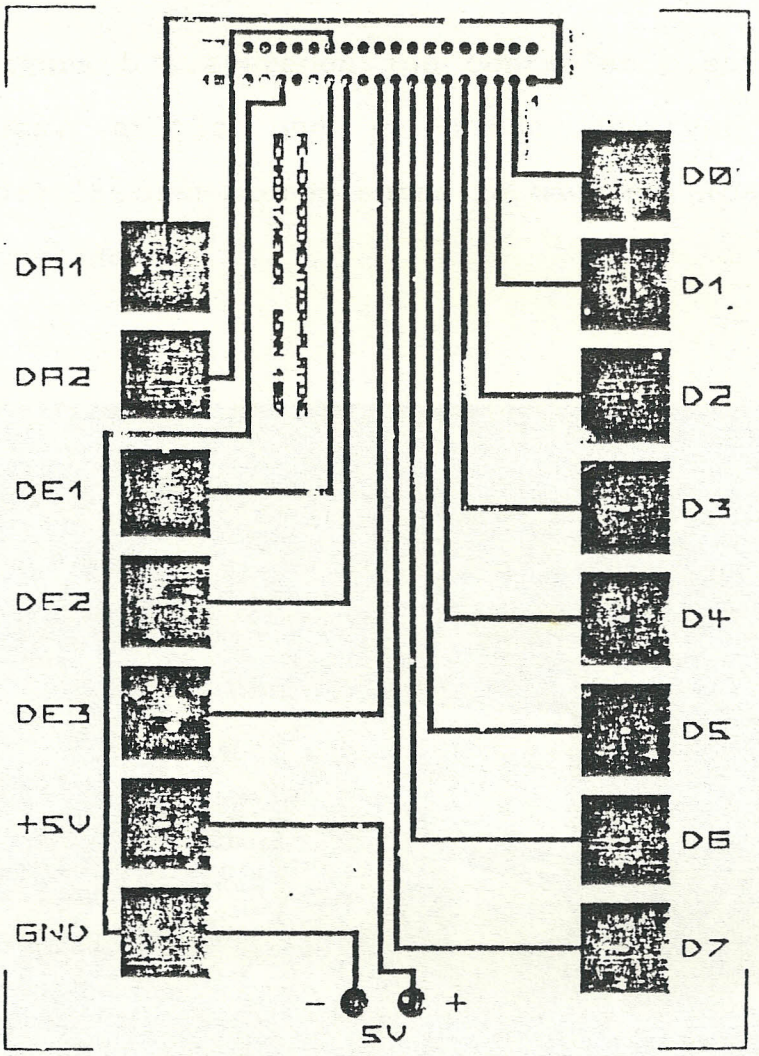


FIGURA 5.1 CIRCUITO PARA PRUEBAS DEL PUERTO PARALELO

A continuación mostraremos una fotografía de esta caja vista exteriormente, figura 5.2:

Una vista parcial de los controles electrónicos para las pruebas de posición del carro se muestra en la figura 5.3.

En la figura 5.4 aparecen los controles electrónicos en otra vista, en la que se puede observar cómo van realizadas las conexiones entre la máquina, los controles y la computadora.

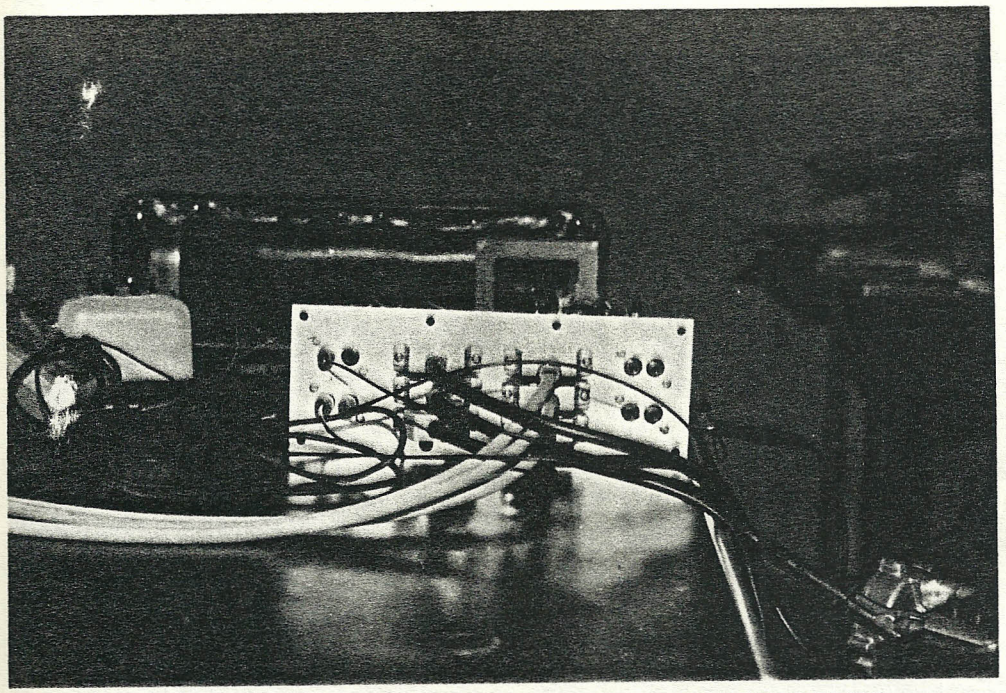


FIGURA 5.4 VISTA LATERAL DE LOS CONTROLES

Se realizó un programa de ensayo donde se podía operar la máquina manualmente con la ayuda de la instrucción ON KEY usando las flechas del cursor, de manera que para el movimiento del carro hacia adelante, aplastábamos el

cursor con la flechita hacia arriba. Y si aplastábamos hacia abajo la máquina movía su carro hacia atrás.

Estos programas leían la posición y cuando llegaban al final de su recorrido mandaban a apagar el motor.

Con la ayuda de este programa, se pudo calibrar la barra de posición por medio de su rosca y una contratuerca. En la figura 5.5 se muestra el funcionamiento de la máquina con la ayuda de este programa.

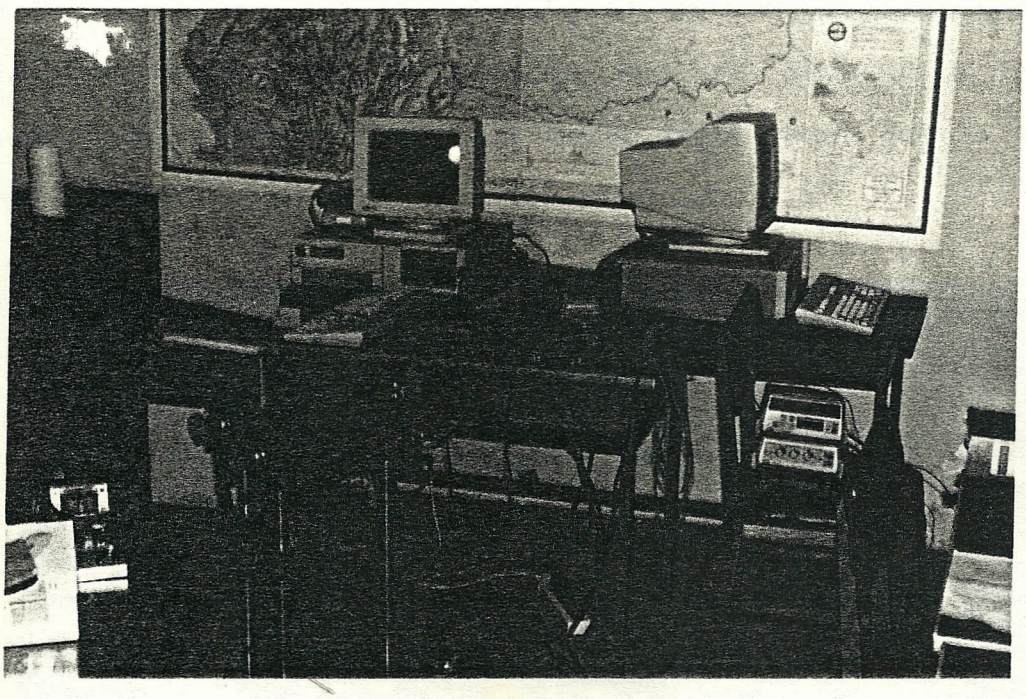


FIGURA 5.5 CONEXION DE LOS CONTROLES A LA MAQUINA

Una vez verificado el funcionamiento correcto del programa, se construyó el programa secuencial que gobierna el control del proceso de toda la máquina.

PRUEBAS DE MOVIMIENTO DE LA LEVA

Al igual que se hizo para las pruebas del movimiento del carro, se construyó un programa que hacía funcionar el motor de la leva con la flechita del cursor hacia la derecha.

Este programa es básicamente el mismo que se utiliza para el control del proceso de la máquina. Gracias a él se determinó el tiempo necesario de vibración para que caiga la pieza fundida y también se determinó el tiempo que se necesitaba después de que se leía la señal discontínua en la pista del motor para hacer que la leva se detenga en su punto muerto superior.

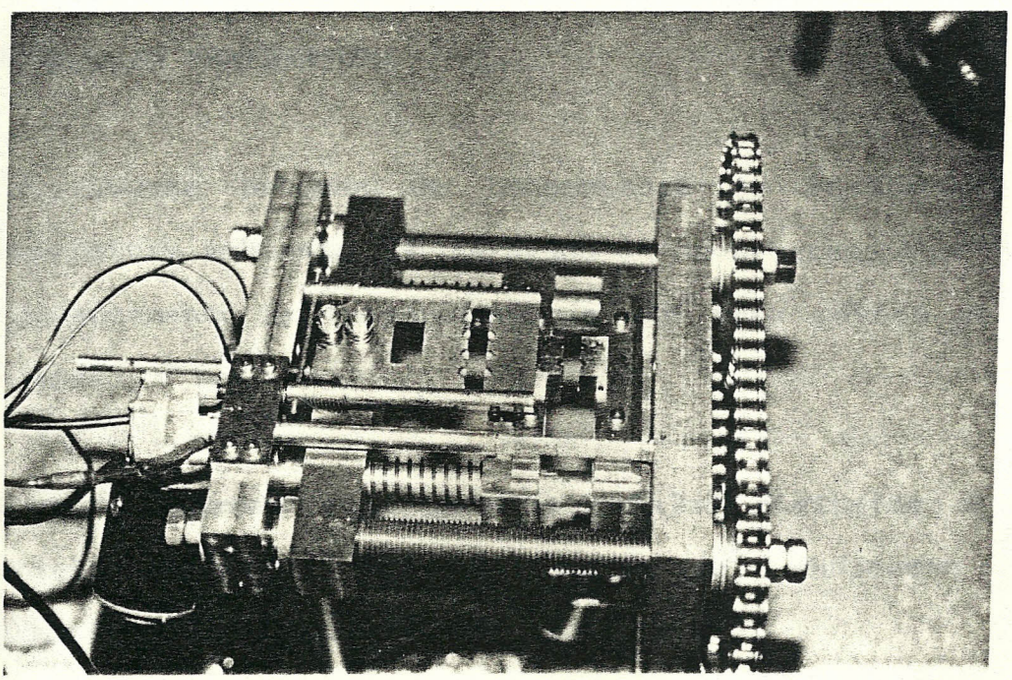


FIGURA 5.6 FUNCIONAMIENTO DE EL VIBRADOR

En la figura 5.6 se muestra una fotografía de la leva funcionando con la ayuda de este programa.

También se realizaron pruebas para ver en qué dirección del movimiento de la lva se producía el mayor sacudimiento para comprobar si coincidía con el razonamiento expuesto en el capítulo anterior.

Se observó que con este programa la leva siempre paraba en su punto muerto superior, de manera que a partir de ese momento tuvimos la confianza necesaria para armar la estructura del programa principal que movería todo el sistema.

PRUEBAS DE TEMPERATURA

Las primeras pruebas de temperatura se realizaron a temperatura ambiente con la ayuda de un programa que leía constantemente la temperatura de las tres partes de la máquina.

En este programa sólo leíamos señales digitales de la tarjeta analógico digital que nos indicaban la temperatura del horno.

Luego se llevó al horno hasta una temperatura aproximadamente de 400° (temperatura que fue medida con un multímetro analógico) y se leyó la señal digital que marcaba la computadora. Con ayuda de estos valores se pudo hallar una relación matemática para la temperatura en función de la señal digital. Para este cálculo se asumió que esta relación era lineal, asunción qu está bastante cerca de la realidad.

Luego de construyó un programa para el calentamiento y regulación de la temperatura, que es el programa que se utiliza como una subrutina en nuestro programa final. Con este programa realizamos pruebas de calentamiento y de mantención de temperatura con histéresis de diez grados centígrados. Los resultados obtenidos fueron los esperados.

También pudimos constatar que la temperatura después de cada ciclo de producción no cambiaba mucho con respecto a a la temperatura de referencia. Esto es gracias a que el tiempo que se demora la máquina en realizar un ciclo es bastante corto, y no es necesario efectuar mediciones y control de temperatura, en más ocasiones en un ciclo.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN CONJUNTO

Estas pruebas fueron realizadas con la máquina trabajando en vacío (sin metal fundido).

Se construyó el programa uniendo todas las subrutinas construídas independientemente para probar la máquina en las pruebas parciales. Además se hizo una estructura de funcionamiento del programa con un menú y subrutinas para interrupción del proceso manual y apagado de la máquina en caso de error del BASIC.

Durante estas pruebas surgió un problema en el control de la posición del carro, ésto parecía ser el resultado de la contaminación de ruido provenientes de las otras señales de control que funcionaban al mismo tiempo. El problema fue superado fácilmente a través del software, leyendo dos veces la misma señal, de tal manera que teníamos una lectura más real de la posición.

Para mejorar más aún esta señal se podría haber utilizado un chip fabricado para el SAMPLE AND HOLD (muestreo y mantenimiento de señales) que saca un promedio en un determinado tiempo de la lectura que queremos tomar.

Las pruebas se realizaron varias decenas de ciclos, para varios números de piezas, varios parámetros de ejecución y usando parámetros grabados en archivos secuenciales (de

la última ejecución), para tener la seguridad de que la máquina no fallaría en el momento en que trabaje con metal fundido. El resultado fue satisfactorio en un ciento por ciento.

También se realizaron pruebas de fallas de corriente eléctrica para verificar el funcionamiento del cargado automatico del programa y memoria de ejecución. Estas pruebas también resultarón satisfactorias y la máquina realizo el número de ciclos que le faltaba realizar para terminar la producción de piezas encomendadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

1. El control de la máquina con computadora, facilita en gran medida el proceso de fundición, siendo únicamente necesario hacer la alimentación del horno manualmente, operación que también podría automatizarse.

2. Hoy en día no se puede construir una máquina de producción sin controles automáticos, pues a medida que evoluciona la tecnología, los procesos de producción requieren de mayor rapidez y precisión. Sin la automatización la pequeña industria no podrá competir con la gran industria ni en precio, ni en calidad. Es por ésto de vital importancia que se desarrollen sistemas de control más sencillos, al alcance de cualquier Ingeniero Mecánico en nuestro país, éste fue uno de los objetivos de este Proyecto.

3. Los Ingenieros Mecánicos tenemos que aceptar que el desarrollo de la electrónica ha evolucionado de una manera muy acelerada dejando atrás a la neumática, hidráulica y fluídica, de manera que tenemos que actualizarnos en este nuevo campo de la automatización para poder responder adecuadamente a los requerimientos de nuestra industria

que constantemente está buscando el mejoramiento de su eficiencia y productividad para poder competir en nuevos mercados.

RECOMENDACIONES:

1. Utilizar motores de paso para mover los moldes, de manera que se tenga mayor presición en el movimiento del carro y se pueda saber en cada instante del proceso, la posición exacta del mismo. Además ésto permitiría parar el carro en el mismo instante en que se apaga el motor, evitándonos adelantos de tiempos en las paradas para conseguir una posición determinada.

2. Mejorar el software, de manera que se pueda regular mediante el cursor la posición dónde debe parar el motor para cerrar los moldes. De esta manera cuando se cambia de moldes de diferente tamaño, no es necesario tener que hacer cambios en el programa, sino simplemente en su configuración.

3. Realizar pruebas para determinar factores de corrección de tiempo de llenado de moldes, cuando cambia el nivel de metal fundido dentro del horno.

4. En base a pruebas realizadas en la máquina, almacenar parámetros de funcionamiento en archivos secuenciales para distintas aleaciones y piezas. Es decir que sólo sea necesario decirle a la computadora el peso de la pieza, la aleación y el número de piezas por ciclo.

5. Utilizar para el sistema de eyección de piezas, si es que hay las posibilidades, un sistema de eyección por aire, que realice una eyección rápida, segura y más eficiente.

6. También para el sistema de eyección de los vertederos, recomiendo usar aire como sistema de eyección en lugar del vibrador, porque produce menos problemas.

7. Utilizar un solenoide que permita estar mayor cantidad de tiempo energizado sin sobrecalentarse, como actuador para los inyectores, para evitar tener que utilizar un sistema de refrigeración para el mismo.

APENDICES

1	2	3	4	5
No. DE ORDEN	No. DE PIEZAS	DENOMINACION	DESIGNACION	OBSERVACIONES
		PIEZAS		
1	1	BASE	MFCNC.01.91	
2	1	TEMPLADOR DE CADENA	MFCNC.02.91	
3	1	EJE DEL PINON	MFCNC.03.91	
4	1	EJE MOTOR PROPULSOR	MFCNC.04.91	
5	1	BASTIDOR FRONTAL	MFCNC.05.91	
6	4	MUELLE DEL SEGUIDOR	MFCNC.06.91	
7	1	LEVA	MFCNC.07.91	
8	2	GUIA DEL CORTADOR	MFCNC.08.91	
9	2	MUELLE DEL CORTADOR	MFCNC.09.91	
10	2	MUELLE GUIA CORTADOR	MFCNC.10.91	
11	1	BASTIDOR POSTERIOR	MFCNC.11.91	
12	2	BISAGRA DEL HORNO	MFCNC.12.91	
13	1	BARRA DE POSICION	MFCNC.13.91	
14	1	CAJA DE CONTROLES 50X25X15	MFCNC.14.91	
15	2	TORNILLO DE POTENCIA	MFCNC.15.91	
16	1	CARRO	MFCNC.16.91	
17	1	ESPARRAGO TOPE	MFCNC.17.91	
18	1	ESPARRAGO PIVOTE	MFCNC.18.91	
19	1	SEGUIDOR CORTADOR	MFCNC.19.91	
20	2	GUIA DEL CARRO	MFCNC.20.91	
21	2	BOCIN P. MOLDE MOVIL	MFCNC.21.91	
22	2	MUELLE DEL CARRO	MFCNC.22.91	
23	2	MANGUITO	MFCNC.23.91	
24	1	PASADOR CORTADOR	MFCNC.24.91	
25	1	DISCO-POSICION POST.	MFCNC.25.91	
26	1	DISCO-POSICION FRONT.	MFCNC.26.91	
27	1	EJE MOTOR VIBRADOR	MFCNC.27.91	
28	1	CORTADOR	MFCNC.28.91	
29	1	CONTRA-CORTADOR	MFCNC.29.91	
30	1	PORTA-MOLDE MOVIL	MFCNC.30.91	
31	1	SEGUIDOR MOLDE MOVIL	MFCNC.31.91	
32	1	PORTA-MOLDE FIJO	MFCNC.32.91	
33	1	SEGUIDOR MOLDE FIJO	MFCNC.33.91	
34	3	PATAS	MFCNC.34.91	

ITEM	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE

	FECHA	NOMBRE
DIBUJO	4/9/91	J. DREHER
REVISO		H. LOHRLEIN
APROBO		

ESPOL

MAQUINA DE FUNDICION CNC

MFCNC91-00

01

1	2	3	4	5
No. DE ORDEN	No. DE PIEZAS	DENOMINACION	DESIGNACION	OBSERVACIONES
		ELEMENTOS ESTANDARIZADOS		
35	3	PERNO M12X35		
36	1	PERNO M8X120		
37	10	PERNO M8X15		
38	1	PERNO M8X10		
39	4	PERNO M10X40 ALEN		
40	4	PERNO M8X15 ALEN		
41	4	PERNO M6X60 ALEN		
42	3	PERNO M6X50 ALEN		
43	4	PERNO M4X15 ALEN		
44	2	PERNO M3X10 ALEN		
45	3	TORNILLO M6X50		
46	3	TORNILLO M4X10		
47	3	TORNILLO M4X20		
48	16	TORNILLO M4X25		
49	2	PRISIONERO M5X5		
50	1	PRISIONERO M4X15		
51	3	ESPARRAGO M12X50		
52	4	TUERCA M16 SEGURIDAD		
53	3	TUERCA M10		
54	4	TUERCA M6		
55	14	ANILLO M16		
56	2	ANILLO M10		
57	1	ANILLO M8		
58	4	RODAMIENTO SKF302030		
59	2	RODAMIENTO SKF6004		
60	2	RODAMIENTO SKFNA4903		
61	4	RUEDAS		
62	2	CATALINA BROWNING No 5033		
63	1	PINON BROWNING No 5024		
64	1	CADENA BROWNING No 50		
65	2	MOTOR WAPSA M9390454001		
66	2	MOLDE LYMAN 533		

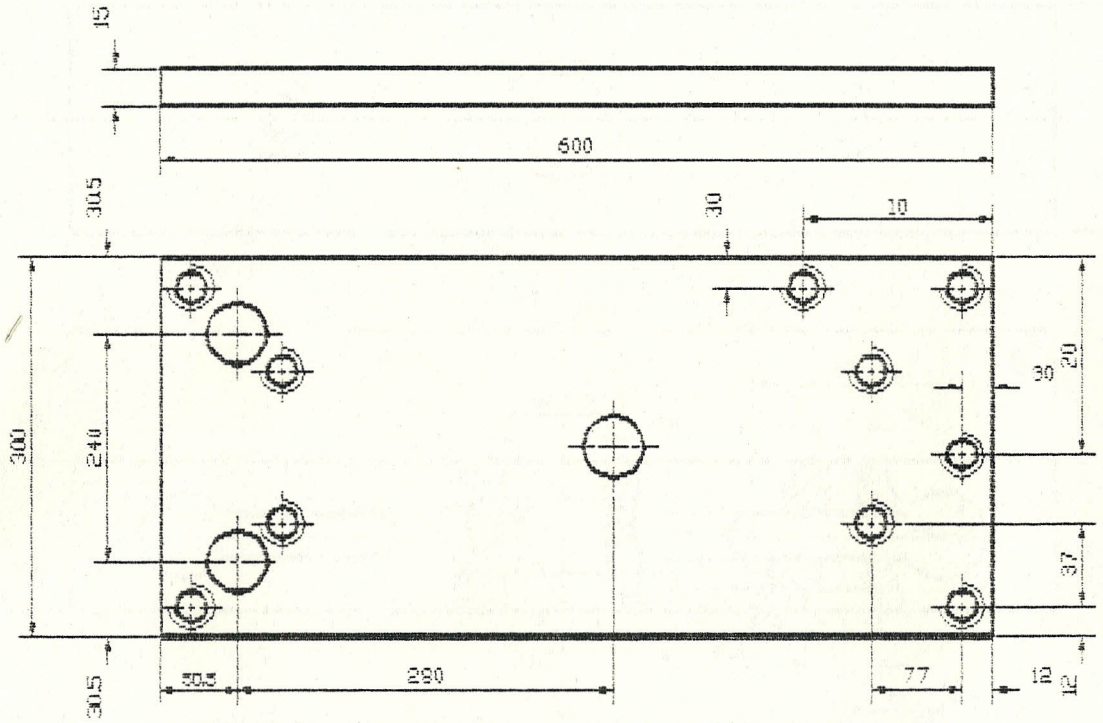
MODIFICACION	FECHA	NOMBRE
DIBUJO	4/9/91	J. DREHER
REVISO		H. LEHRLEIN
APROBO		

ESPOL

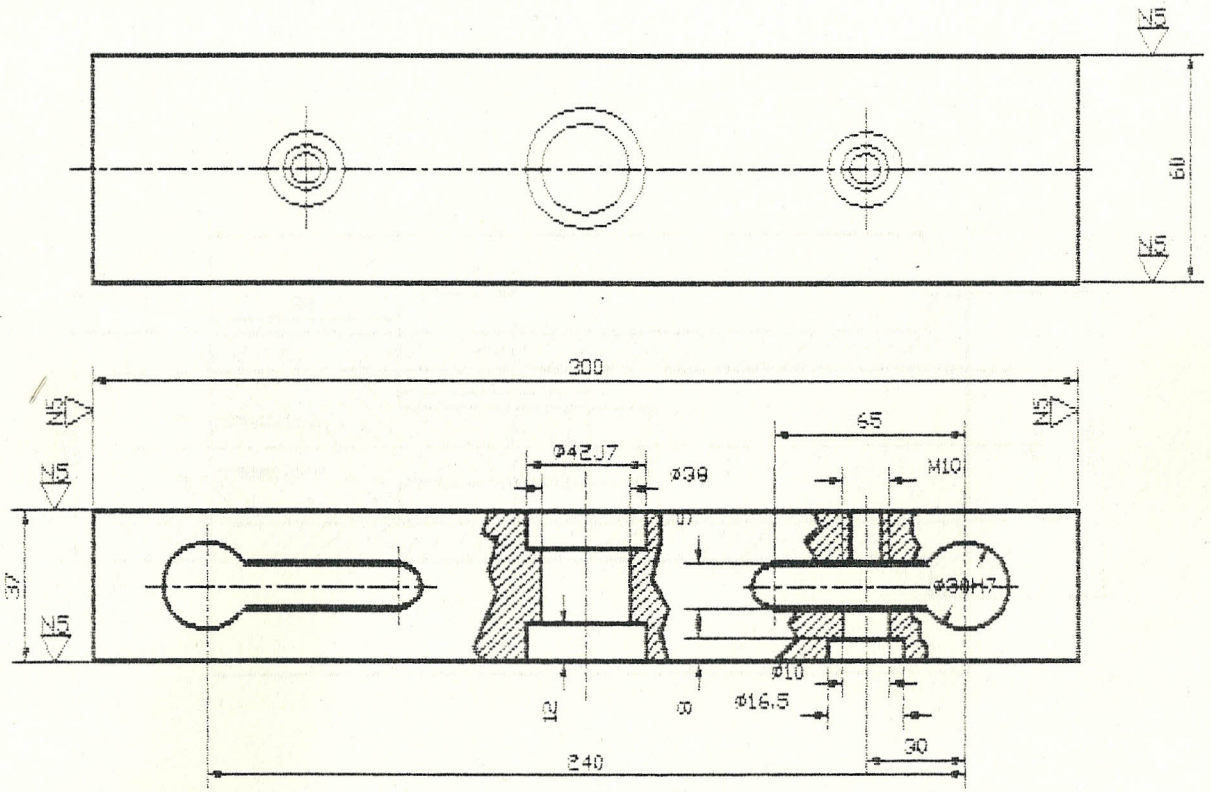
MAQUINA DE FUNDICION CNC

MFCNC91-00

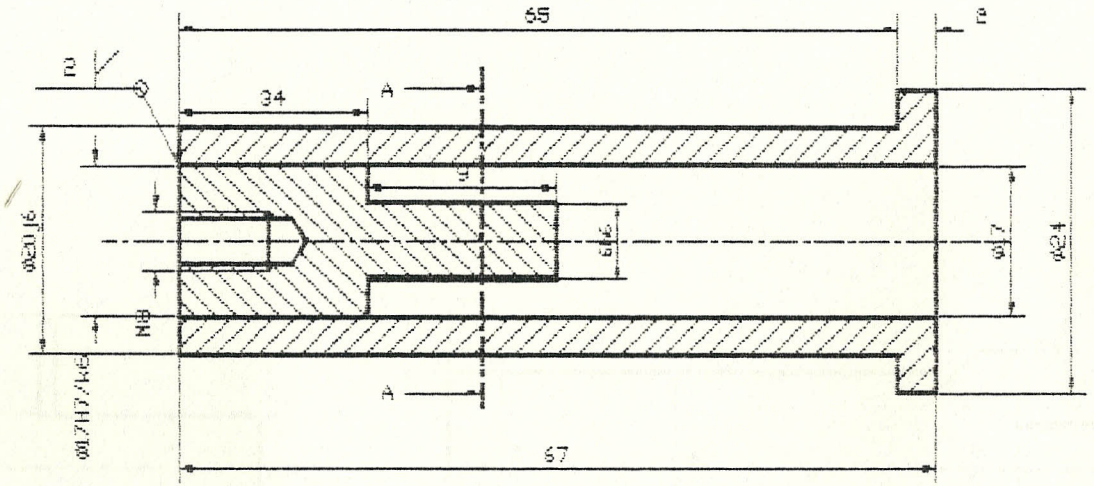
02



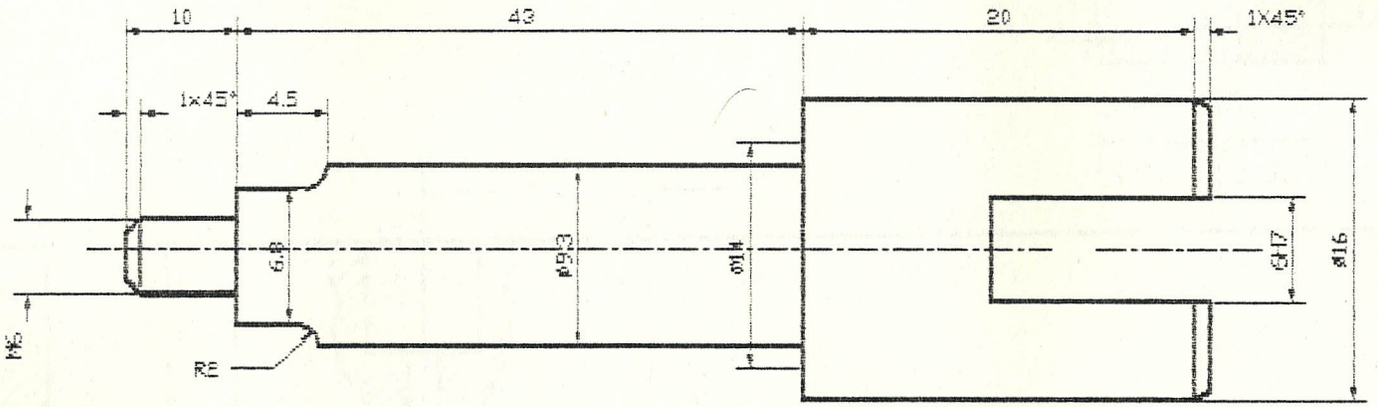
N7	PESO:	MATERIAL: UNS G10100	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	BASE BASTIDOR
REVISO	15/5/91	DR LOHRLEIN	
COMPROBO			
ESPOL		MFCNC.01.91	



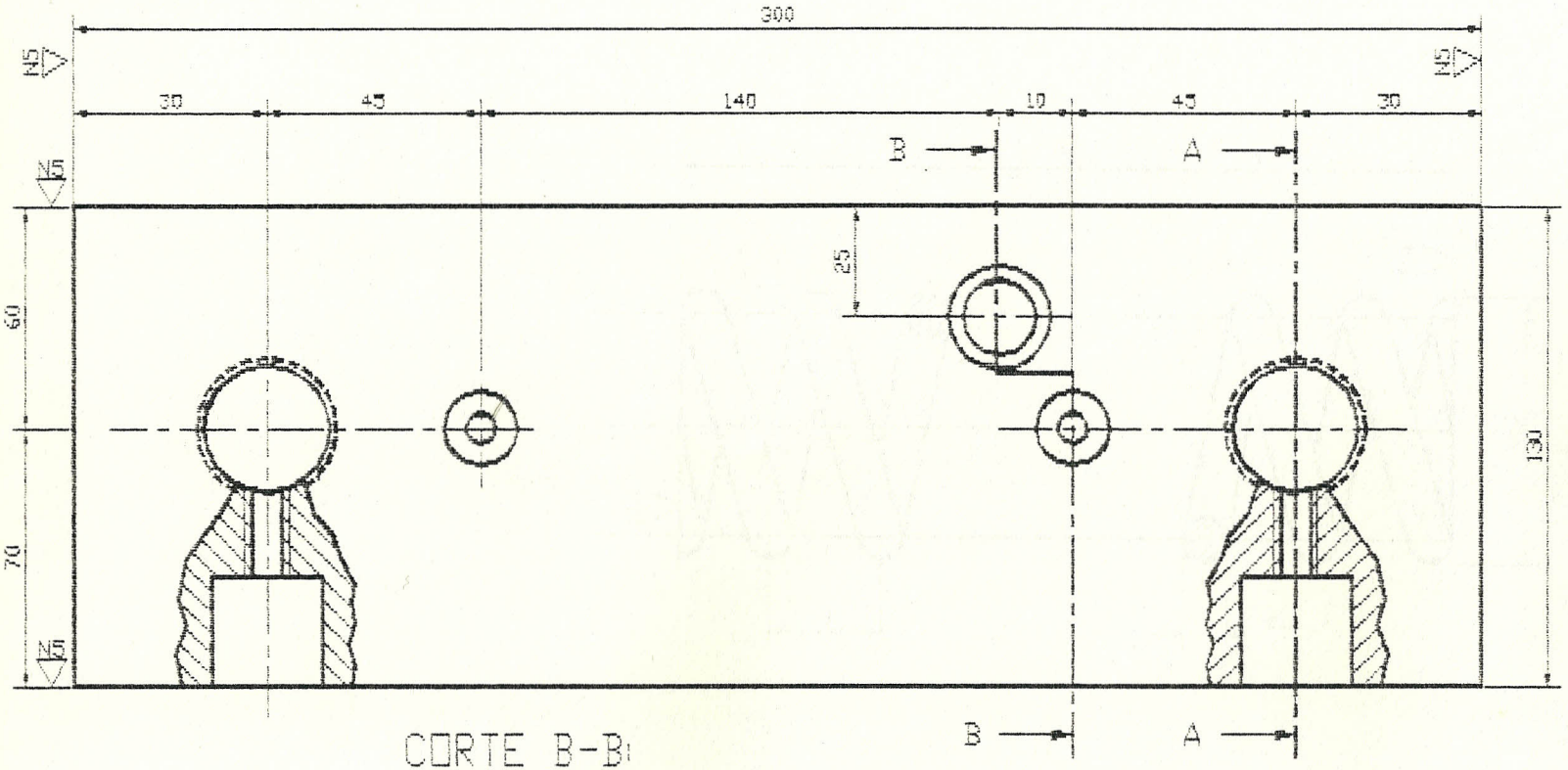
N7		PESO:	MATERIAL: UNSG10180 HR
	FECHA	NOMBRE	TEMPLADOR DE CADENA
DIBUJO	21/3/91	DREHER	
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL			MFCNC.02.91



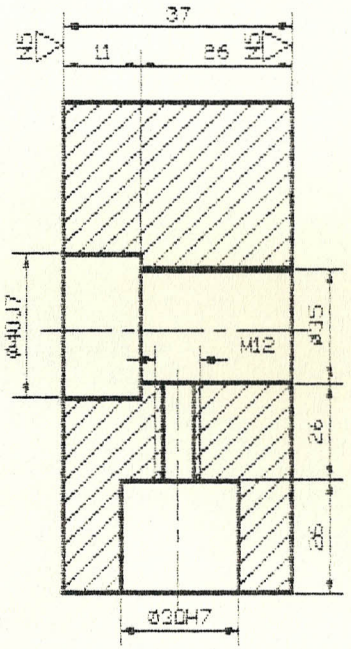
N7	PESO:	MATERIAL: UNS G10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/2/91	DREHER	EJE DEL PIÑON
REVISO	15/5/91	DR. LOHRLEIN	
APROBADO			
ESPOL		MFCNC.03.91	



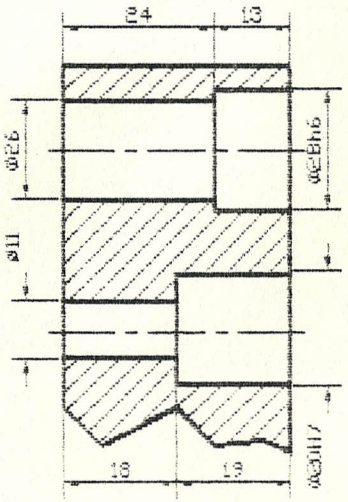
N7		PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DR E HER	EJE MOTOR PROPULSOR
REVISO	15/5/91	DR. LOHRLEIN	
APROBO			
ESCALA			MECNG.04.91



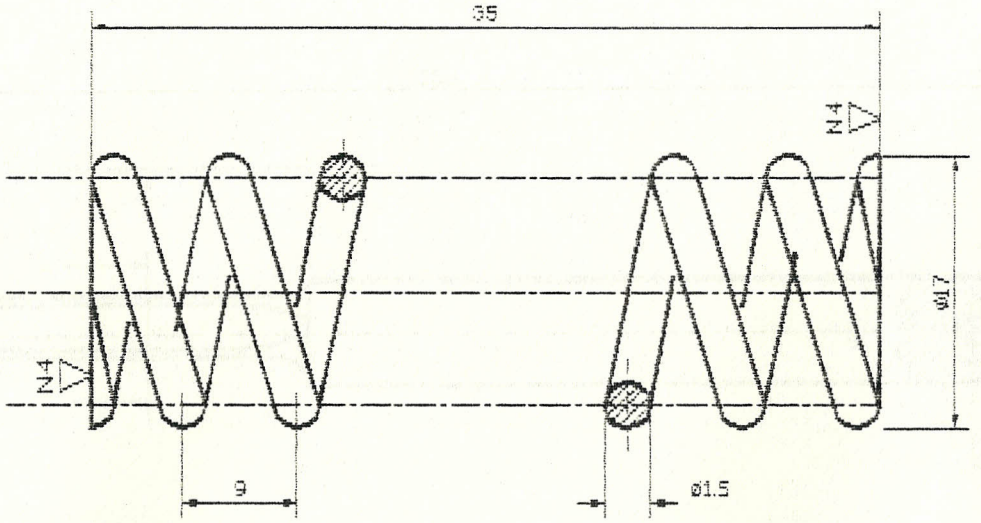
CORTE A-A



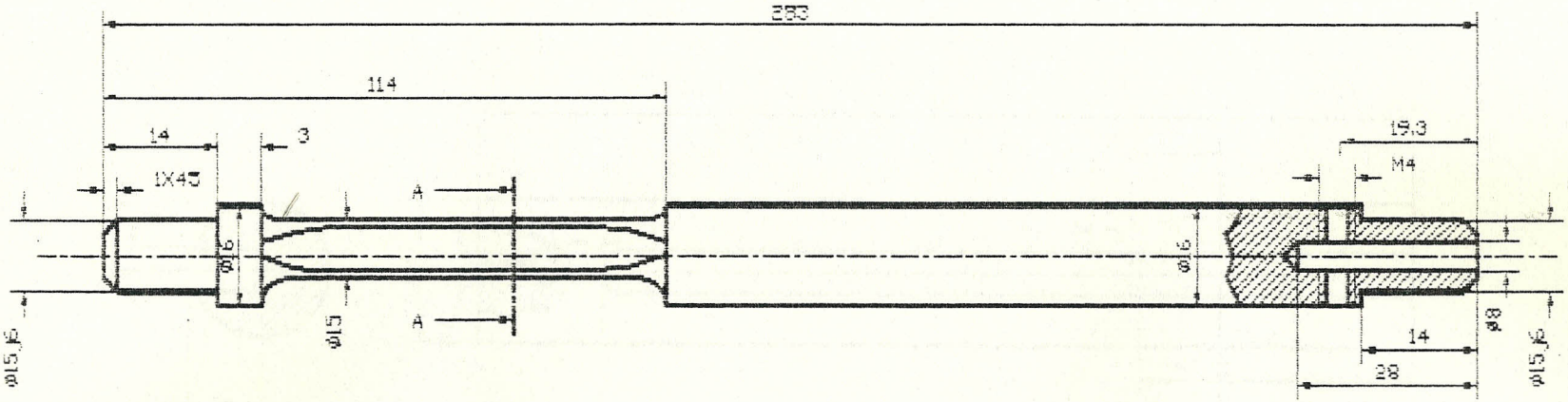
CORTE B-B



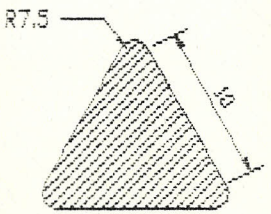
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10180 HR
	FECHA	NOMBRE
DIBUJO	21/3/91	DREHER
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN
COMPROBO		
ESPOL	BASTIDOR FRONTAL	
	MFCNC.05.91	



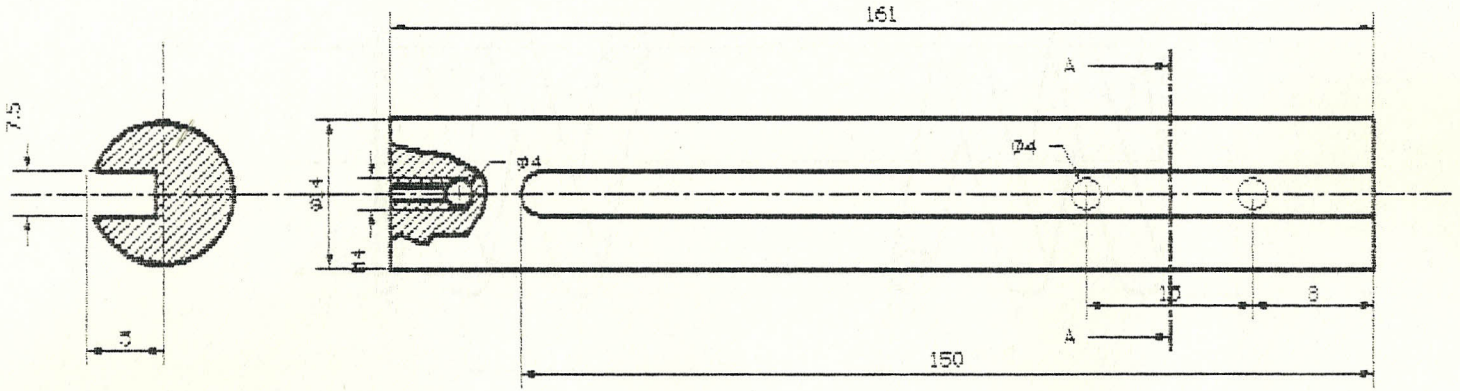
N5		PESO:	MATERIAL: UNS G10850
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	MUELLE DEL SEGUIDOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL			MFCNC.06.91



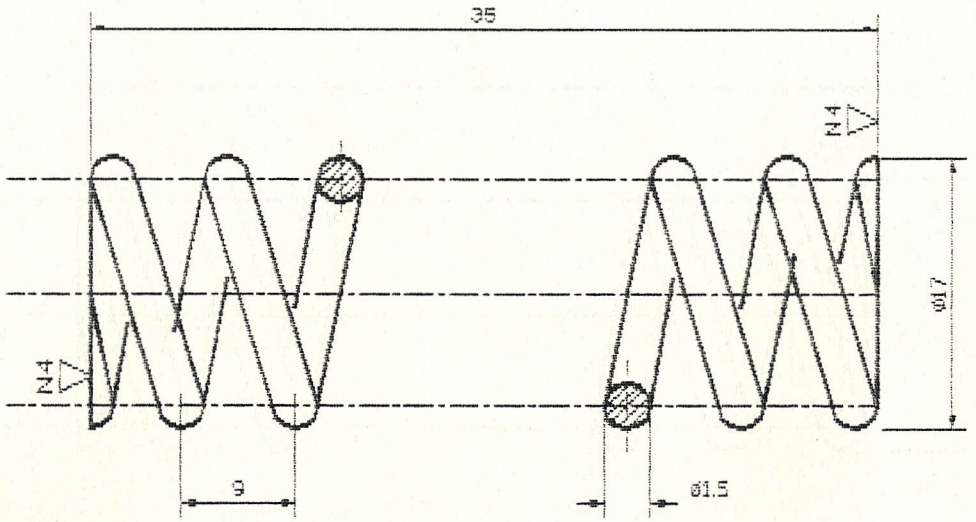
SECCION A-A



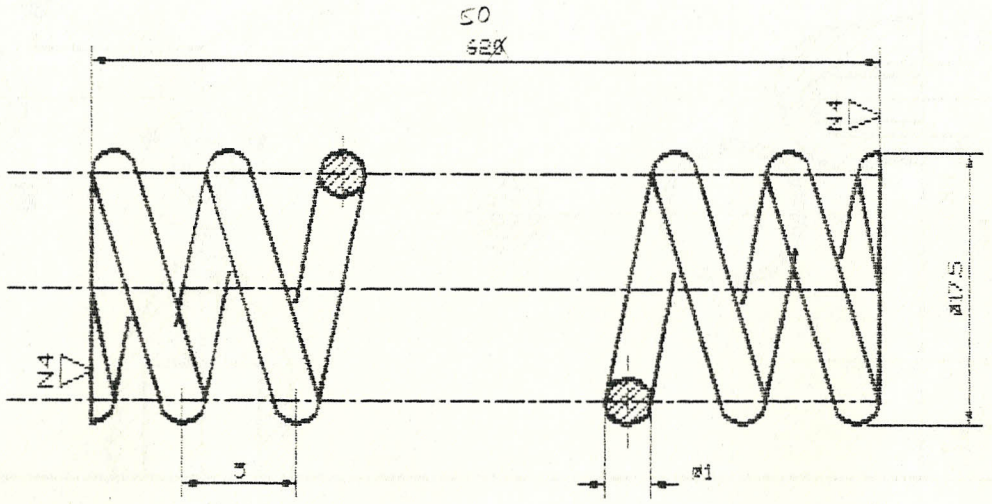
N7		PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/2/91	D.REHER	LEVA 1:1
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL			MFCNC.07.91



N7		PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	GUIA DEL CORTADOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL			MFCNC.08.91

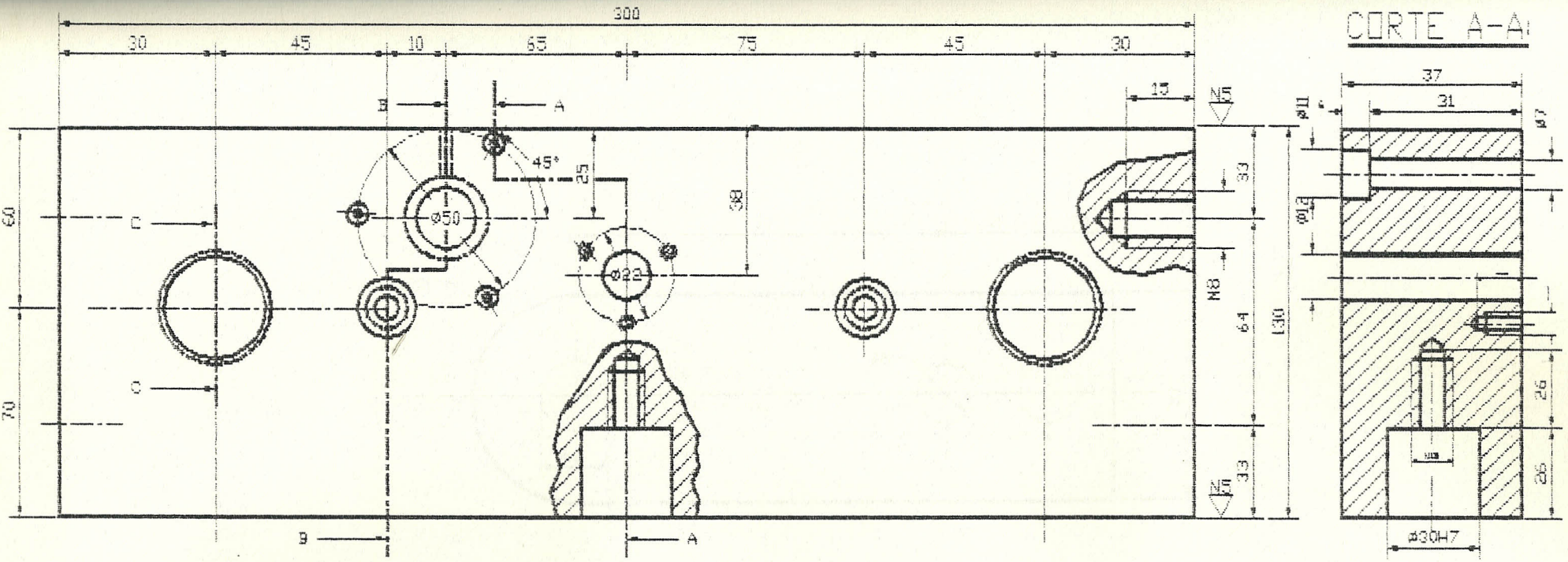


N5		PESO:	MATERIAL: UNS G10850
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DR.EHER	MUELLE DEL CORTADOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBADO			
ESPOL			MFCNC.09.91

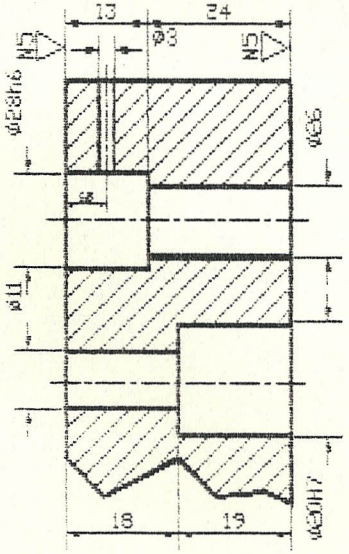


15

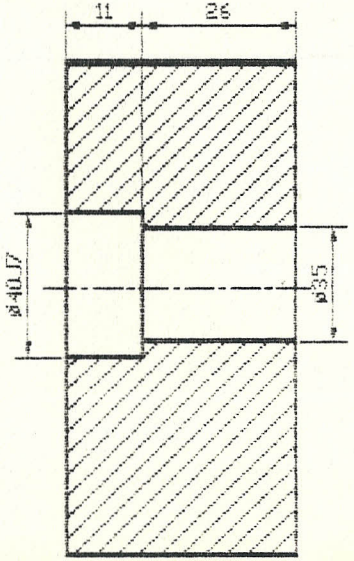
N5	PESO:	MATERIAL: UNS G10850	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	MUELLE GUIA DEL CORTADOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL		MFCNC.10.91	



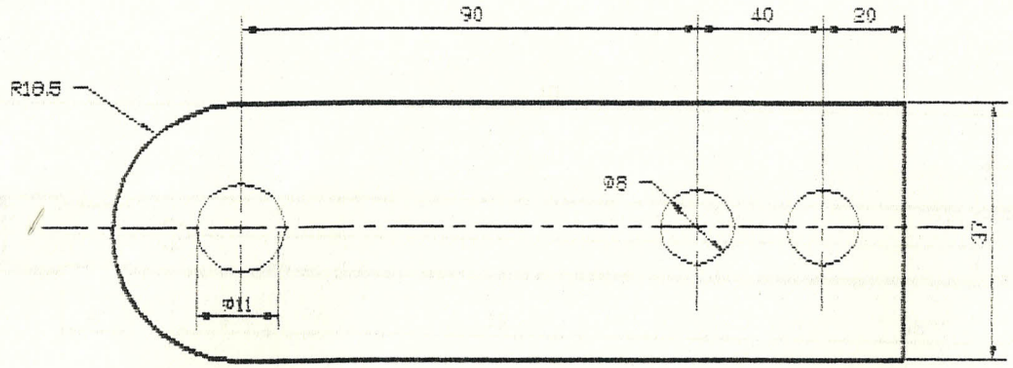
CORTE B-B

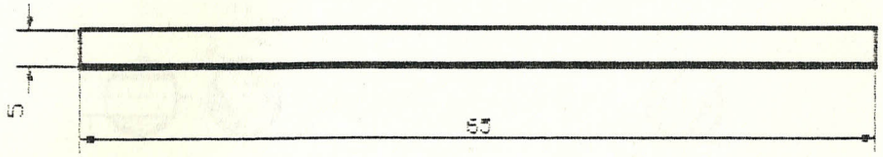


CORTE C-C

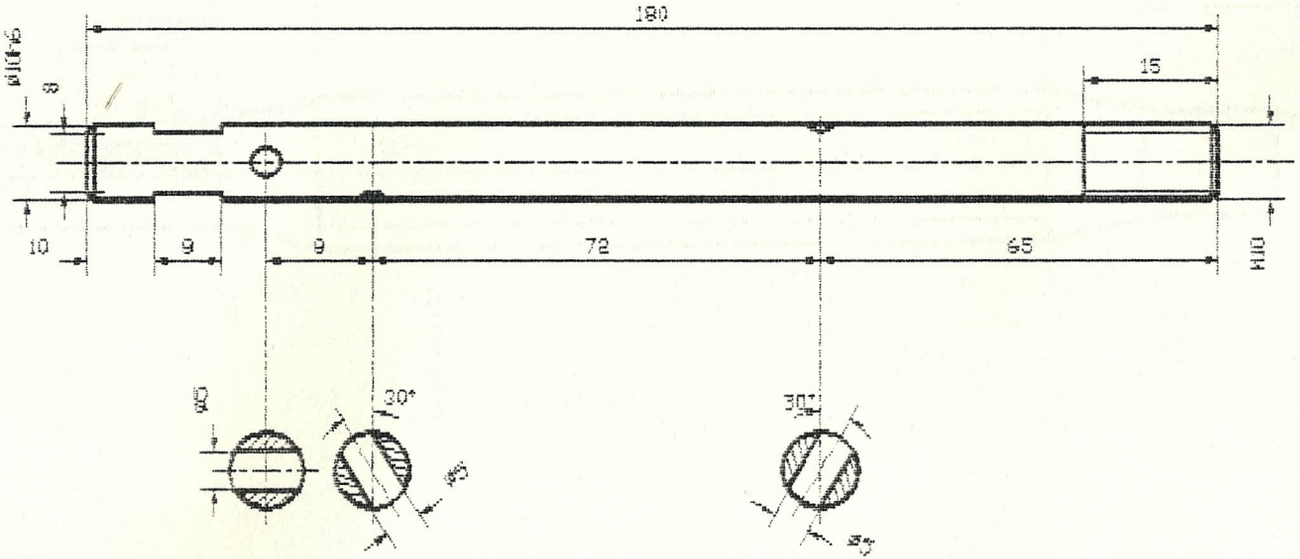


N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10180 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/2/91	DREHER	BASTIDOR POSTERIOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPROBO			
ESPOL		MFCNC.11.91	

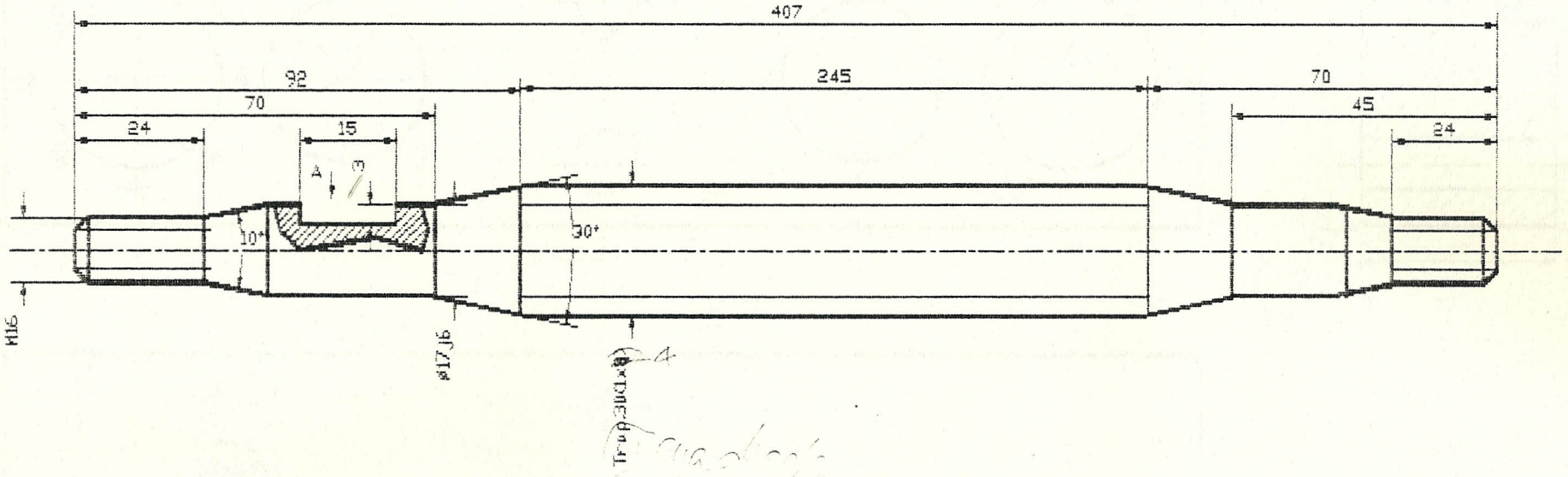




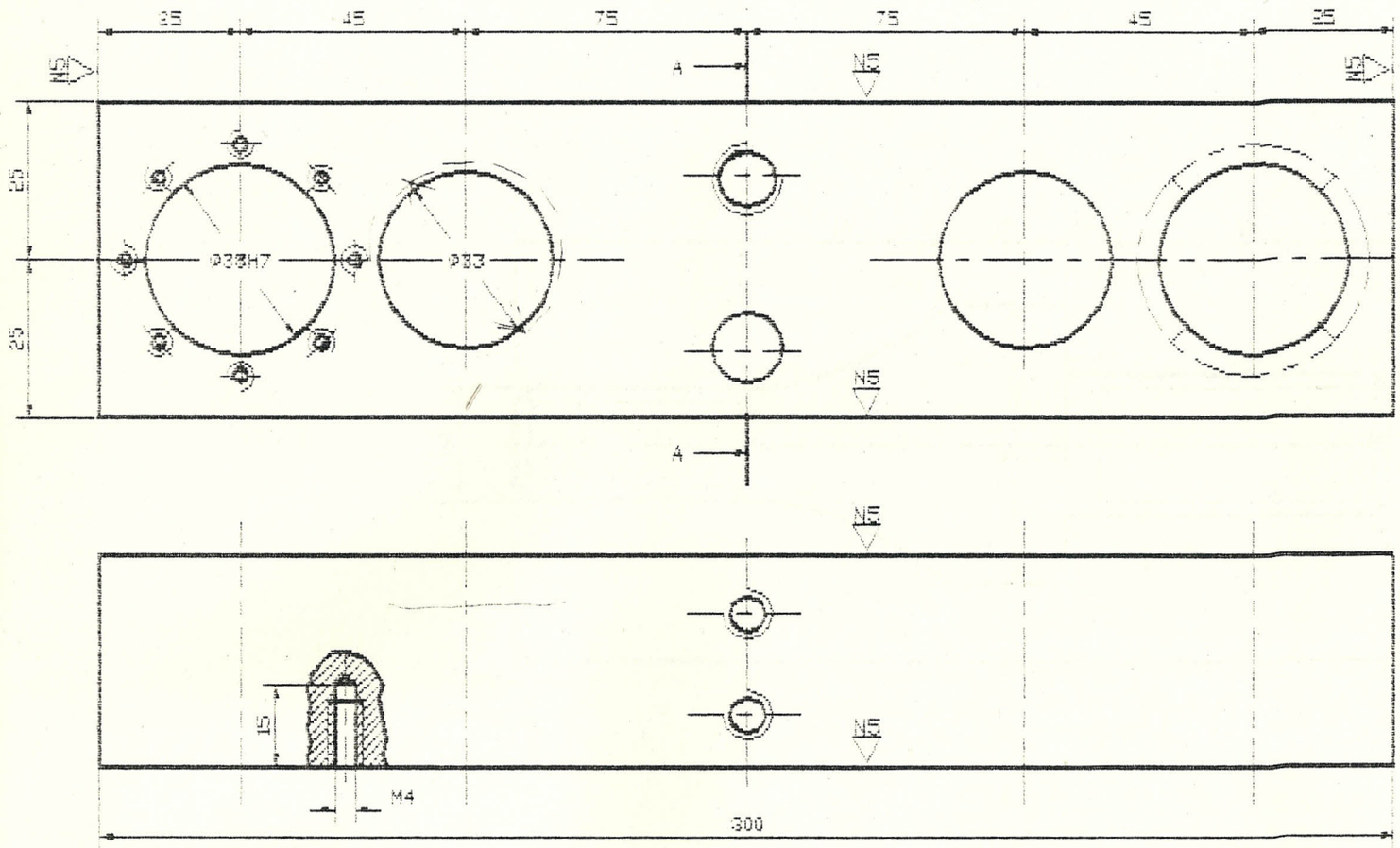
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10100 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DR.E.HER.	BISAGRA
REVISO	15/5/91	DR.LÖHRLEIN	
APROBADO			
ESPOL		MFCNC.12.91	

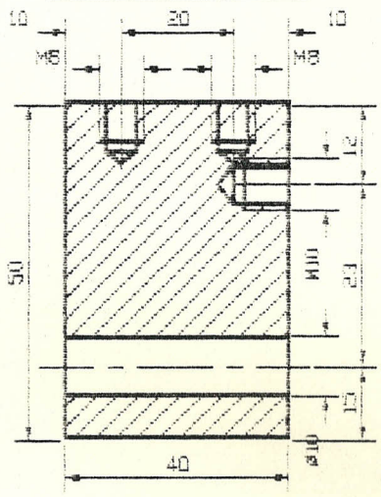


1.6		PESO:	MATERIAL: UNSG10180 HR
	FECHA	NOMBRE	BARRA DE POSICION
DIBUJO	21/3/91	DREHER	
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPROBO			
ESPOL			MFCNC.13.91

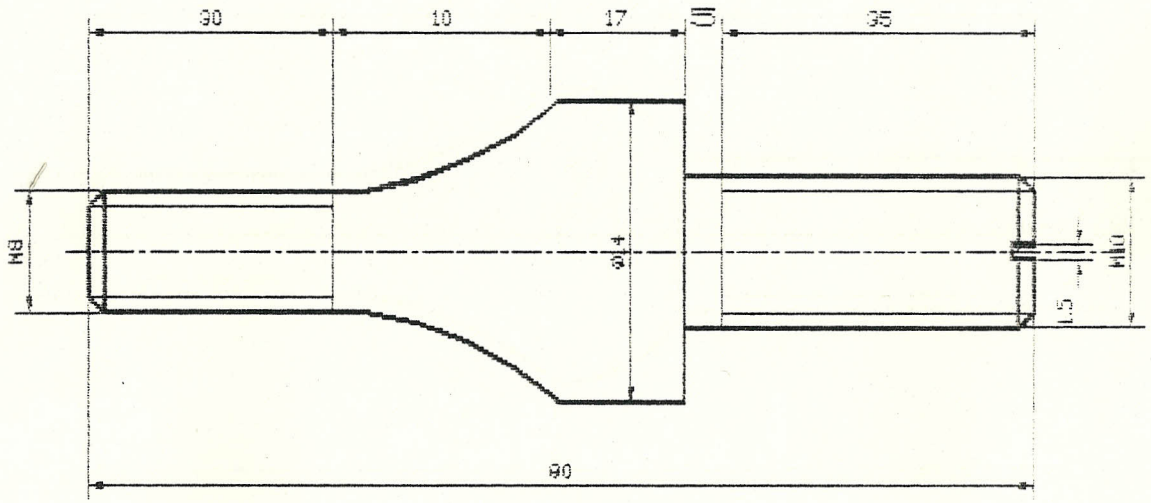


N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DR.E.HER.	TORNILLO DE POTENCIA
REVISO	15/5/91	DR LOHRLEIN	
COMPARO			
ESPOL		MFCNC.15.91	

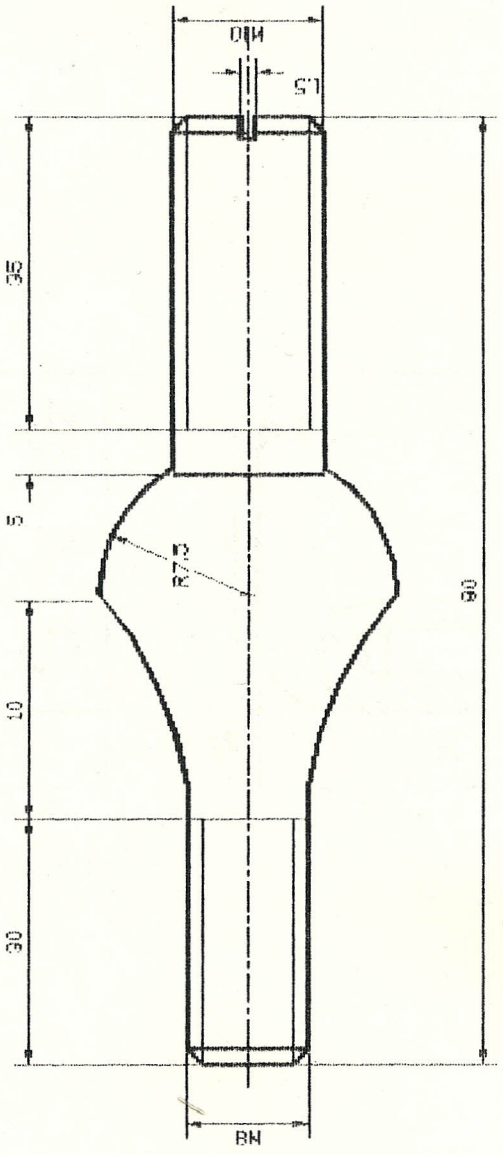




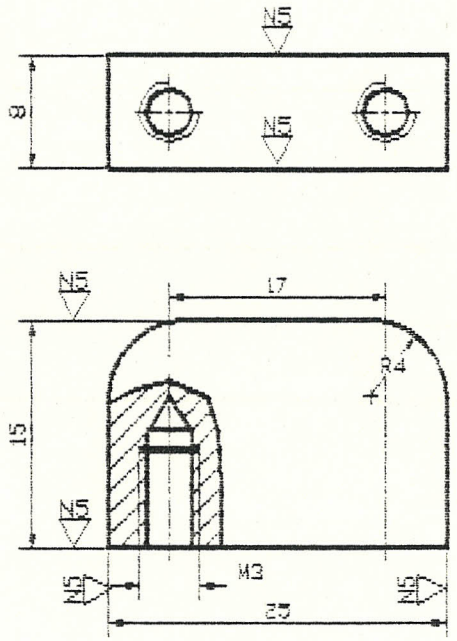
N7		PESO:	MATERIAL: UNSG10180 HR
	FECHA	NOMBRE	CARRO
DIBUJO	21/3/91	DREHER	
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPROBO			
ESPOL			MFCNC.16.91



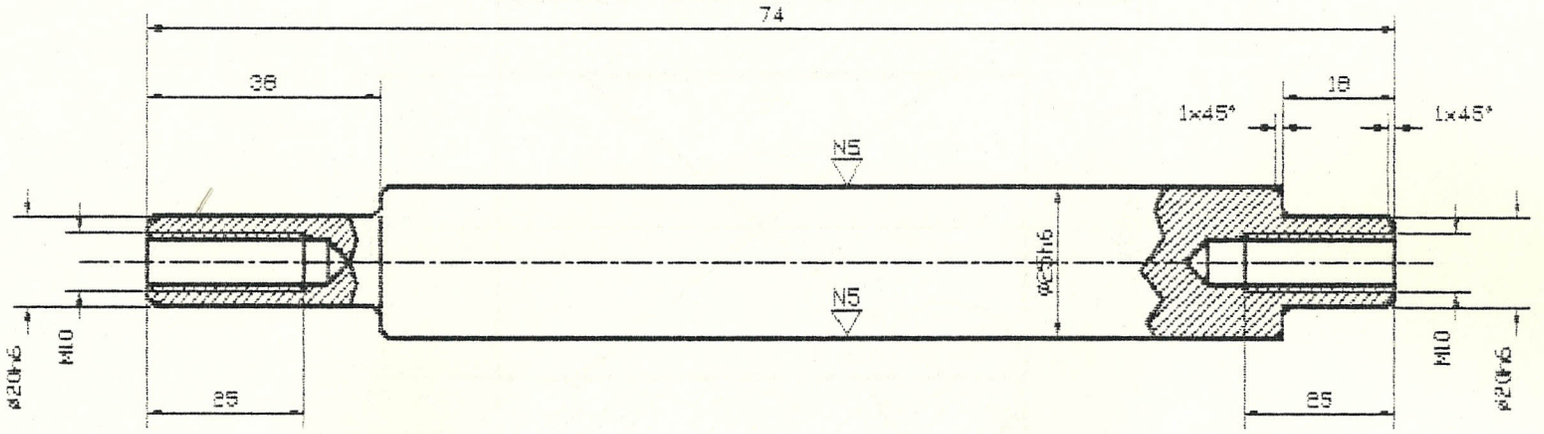
N7	PESO:	MATERIAL: UNS G10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	ESPARRAGO TOPE
DIBUJO	21/3/91	DREYER	
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
CONTRALDO			
ESPOL		MFONC.17.91	



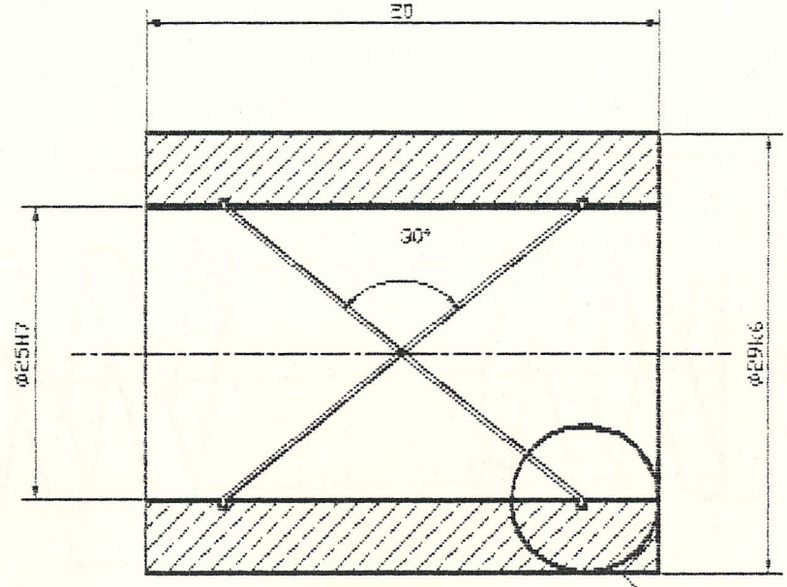
N7	MATERIAL UNS G10500 HR			
	FECHA	NOMBRE	ESPARRAGO PIVOTE	
	DIBUJO 21/3/91	DRS-TEM		
	REVISO 15/5/91	DR.CHARLEIN		
	APROBO		ESPOL	MFCNC18.91



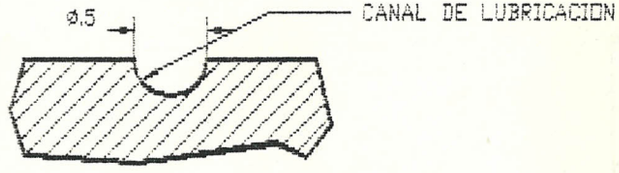
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	SEGUIDOR CORTADOR
REVISO	15/5/91	DR. LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL		MFCNC.19.91	



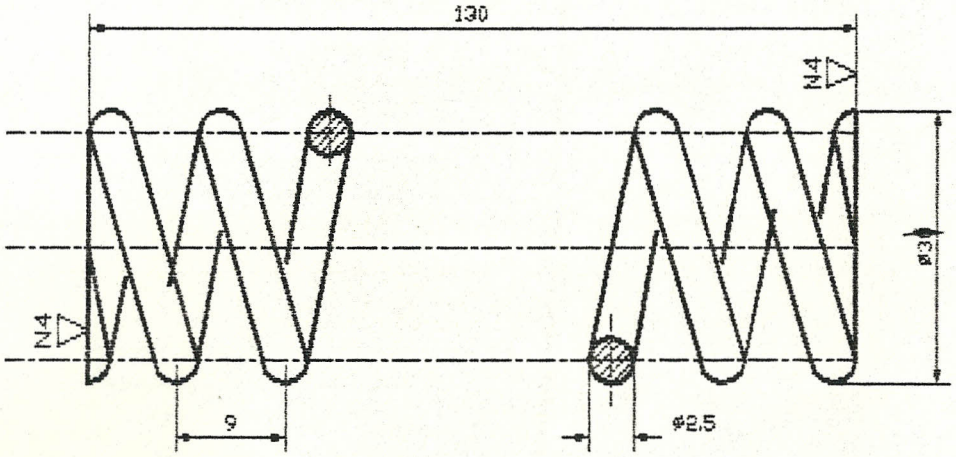
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	GUIA DE CARRO
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPRADO			
ESPOL		MFCNC.20.91	



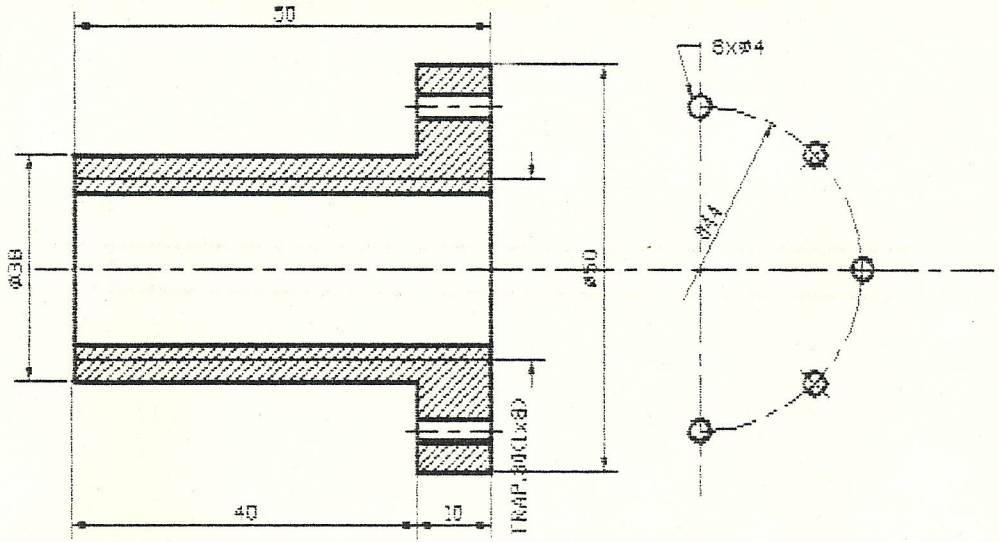
DETALLE I



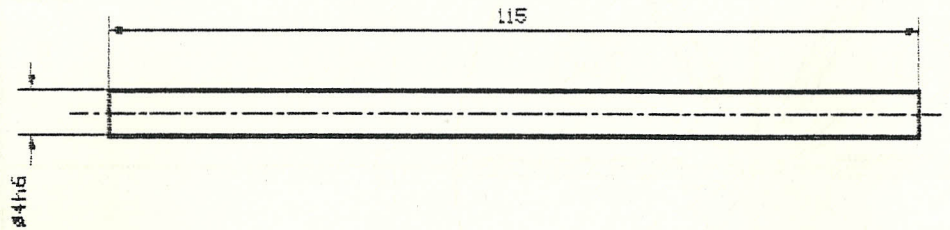
N5		PESO:	MATERIAL: UNS C22000
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	BOCIN PORTAMOLDE MOVIL
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPROBO			
ESPOL			MFCNC.21.91



N5 ▽ ▽	PESO:	MATERIAL: UNS G10850	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	MUELLE DEL CARRO
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPROBO			
ESPOL		MFCNC.22.91	

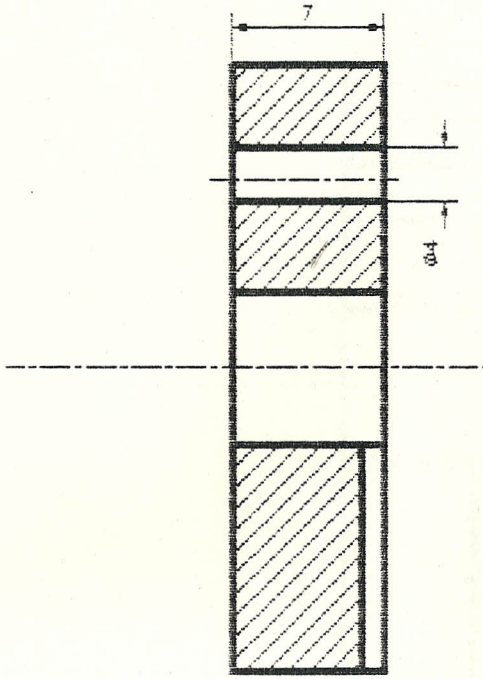


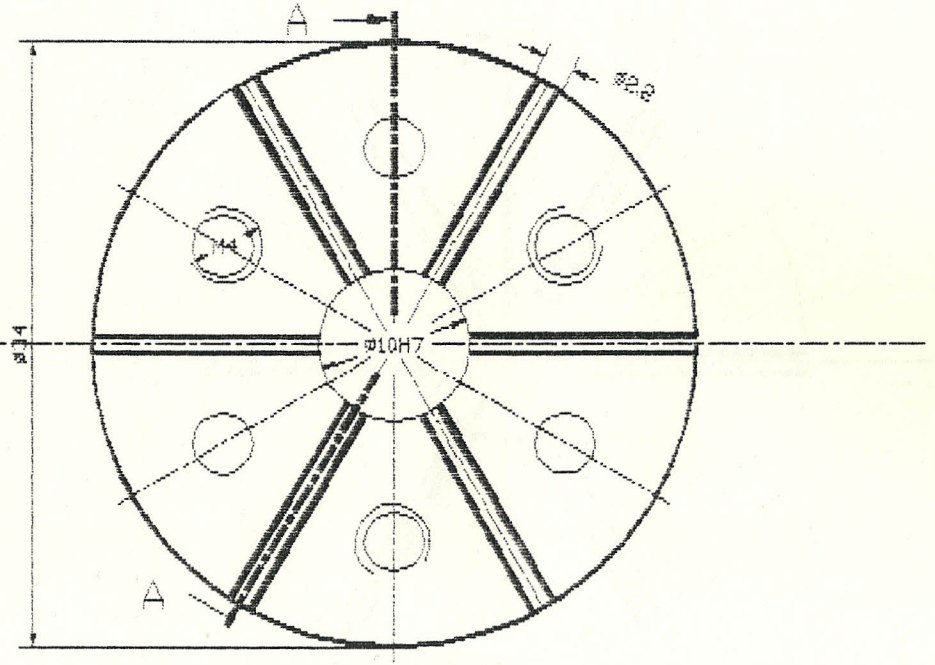
N7		PESO	MATERIAL: UNS C22000
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	MANGUITO
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL			MFONC.23.91



N7		PESO:	MATERIAL: UNSG10180 HR
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DR.E.HER	PASADOR CORTADOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBADO			
ESPOL			MFCNC.24.91

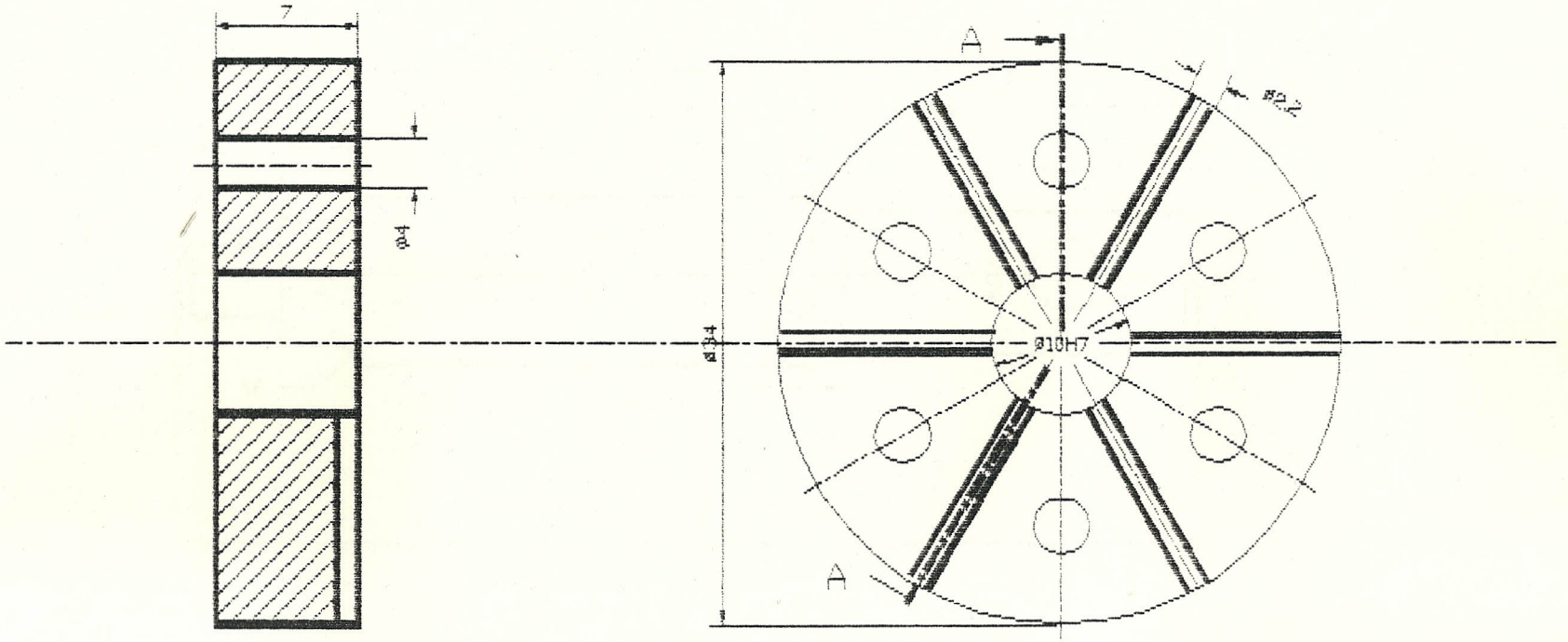
CORTE A-A



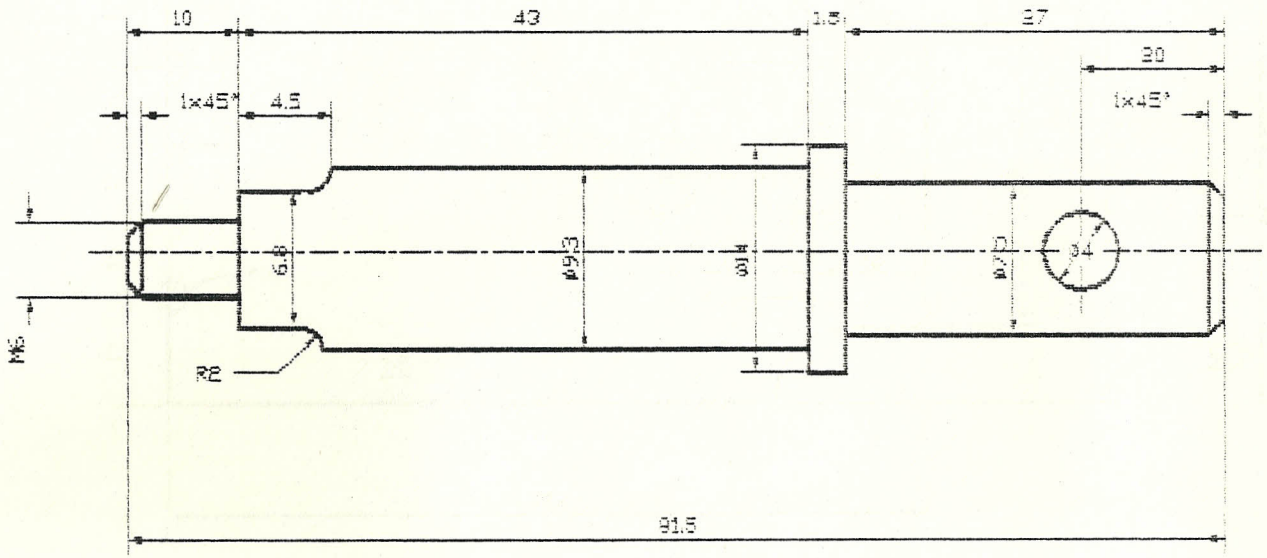


N7	PESO:	MATERIAL: UNS C22000	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/2/91	DREHER	DISCO POSICION POSTERIOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL			MFCNC.25.91

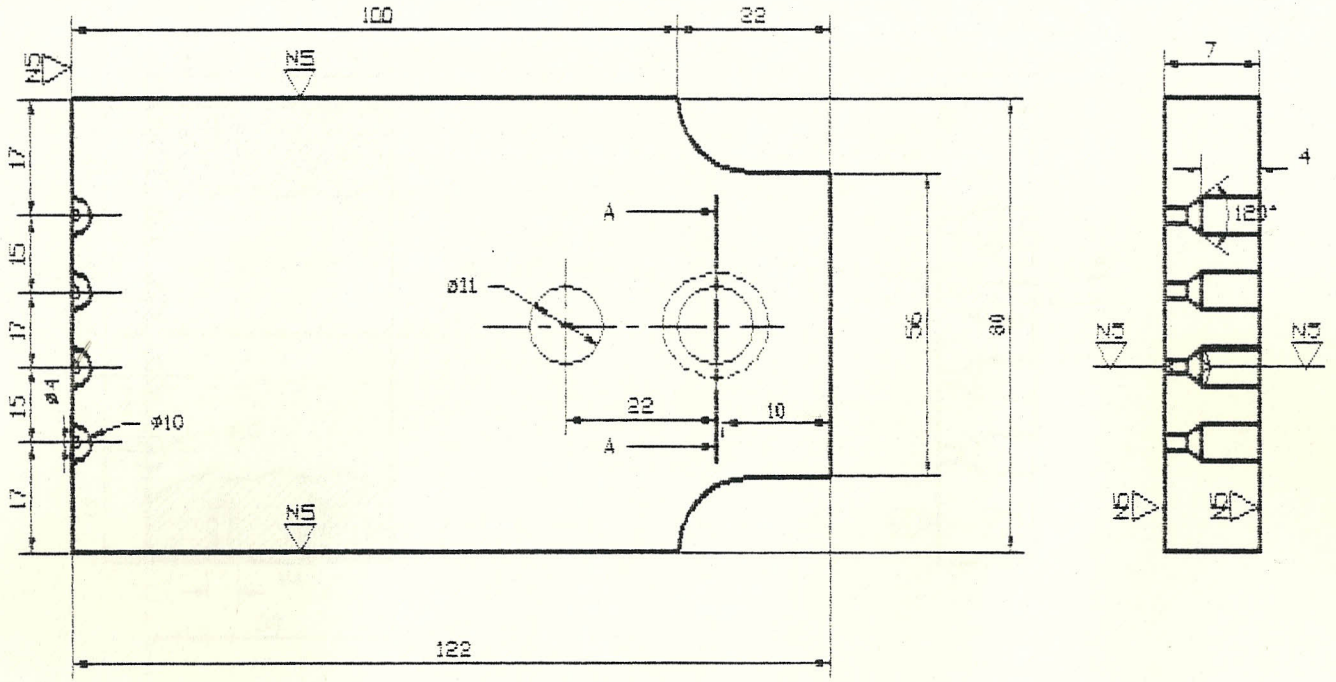
CORTE A-A



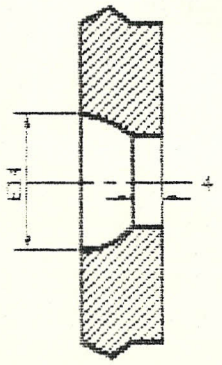
N7	PESO:	MATERIAL: UNS C22000	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/2/91	DREHER	DISCO POSICION FRONTAL
REVISO	15/5/91	DR. LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL		MFCNC.26.91	



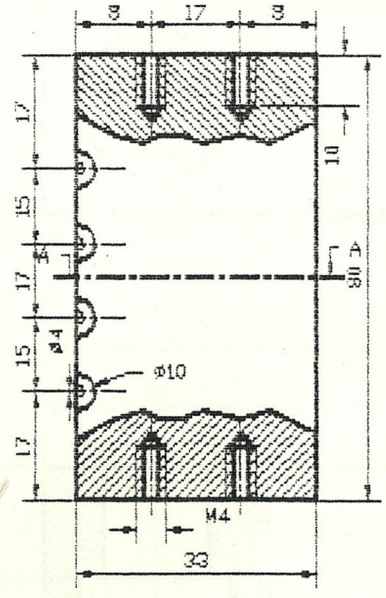
N7	PESO		MATERIAL: UNS G10500 HR
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/2/91	DRE-FER	EJE MOTOR VIBRADOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBADO			
ESPOL			MFONC-27-91

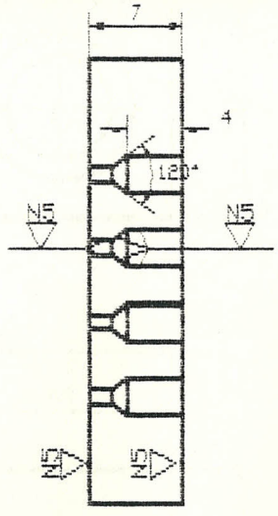


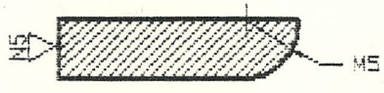
CORTE A-A



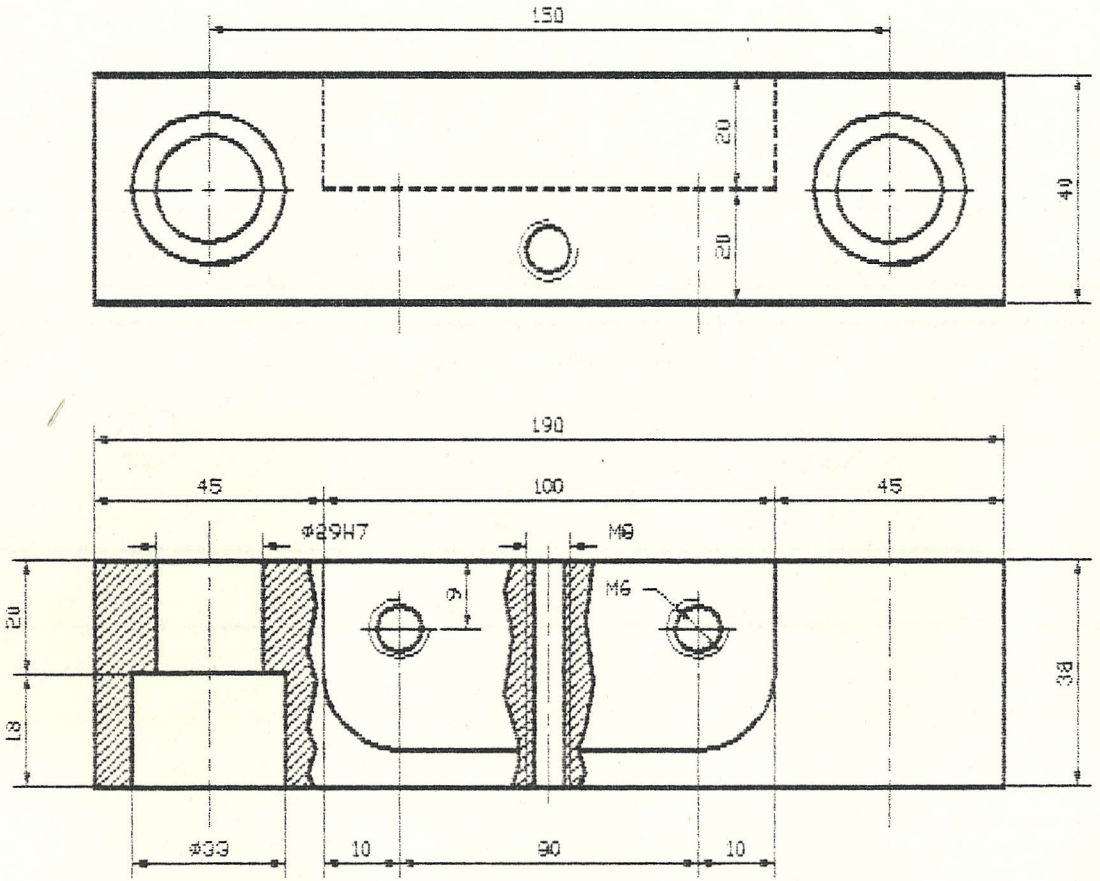
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	CORTADOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBADO			
ESPOL		MFCNC.28.91	



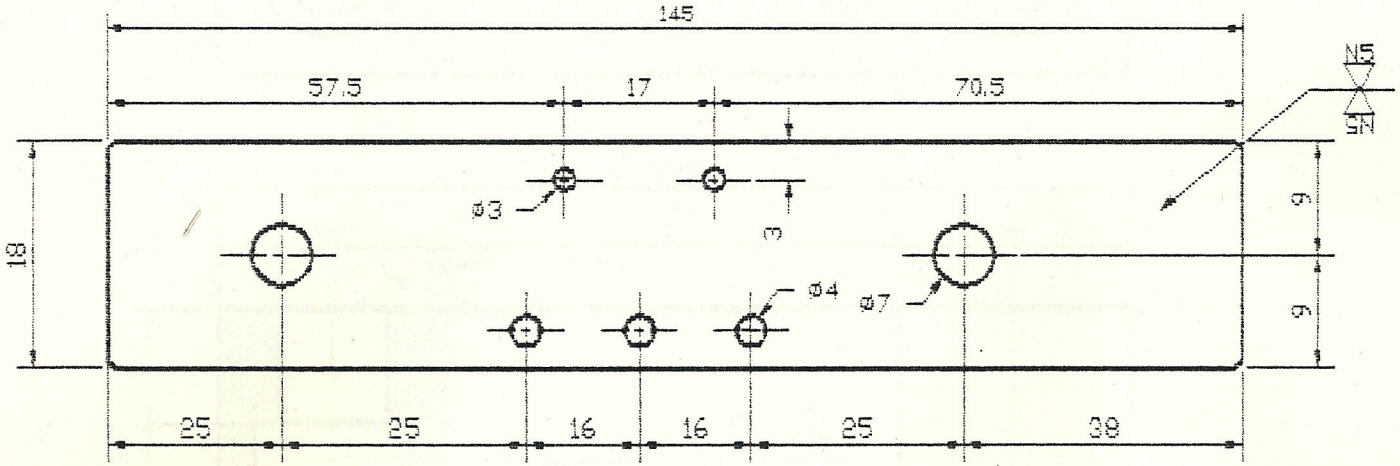




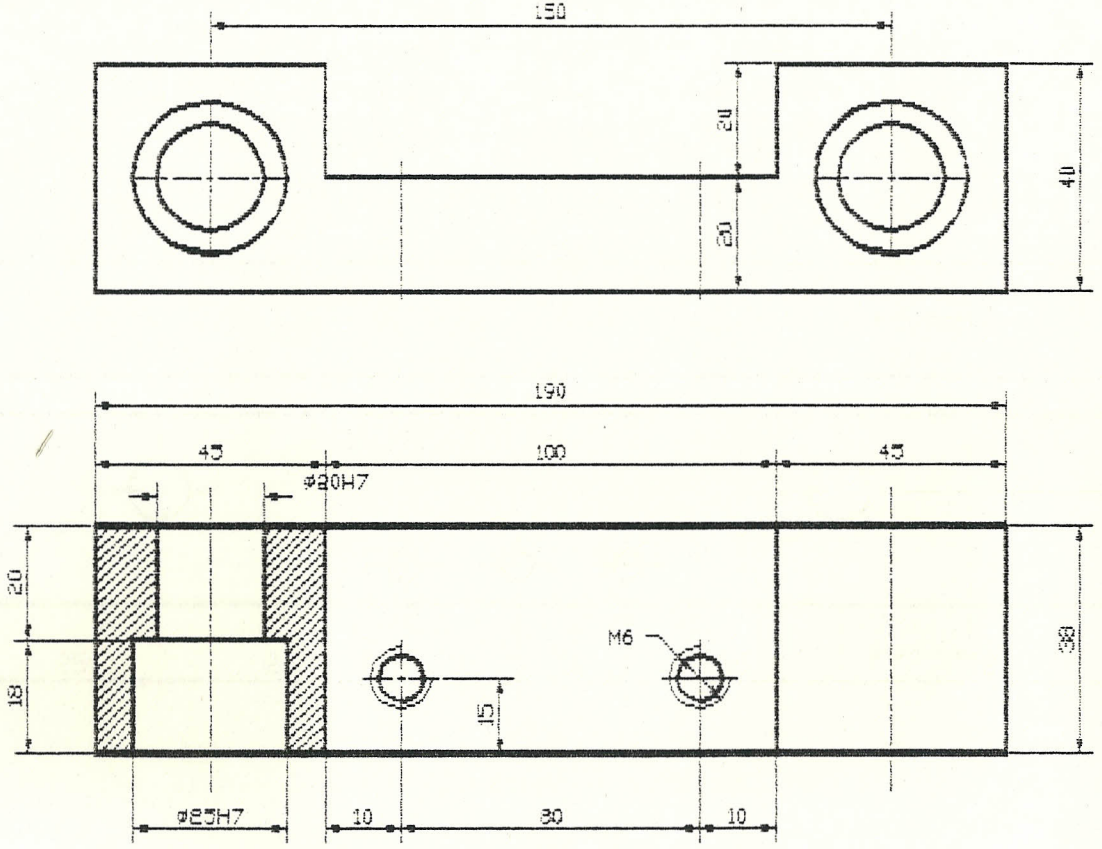
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/2/91	DR.E.HERR	CONTRA CORTADOR
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPROBO			
ESPOL		MFCNC.29.91	



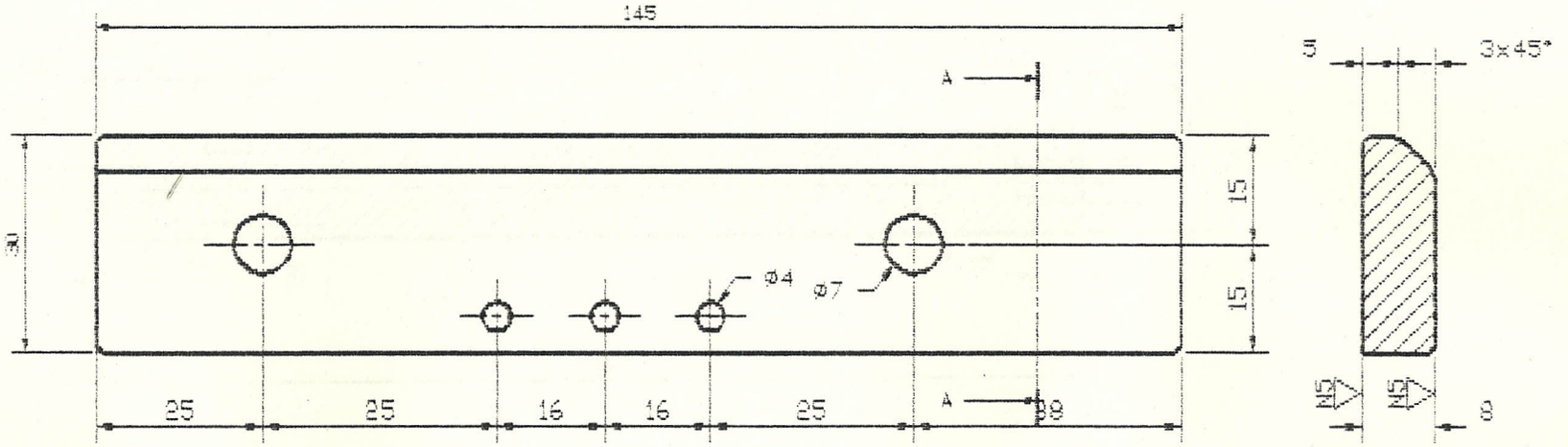
N7	PESO:	MATERIAL: UNS G10180 HR	
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	PORTA-MOLDE MOVIL
REVISO	15/5/91	DR LOHRLEIN	
(COMPROBO)			
ESPOL		MFCNC.30.91	



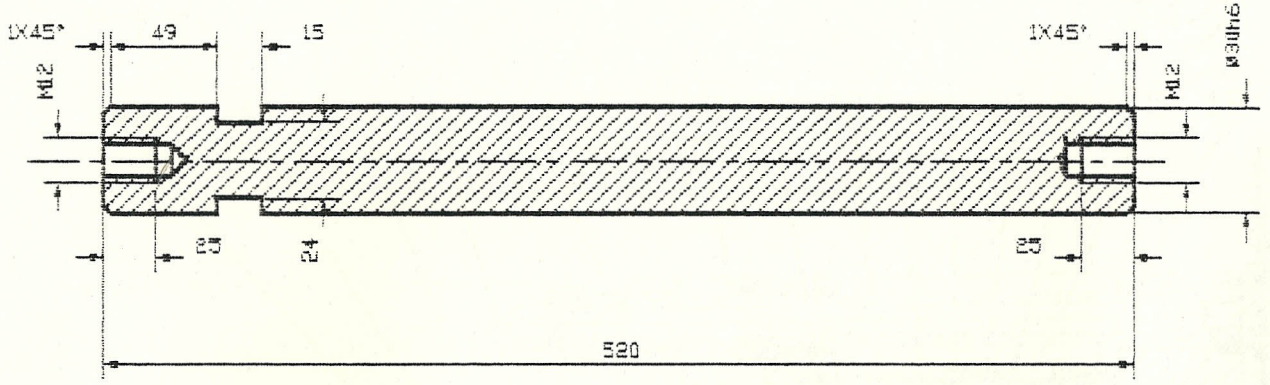
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR	
	FECHA	NOMBRE	SEGUIDOR MOLDE MOVIL
DIBUJO	21/3/91	DREHER	
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL		MFCNC.31.91	



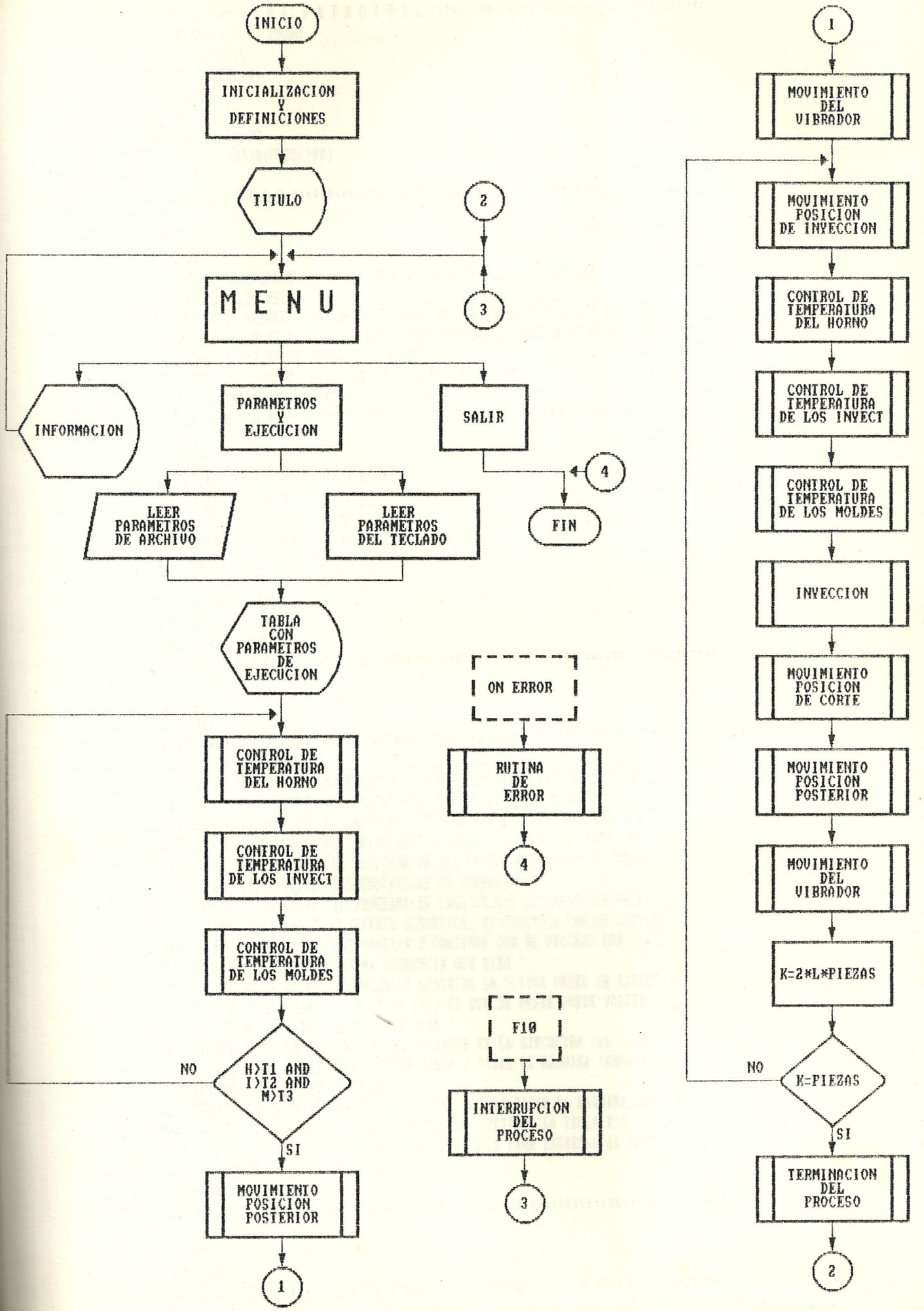
N7	PESO:	MATERIAL: UNSG10180 HR	
	FECHA	NOMBRE	PORTA-MOLDE FIJO
DIBUJO	21/3/91	DR.FER	
REVISO	15/5/91	DR.LÖHRLEIN	
APROBADO			
ESPOL		MFCNC.32.91	



N7		PESO:	MATERIAL: UNSG10500 HR
	FECHA	NOMBRE	
DIBUJO	21/3/91	DREHER	SEGUIDOR MOLDE FIJO
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL			MFCNC.33.91



N7	PESO:	MATERIAL: UNS G10180 HR	
	FECHA	NOMBRE	PATAS
DIBUJO	21/2/91	DREHER	
REVISO	15/5/91	DR. LOHRLEIN	
APROBO			
ESPOL		MFCNC.34.91	


INICIO
INICIALIZACION Y DEFINICIONES
TITULO
MENU
INFORMACION
PARAMETROS Y EJECUCION
SALIR
LEER PARAMETROS DE ARCHIVO
LEER PARAMETROS DEL TECLADO
FIN
TABLA CON PARAMETROS DE EJECUCION
CONTROL DE TEMPERATURA DEL HORNO
CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS INYECT
CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS MOLDES
H>T1 AND I>T2 AND M>T3
NO
SI
MOVIMIENTO POSICION POSTERIOR
1
2
3
4
ON ERROR
RUTINA DE ERROR
F10
INTERRUPCION DEL PROCESO
MOVIMIENTO DEL VIBRADOR
MOVIMIENTO POSICION DE INYECCION
CONTROL DE TEMPERATURA DEL HORNO
CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS INYECT
CONTROL DE TEMPERATURA DE LOS MOLDES
INYECCION
MOVIMIENTO POSICION DE CORTE
MOVIMIENTO POSICION POSTERIOR
MOVIMIENTO DEL VIBRADOR
K=2*L*PIEZAS
K=PIEZAS
NO
SI
TERMINACION DEL PROCESO

```
5 REM  P R O R A M A  P R I N C I P A L ************************************
10 ON ERROR GOTO 10000
15 OUT &H3BC,0
20 OUT &HDE3,144
25 KEY OFF
30 KEY(10) ON
31 FOR I=1 TO 80
32 LINE1$=LINE1$+CHR$(196)
33 NEXT I
35 REM  T I T U L O ************************************************************

40 CLS
45 BEEP
50 LOCATE 10,20:PRINT "ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"
55 LOCATE 11,20:PRINT "_____________________________________"
60 LOCATE 15,16:PRINT "PROGRAMA DE ADQUISICION DE DATOS Y CONTROL DE PRO"
65 LOCATE 16,16:PRINT "CESO PARA UNA MAQUINA DE PRODUCCION DE PIEZAS FUN"
70 LOCATE 17,16:PRINT "DIDAS CON MOLDE FIJO."
75 LOCATE 25,1:PRINT "PRESIONE UNA TECLA PARA CONTINUAR"
80 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 80
85 REM  M E N U ****************************************************************
90 CLS
95 BEEP
100 LOCATE 8,8:PRINT "***M E N U***"
105 LOCATE 9,8:PRINT "___________"
110 LOCATE 12,1:PRINT "1.INFORMACION"
115 LOCATE 13,1:PRINT "2.PARAMETROS Y EJECUCION"
120 LOCATE 14,1:PRINT "3.SALIR"
125 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 125
130 IF W$="1" GOTO 145
135 IF W$="2" GOTO 265
140 IF W$="3" GOTO 550
145 REM  I N F O R M A C I O N ************************************************

150 CLS
155 BEEP
160 LOCATE 2,15:PRINT "****************INFORMACION*****************"
165 LOCATE 3,15:PRINT "_____________________________________________"
170 LOCATE 6,15:PRINT "ESTE PROGRAMA TIENE COMO FINALIDAD EL CONTROL"
175 LOCATE 7,15:PRINT "DEL PROCESO DE PRODUCCION DE LA MAQUINA."
180 LOCATE 8,15:PRINT "EL PROGRAMA CONTROLA LAS TEMPERATURAS DEL HOR"
185 LOCATE 9,15:PRINT "NO, INYECTORES Y MOLDES; ADEMAS  DE CONTROLAR"
190 LOCATE 10,15:PRINT "LA POSICION DE LAS PARTES MECANICAS  Y  TODAS"
195 LOCATE 11,15:PRINT "LAS SECUENCIAS DE OPERACION."
200 LOCATE 12,15:PRINT "EL PROGRAMA,EN CASO DE QUE EXISTA FALLA DE LA"
205 LOCATE 13,15:PRINT "CORRIENTE ELECTRICA, ES VUELTO A CARGAR AUTO-"
210 LOCATE 14,15:PRINT "MATICAMENTE Y CONTINUA CON EL PROCESO CON  LA"
215 LOCATE 15,15:PRINT "ULTIMA SECUENCIA QUE HIZO."
220 LOCATE 16,15:PRINT "EL PROGRAMA MEMORIZA LA ULTIMA ORDEN DE EJECU"
225 LOCATE 17,15:PRINT "CION, Y EN CASO DE QUE SE DESEE PUEDE VOLVER-"
230 LOCATE 18,15:PRINT "SELO A EJECUTAR."
235 LOCATE 19,15:PRINT "EN CASO DE UN ERROR EN LA EJECUCION DEL  PRO-"
240 LOCATE 20,15:PRINT "GRAMA, ESTE MANDA A PARAR LA MAQUINA INMEDIA-"
245 LOCATE 21,15:PRINT "TAMENTE."
246 LOCATE 22,15:PRINT "EN CASO DE QUE SE QUIERA PARAR LA MAQUINA DU-"
247 LOCATE 23,15:PRINT "RANTE LA OPERACION, PRESIONE LA TECLA F10."
250 LOCATE 25,1:PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA REGRESAR AL MENU"
255 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 255
260 GOTO 85
265 REM P A R A M E T R O S ****************************************************

270 CLS
275 BEEP
280 LOCATE 12,10:PRINT "QUIERE EJECUTAR EL PROGRAMA CON LOS ANTIGUOS PARAMETROS<
SI O NO>?"
285 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 285
```

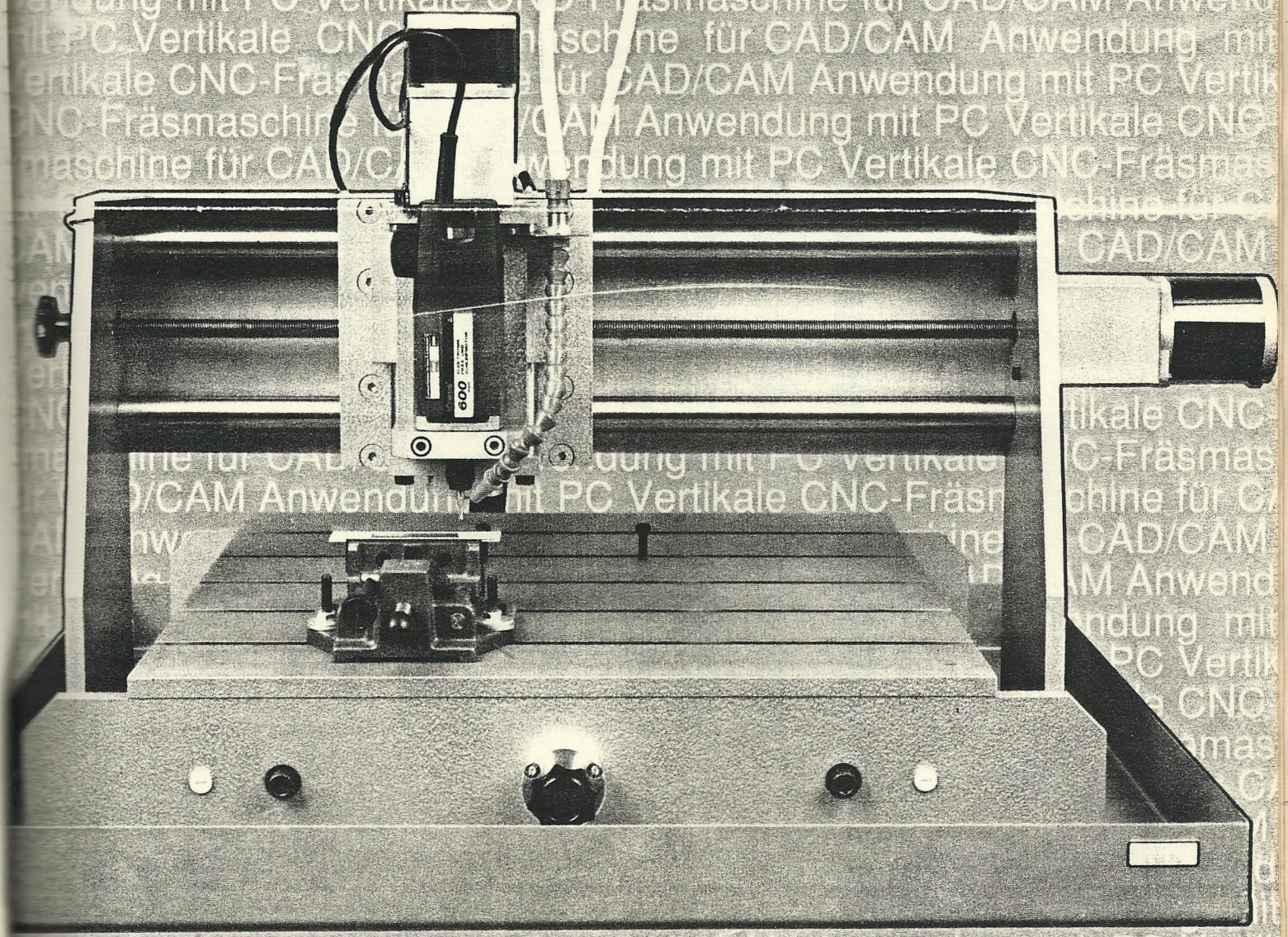
```
290 IF W$<>"S" AND W$<>"N" GOTO 275
295 IF W$="S" GOTO 420
300 CLS
305 BEEP
310 LOCATE 3,23:PRINT "***********PARAMETROS***********"
315 LOCATE 4,23:PRINT "_____________________________"
320 LOCATE 8,1
325 INPUT "INGRESE LA TEMPERATURA DEL HORNO, INYECTORES Y MOLDES";T1,T2,T3
330 BEEP
335 LOCATE 10,1
340 INPUT "INGRESE LA HISTERESIS";HISTERESIS
345 BEEP
350 LOCATE 12,1
355 INPUT "INGRESE EL NUMERO DE PIEZAS";PIEZAS
360 BEEP
365 LOCATE 14,1
370 INPUT "INGRESE EL NUMERO DE MOLDES";MOLDES
375 BEEP
380 LOCATE 16,1
385 INPUT "TIEMPO DE INYECCION";T
390 BEEP
395 LOCATE 25,1:PRINT "PULSE CUALQUIER TECLA PARA EJECUTAR"
400 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 400
405 OPEN "O",#1,"A:PARAMETR"
410 PRINT #1,T1,T2,T3,HISTERESIS,PIEZAS,MOLDES,T
415 CLOSE #1
420 REM  E J E C U C I O N **********************************************************

425 CLS
430 BEEP
435 KEY(10) ON
436 ON KEY(10) GOSUB 11000
440 GOSUB 12000
455 U=0:B=0:C=0:D=0:L=0
460 GOSUB 4000
465 GOSUB 5000
470 FOR I=1 TO 5000:NEXT I
475 IF H>T1 AND I>T2 THEN 480 ELSE 460
480 GOSUB 1000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
485 GOSUB 2000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
490 GOSUB 3000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
495 GOSUB 4000
500 GOSUB 5000
505 GOSUB 7000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
510 GOSUB 8000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
515 GOSUB 1000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
520 GOSUB 2000:FOR I=1 TO 2000:NEXT I
525 L=L+1
530 K=2*L*MOLDES
532 LOCATE 7,67:PRINT K
535 IF K=PIEZAS THEN GOSUB 9000
540 GOTO 490
550 BEEP
555 END
1000 REM MOVIMIENTO POSICION ATRAS*************************************************

1010 OUT &HDE1,3:X=INP(&HDE0)
1020 U=U+32
1030 OUT &H3BC,U
1040 OUT &HDE1,3
1050 X=INP(&HDE0)
1060 IF X<10 THEN 1050
1070 U=U-32
1080 OUT &H3BC,U
1090 FOR I=1 TO 80
1100 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
```

```
1110 NEXT I
1120 LOCATE 22,78:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
1130 RETURN
2000 REM MOVIMIENTO VIBRADOR*************************************************

2005 OUT &HDE1,0
2010 U=U+64
2020 OUT &H3BC,U
2040 FOR T=1 TO 5000
2050 NEXT T
2060 X=INP(&HDE0)
2070 IF X>200 THEN GOTO 2060
2080 FOR I=1 TO 100:NEXT I
2090 U=U-64
2100 OUT &H3BC,U
2110 RETURN
3000 REM MOVIMIENTO INYECCION************************************************

3010 OUT &HDE1,2
3020 U=U+16
3030 OUT &H3BC,U
3040 U=U+32
3050 OUT &H3BC,U
3060 OUT &HDE1,2
3070 X=INP(&HDE0)
3080 IF X<1 GOTO 3070
3090 U=U-48
3100 OUT &H3BC,U
3110 FOR I=1 TO 80
3120 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
3130 NEXT I
3140 LOCATE 22,13:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
3150 RETURN
4000 REM CONTROL DE TEMPERATURA DEL HORNO*************************************

4001 OUT &HDE1,6:X=INP(&HDE0)
4002 TH=T1+HISTERESIS
4010 OUT &HDE1,6
4020 H=2*INP(&HDE0):LOCATE 7,22:PRINT H
4030 IF H<T1 THEN IF B=0 THEN U=U+1:OUT &H3BC,U:B=1 ELSE ELSE IF B=1 THEN
     IF H>TH THEN U=U-1:OUT &H3BC,U:B=0
4040 RETURN
5000 REM CONTROL DE TEMPERATURA DE INYECTORES*********************************

5001 OUT &HDE1,5:X=INP(&HDE0)
5002 TI=T2+HISTERESIS
5010 OUT &HDE1,5
5020 I=2*INP(&HDE0):LOCATE 7,37:PRINT I
5030 IF I<T2 THEN IF C=0 THEN U=U+2:OUT &H3BC,U:C=1 ELSE ELSE IF C=1 THEN
     IF I>TI THEN U=U-2:OUT &H3BC,U:C=0
5040 RETURN
6000 REM CONTROL DE TEMPERATURA DE MOLDE**************************************

6002 TM=T3+HISTERESIS
6010 OUT &HDE1,6
6020 M=2*INP(&HDE0):LOCATE 7,52:PRINT M
6030 IF M<T3 THEN IF D=0 THEN U=U+4:OUT &H3BC,U:D=1 ELSE ELSE IF D=1 THEN
     IF M>TM THEN U=U-4:OUT &H3BC,U:D=0
6040 RETURN
7000 REM INYECCION************************************************************

7005 U=U+128
7010 OUT &H3BC,128
7020 FOR I=1 TO T:NEXT I
7030 U=U-128
7040 OUT &H3BC,U
```

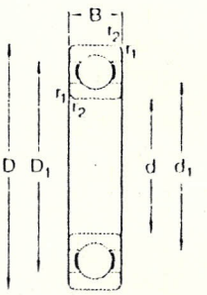
```
7050 RETURN
8000 REM MOVIMIENTO POSICION CORTE************************************************

8010 OUT &HDE1,1
8020 U=U+16
8030 OUT &H3BC,U
8040 U=U+32
8050 OUT &H3BC,U
8060 OUT &HDE1,1
8070 X=INP(&HDE0)
8080 IF X<1 GOTO 8070
8090 U=U-48
8100 OUT &H3BC,U
8110 FOR I=1 TO 80
8120 LOCATE 22,I:PRINT CHR$(176)
8130 NEXT I
8140 LOCATE 22,1:PRINT CHR$(219);CHR$(219);CHR$(219)
8150 RETURN
9000 REM TERMINACION DEL PROCESO**************************************************

9020 OUT &H3BC,0
9030 LOCATE 12,8:PRINT "EL PROCESO HA TERMINADO"
9040 LOCATE 20,1:PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA REGRESAR AL MENU"
9050 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 9050
9060 GOTO 85
9070 RETURN
10000 REM RUTINA DE ERROR*********************************************************

10010 OUT &H3BC,0
10020 CLS
10030 LOCATE 12,8:PRINT "ERROR NUMERO";ERR;"EN LA LINEA";ERL
10040 RESUME 550
11000 REM RUTINA DE INTERRUPCION**************************************************

11010 OUT &H3BC,0
11015 BEEP
11030 LOCATE 12,8:PRINT "EL PROCESO HA SIDO INTERRUMPIDO"
11040 LOCATE 20,1:PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA REGRESAR AL MENU"
11050 W$=INKEY$:IF W$="" GOTO 11050
11060 GOTO 85
11070 RETURN
12000 LOCATE 3,20:PRINT "TEMP.HORNO"
12010 LOCATE 3,35:PRINT "TEMP.INYEC"
12020 LOCATE 3,50:PRINT "TEMP.MOLDE"
12030 LOCATE 3,65:PRINT "NUM.PIEZAS"
12040 LOCATE 3,65:PRINT "NUM.PIEZAS"
12080 LOCATE 4,1:PRINT LINE1$
12090 OPEN "I",#1,"A:PARAMETR"
12100 INPUT #1,T1,T2,T3,HISTERESIS,PIEZAS,MOLDES,T
12110 CLOSE #1
12120 LOCATE 5,3:PRINT "PARAMETROS"
12130 LOCATE 5,22:PRINT T1
12140 LOCATE 5,37:PRINT T2
12150 LOCATE 5,52:PRINT T3
12160 LOCATE 5,67:PRINT PIEZAS
12170 LOCATE 7,3:PRINT "OPERACION"
12180 RETURN
```

CNC-5

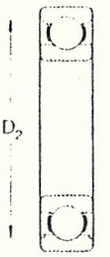
Vertikale CNC-Fräsmaschine für CAD/CAM Anwendung mit PC



Rodamientos rígidos de bolas
d 17–40 mm



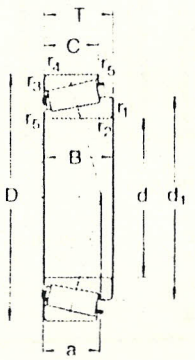
Reborde sin ranuras



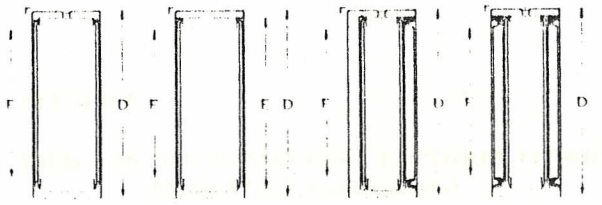
Reborde con ranuras

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Límite de velocidad		Masa	Designación
			dinám.	estát.	Lubricación con			
d	D	B	C	C_0	grasa	aceite		
mm			N		r·min		kg	–
17	26	5	1 680	930	24 000	30 000	0.0082	61803
	35	8	6 050	2 800	19 000	24 000	0.032	16003
	35	10	6 050	2 800	19 000	24 000	0.039	6003
	40	12	9 560	4 500	17 000	20 000	0.065	6203
	47	14	13 500	6 550	16 000	19 000	0.12	6303
	62	17	22 900	11 800	12 000	15 000	0.27	6403
20	32	7	2 650	1 400	19 000	24 000	0.018	61804
	42	8	7 020	3 400	17 000	20 000	0.050	16004
	42	12	9 360	4 500	17 000	20 000	0.069	6004
	47	14	12 700	6 300	15 000	18 000	0.11	6204
	52	15	15 900	7 800	13 000	16 000	0.14	6304
	72	19	30 700	16 600	10 000	13 000	0.40	6404
25	37	7	3 120	1 960	17 000	20 000	0.022	61805
	47	8	7 610	4 000	14 000	17 000	0.060	16005
	47	12	11 200	5 600	15 000	18 000	0.080	6005
	52	15	14 000	6 950	12 000	15 000	0.13	6205
	62	17	22 500	11 400	11 000	14 000	0.23	6305
	80	21	35 800	19 600	9 000	11 000	0.53	6405
30	42	7	3 120	2 080	15 000	18 000	0.026	61806
	55	9	11 200	5 850	12 000	15 000	0.085	16006
	55	13	13 300	6 800	12 000	15 000	0.12	6006
	62	16	19 500	10 000	10 000	13 000	0.20	6206
	72	19	28 100	14 600	9 000	11 000	0.35	6306
	90	23	43 600	24 000	8 500	10 000	0.74	6406
35	47	7	4 030	3 000	13 000	16 000	0.030	61807
	62	9	12 400	6 950	10 000	13 000	0.11	16007
	62	14	15 900	8 500	10 000	13 000	0.16	6007
	72	17	25 500	13 700	9 000	11 000	0.29	6207
	80	21	33 200	18 000	8 500	10 000	0.46	6307
	100	25	55 300	31 000	7 000	8 500	0.95	6407
40	52	7	4 160	3 350	11 000	14 000	0.034	61808
	68	9	13 300	7 800	9 500	12 000	0.13	16008
	68	15	16 800	9 300	9 500	12 000	0.19	6008
	80	18	30 700	16 600	8 500	10 000	0.37	6208
	90	23	41 000	22 400	7 500	9 000	0.63	6308
	110	27	63 700	36 500	6 700	8 000	1.25	6408

Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos
d 15–32 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga dinám.	estát.	Límite de velocidad Lubricación con		Masa	Designación	Serie de dimensiones según ISO 355
d	D	T	C	C_0	grasa	aceite			
mm			N		r/min		kg	–	–
15	42	14,25	21 200	12 700	9 000	13 000	0,095	30302	2FB
17	40	13,25	17 900	11 000	9 000	13 000	0,075	30203	2DB
	47	15,25	26 000	16 000	8 500	12 000	0,13	30303	2FB
	47	20,25	33 000	21 200	8 000	11 000	0,17	32303	2FD
20	42	15	22 900	15 600	8 500	12 000	0,097	32004 X	3CC
	47	15,25	26 000	16 600	8 000	11 000	0,12	30204	2DB
	52	16,25	31 900	20 000	8 000	11 000	0,17	30304	2FB
	52	22,25	41 300	28 000	7 500	10 000	0,23	32304	2FD
22	44	15	23 800	16 600	8 000	11 000	0,10	320 22 X	3CC
	47	17	31 900	22 000	8 000	11 000	0,14	T2CC 022	2CC
25	47	15	25 500	18 300	8 000	11 000	0,11	32005 X	4CC
	52	16,25	29 200	19 300	7 500	10 000	0,15	30205	3CC
	52	19,25	34 100	25 000	7 000	9 500	0,19	32205 B	5CD
	52	22	44 000	32 500	6 700	9 000	0,23	33205	2DE
	62	18,25	41 800	26 500	6 700	9 000	0,26	30305	2FB
	62	18,25	35 800	23 200	5 600	7 500	0,26	31305	7FB
	62	25,25	56 100	39 000	6 000	8 000	0,36	32305	2FD
28	52	16	29 700	21 600	7 000	9 500	0,15	320 28 X	4CC
	58	20,25	39 600	28 500	6 300	8 500	0,25	322 28 B	5DD
30	55	17	33 600	24 500	6 700	9 000	0,17	32006 X	4CC
	62	17,25	38 000	25 500	6 300	8 500	0,23	30206	3DB
	62	21,25	47 300	33 500	6 300	8 500	0,28	32206	3DC
	62	21,25	45 700	33 500	6 000	8 000	0,30	32206 B	5DC
	62	25	60 500	45 500	5 600	7 500	0,37	33206	2DE
	72	20,75	52 800	34 500	5 600	7 500	0,39	30306	2FB
	72	20,75	44 600	29 000	5 000	6 700	0,39	31306	7FB
	72	28,75	72 100	52 000	5 300	7 000	0,55	32306	2FD
32	58	17	34 700	26 000	6 300	8 500	0,19	320 32 X	4CC



DNK.A
RNA49, RNA69A

RNAF

RNA49RS

RNA49.2RS

Cap. carga		Núm. límite de revoluciones		Denominación abreviada		Peso	
din. C	estát. C_0	Grasa	Aceite	Rodamiento	Disco lateral	Rodamiento	Disco lateral
kN		min^{-1}		FAG	FAG	kg	g
10,4	8,5	15000	24000	**DNKJ12/16A**		0,036	
12,5	10,8	15000	24000	**DNKJ12/20A**		0,046	
11,6	11	15000	24000	NAF 12x24x20 *)	SNSH16,5x24x0,5	0,046	0,9
13,2	11,4	15000	24000	**NA6901A**		0,051	
9,65	7,1	16000	26000	NAF 12x28x12	SNSH16,5x28x0,5	0,041	1,6
7,35	5,3	16000	26000	**RNA4900**		0,018	
8	6,55	16000	26000	RNAF 14x22x13	SNSH14,5x22x0,5	0,018	0,8
4,25	2,9	10000		RNA4900RS		0,019	
4,25	2,9	10000		RNA4900.2RS		0,018	
10	7,8	16000	26000	**DNK14/16A**		0,024	
12	10	16000	26000	**DNK14/20A**		0,028	
10,6	9,5	16000	26000	RNAF 14x22x20 *)	SNSH14,5x22x0,5	0,029	0,8
9,15	6,4	16000	26000	RNAF 14x26x12	SNSH14,5x26x0,5	0,029	1,4
9,8	7,8	16000	26000	**DNK15/16A**		0,021	
12	10	16000	26000	DNK15/20A		0,031	
11,4	9,65	14000	22000	**DNKJ15/16A**		0,042	
13,7	12,2	14000	22000	**DNKJ15/20A**		0,054	
9,3	7,5	13000	20000	**NA4902**		0,037	
5,3	4,15	8500		NA4902RS		0,04	
5,3	4,15	8500		**NA4902.2RS**		0,039	
10	9,5	13000	20000	NAF 15x28x13	SNSH20,5x28x0,5	0,039	1,1
15	14	13000	20000	**NA6902A**		0,067	
17	19	13000	20000	NAF 15x28x26 *)	SNSH20,5x28x0,5	0,078	1,1
11,2	8,8	13000	20000	NAF 15x32x12	SNSH20,5x32x0,5	0,05	1,9
8,15	6,2	15000	24000	**RNA4901**		0,02	
4,55	3,35	9500		RNA4901RS		0,021	
4,55	3,35	9500		RNA4901.2RS		0,020	
8,65	7,5	15000	24000	RNAF 16x24x13	SNSH16,5x24x0,5	0,022	0,9
10,4	8,5	15000	24000	**DNK16/16A**		0,025	
12,5	10,8	15000	24000	**DNK16/20A**		0,032	
11,6	11	15000	24000	RNAF 16x24x20 *)	SNSH16,5x24x0,5	0,032	0,9
13,2	11,4	15000	24000	**RNA6901A**		0,036	
9,65	7,1	16000	26000	RNAF 16x28x12	SNSH16,5x28x0,5	0,033	1,6
11	9	15000	24000	**DNK17/16A**		0,027	
13,2	11,4	15000	24000	DNK17/20A		0,034	
12,2	10,8	13000	20000	**DNKJ17/16A**		0,047	
14,6	13,7	13000	20000	**DNKJ17/20A**		0,059	
✱ 9,5	8	12000	19000	**NA4903**		0,04	

*) Con dos coronas de agujas y un orificio de lubricación en el aro exterior.

APÉNDICE

Tabla A-26 DIAGRAMAS PARA FACTORES TEÓRICOS DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO K_t (*continuación*)

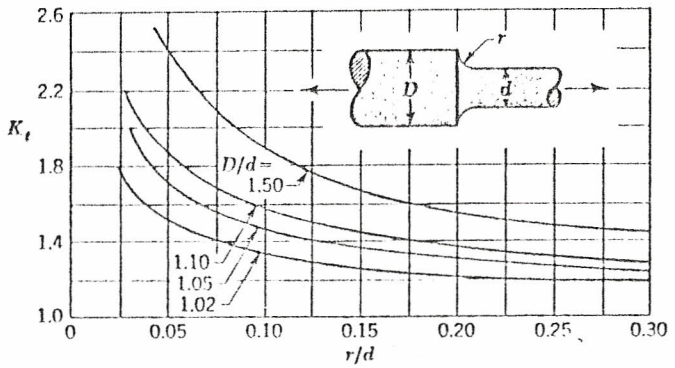


FIGURA A-26-7 Barra de sección circular en tensión con estrechamiento y entalle. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.

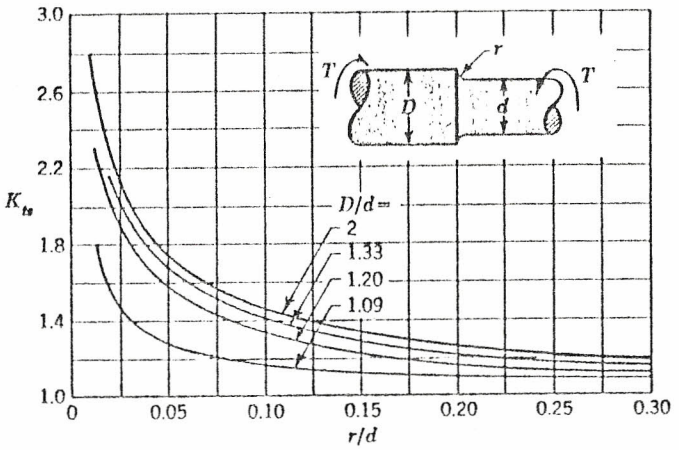


FIGURA A-26-8 Barra de sección circular en torsión con estrechamiento y entalle. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

Tabla A-7 CONSTANTES FÍSICAS DE MATERIALES

Material	Módulo de elasticidad, E		Módulo de rigidez, G		Relación de Poisson	Peso específico		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg^3	lb/pie^3	kN/m^3
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.5	0.33	0.016	28	4.3
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Acero níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Hierro fundido gris	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Plata níquel	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4

Tabla A-22 PROPIEDADES TÍPICAS DE ALGUNAS ALEACIONES A BASE DE COBRE

Todas las resistencias de fluencia corresponden al método del 0.5% de desplazamiento. Para obtener su equivalente en kpsi se multiplican por 0.145, las cantidades en MPa.

Número UNS	Nombre de la aleación	Forma	Revenido	Resistencia de fluencia MPa	Resistencia a la tensión MPa	Elongación en 50 mm %	Dureza Rockwell H_R
C17000	Berilio	Varilla	Duro	515	790	5	98B
		Varilla	Suave	170	415	50	77B
		Lámina	Duro	1000	1210	2	...
C21000	Latón de dorar	Lámina	Duro	345	385	5	64B
		Lámina	Suave	70	235	45	46F
C22000	Bronce comercial	Lámina	Suave	370	420	5	70B
		Lámina	Suave	70	255	45	53F
		Varilla	Duro	380	415	20	60B
		Varilla	Suave	70	275	50	55F
C23000	Latón rojo	Lámina	Duro	395	480	5	77B
		Lámina	Suave	85	275	47	59F
		Varilla	Duro	360	395	23	75B
		Varilla	Suave	70	275	55	55F
C26000	Latón para cartuchos	Lámina	Duro	435	525	8	82B
		Lámina	Suave	105	325	62	64F
		Varilla	Duro	360	480	30	80B
		Varilla	Suave	110	330	65	65F
C27000	Latón amarillo	Lámina	Duro	415	510	8	80B
		Lámina	Suave	105	325	62	64F
		Varilla	Duro	310	415	25	80B
		Varilla	Suave	110	330	65	65F

Sprockets for No. 50, 5/8" Pitch ANSI Chain

Table No. 1 — Finished Bore Sprockets

STOCK Steel Sprockets with HARDENED TEETH

Part No.	Diameters Outside	Diameters Pitch	No. Teeth	Type	Stock Bores Marked "X" ⅛"	¼"	⅜"	1"	1⅛"	1⅜"	1¼"	1½"	Dimensions T Nom.	T Max.	P	H	Wt. Lbs
H5009	2.09"	1.827"	9	1	X	X	—	—	—	—	—	—	.343"	1"	2 11/32"	1 3/8" †	.3
H5010	2.30	2.023	10	1	X	X	X	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	1 3/4 †	.5
H5011	2.50	2.219	11	1	—	X	X	X	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	1 7/8 †	.6
H5012	2.70	2.415	12	1	X	X	X	X	X	—	—	—	.343	1	2 11/32	1 15/16 †	.7
H5013	2.91	2.612	13	1	—	X	X	X	X	X	X	—	.343	1	2 11/32	2†	.8
H5014	3.11	2.809	14	1	—	X	X	X	X	—	X	—	.343	1	2 11/32	2 1/16	1.0
H5015	3.32	3.006	15	1	—	X	X	X	X	X	X	X	.343	1	2 11/32	2 1/8	1.3
H5016	3.52	3.204	16	1	—	X	X	X	X	X	X	X	.343	1	2 11/32	2 3/16	1.5
H5017	3.72	3.401	17	1	—	X	—	X	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2 1/4	1.6
H5018	3.92	3.599	18	1-W	—	X	X	X	X	—	X	—	.343	1	2 11/32	2	1.8
H5019	4.12	3.797	19	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2	1.9
H5020	4.32	3.995	20	1-W	—	X	—	X	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.5
H5020	4.32	3.995	20	1-W	—	—	—	—	—	X	X	—	.343	1 1/8	2 5/32	2 1/2	2.7
H5021	4.52	4.194	21	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.6
H5022	4.72	4.392	22	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.7
H5024	5.12	4.788	24	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	3.0
H5024	5.12	4.788	24	1-W	—	—	—	—	—	—	X	—	.343	1 1/8	2 5/32	2 1/2	3.2

STOCK Steel Sprockets

Part No.	Diameters Outside	Diameters Pitch	No. Teeth	Type	Stock Bores Marked "X" ⅛"	¼"	⅜"	1"	1⅛"	1⅜"	1¼"	1⅜"	1⅜"	1½"	1⅝"	Dimensions T Nom.	T Max.	P	H	Wt. Lbs
509	2.09"	1.827"	9	1	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.343"	1"	2 11/32"	1 3/8" †	.3
5010	2.30	2.023	10	1	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	1 3/4 †	.5
5011	2.50	2.219	11	1	X	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	1 7/8 †	.6
5012	2.70	2.415	12	1	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	1 15/16 †	.7
5013	2.91	2.612	13	1	—	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2†	.8
5014	3.11	2.809	14	1	—	X	X	X	X	X	X	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2 1/16	1.0
5015	3.32	3.006	15	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	—	.343	1	2 11/32	2 1/8	1.3
5016	3.52	3.204	16	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	—	.343	1	2 11/32	2 3/16	1.5
5017	3.72	3.401	17	1	—	X	X	X	X	X	X	—	X	—	X	.343	1	2 11/32	2 1/4	1.6
5018	3.92	3.599	18	1-W	—	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2	1.7
5018	3.92	3.599	18	1-W	—	—	—	—	X	X	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2	1.8
5018	3.92	3.599	18	1	—	—	—	—	—	—	—	X	X	X	—	.343	1	2 11/32	2 1/8	1.9
5019	4.12	3.797	19	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2	1.8
5019	4.12	3.797	19	1-W	—	—	—	—	X	—	X	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2	1.9
5020	4.32	3.995	20	1-W	—	X	X	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1	2 11/32	2	2.4
5020	4.32	3.995	20	1-W	—	—	—	—	X	X	X	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.5
5020	4.32	3.995	20	1-W	—	—	—	—	—	—	—	X	X	X	—	.343	1 1/8	2 5/32	2 1/2	2.7
5021	4.52	4.194	21	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.4
5021	4.52	4.194	21	1-W	—	—	—	—	X	—	X	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.6
5021	4.52	4.194	21	1-W	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2 1/2	2.8
5022	4.72	4.392	22	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.5
5022	4.72	4.392	22	1-W	—	—	—	—	—	—	X	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.7
5023	4.92	4.590	23	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.7
5024	5.12	4.788	24	1-W	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	2.8
5024	5.12	4.788	24	1-W	—	—	—	—	—	X	X	—	X	X	—	.343	1 1/8	2 5/32	2	3.0
5030	6.32	5.979	30	1-W	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	—	.343	1 1/8	2 5/32	2 1/2	4.2

NEW Steel Sprockets Assembled from STOCK Components — ONE WEEK DELIVERY*

Part No.	Diameters Outside	Diameters Pitch	No. Teeth	Type	Stock Bores Marked "X" ¼"	⅜"	1"	1⅛"	1⅜"	1¼"	1⅜"	1⅜"	1⅜"	1⅜"	1¾"	1⅞"	Dimensions T Nom.	T Max.	P	H	Wt. Lbs
5022	4.72"	4.392"	22	1-IW	X	X	—	X	X	—	X	X	X	X	X	X	.343"	1 15/16"	⅞"	3 7/32"	3.1
5023	4.92	4.590	23	1-IW	X	X	—	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	3.3
(5024)	5.12	4.788	24	1-IW	X	X	—	X	—	—	X	—	—	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	3.5
5025	5.32	4.987	25	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	3.6
5026	5.52	5.185	26	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	3.8
5027	5.72	5.381	27	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	3.9
5028	5.92	5.582	28	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	4.1
5029	6.12	5.781	29	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	4.3
5030	6.32	5.979	30	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	—	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	4.4
5031	6.52	6.178	31	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	4.6
5032	6.72	6.376	32	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	4.7
(5033)	6.92	6.575	33	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	4.9
5034	7.12	6.774	34	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	5.1
5035	7.32	6.972	35	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	5.4
5036	7.52	7.171	36	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	5.6
5037	7.72	7.370	37	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	5.8
5038	7.92	7.569	38	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	5.9
5039	8.12	7.767	39	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	6.0
5040	8.32	7.966	40	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	6.2
5041	8.52	8.165	41	1-IW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	.343	1 15/16	⅞	3 7/32	6.3

All Finished Bore Sprockets are furnished with Standard Keyway and Hollow Head Setscrew over Keyway. Stock Sprockets with HARDENED TEETH have an additional Setscrew at 90° to Keyway.

†Hub recessed ¼" wide for Chain Clearance.

*Maximum quantity for Type 1-IW Sprockets is 49 pieces per size. Once and order for these sprockets has been accepted, it cannot be cancelled.

BIBLIOGRAFIA

1. **American Society for Metals:** *"Metals Handbook: Forging and Casting"*. ASM Handbook Committee, 1970.

2. **Angulo J., J. Sanchez:** *"Control de Procesos Industriales por Computadora"*. Madrid, Ed. Paraninfo, 1987.

3. **Browning:** *"Catalogo de Equipos para Transmisión de Potencia"*. 1980.

4. **Brunhuber E.:** *"Fundición a presión"*. Barcelona, Ed. Gustavo Gili, 1979.

5. **Buckley, P. S.:** *"Techniques of process control"*. John Wiley, 1964.

6. **Camacho F.:** *"AutoCAD 2.6"*. 1990.

7. **Casillas:** *"Máquinas"*. 1978.

8. **Ceballos Javier:** *"GW BASIC BASICA para IBM-Pc y compatibles"*. 1990.

9. **Dormido, S., Prada de, C.:** *"Fundamentos y técnicas básicas en el control de procesos con ordenador"*. 1984.

10. **Gerling:** *" Medición de longitudes"*. 1979.

11. **Gupton James A.:** *"Computer Controlled Industrial Machines, Processes, and Robots"*. Prentice Hall, 1986.

12. **Hall, Holowenco, Laughlin:** *"Diseño de Máquinas"*. 1971.

13. **Helmut Schmidt/Wolfgang Weber:** *"Messen und Experimentieren mit IBM-PC´s und Kompatiblen"*. 1986.

14. **Holman:** *"Experimental Methods for Engineers"*. 1978.

15. **INEN:** *"Codigo de dibujo Técnico Mecánico"*. 1981.

16. **International Lead and Zinc Research Organization:** *"Designing for Thin Wall Zinc Die Castings"*. 1986.
". 1987.

17. **Katsuhiko Ogata:** *"Ingeniería de Control Moderna"*. 1980.

18. **Lee, T. H., Adams, G. E.,Gaines, W. M.:** *"Computer process control: Modelling and optimization"*. John Wiley, 1968.

19. **Marks:** *"Manual del Ingeniero Mecánico"*. 1984.

20. **Pokrovskaia A.:** *"Dibujo Industrial"*. 1975.

21. **Popov Egor:** *"Meánica de Sólidos"*. 1986.

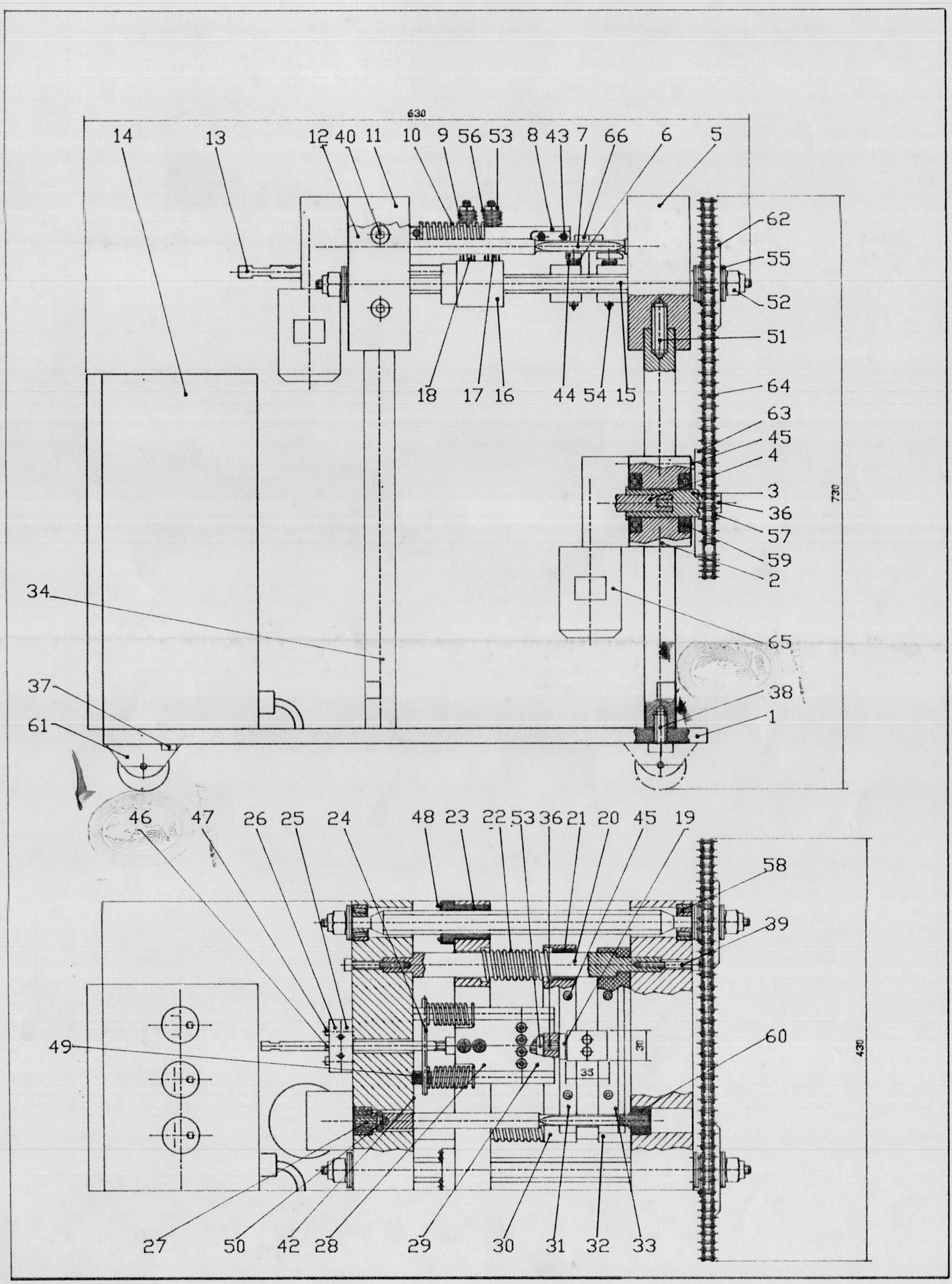
22. **Raker D./H. Rice:** *"Inside AutoCAD"*. 1986.

23. **Shigley/John Uicker:** *"Teoría de máquinas y mecanismos"*. 1983.

24. **Shigley/Larry Mitchell:** *"Diseño en Ingeniería Mecánica"*. 1985.

25. **SKF:** *"Catalogo General"*. 1982.

26. **Timoshenko S.:** *"Resistencia de materiales"*. 1967.


630
14
13
12
40
11
10
9
56
53
8
43
7
66
6
5
62
55
52
51
64
63
45
4
3
36
57
59
2
65
38
1
18
17
16
44
54
15
730
34
37
61
46
47
26
25
24
48
23
22
53
36
21
20
45
19
58
39
60
49
27
50
42
28
29
30
31
32
33
430

MOTOR MOLDE

MOTOR VIBRADOR

SOLENOIDE INYECTORES

D.A.14V VIBRA. INYECT.

D.R.14V

D.A.GND

D.R.GND

TARJETA RELAIS SECUNDARIOS

24V 0V

24V 14V 0V

220V 0V

F.DE PODER

SENAL CORTE
SENAL INYEC.
SENAL ATRAS
+12
GND
LED CORTE
LED INYEC.
LED ATRAS
R/F.ATRAS + -
R/F.INYEC. + -
R/F.CORTE + -

TARJETA POSICION

SLOTS B1,B3,B7 Y B9 TAR.JETA AD 8BIT

HEMBRA

MACHO

TERMOPAR
-
+12
GND
-12
SENAL AMP.

AMP.HORNO

AMP.INYECT.

AMP.MOLDE

GND
D7
D6
D5
D4
D3
D2
D1
D0

PUERTO PARARELO

MACHO

TARJETA RELAIS PRIMARIOS

INYECTOR
MOTOR VIB.
MOTOR MOLDE
DIREC. MOLDE
ENF. MOLDE
R. MOLDE
R. INYECT.
R. HORNO

INYECTORES

HORNO

10A BREAKER
10A BREAKER
32A BREAKER
600V-20A CONTACTOR
600V-35A CONTACTOR

RED 220V

	PESO:		
	FECHA	NOMBRE	ESQUEMA DE CONTROLES
DIBUJO	21/3/91	DREHER	
REVISO	15/5/91	DR.LOHRLEIN	
COMPRUBO			
ESPOL			ECCNC.00.91