



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE MEXICO

17
2ej.
Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño y su Aplicación

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico Electricista

(Area Mecánica)

Presentan

Omar Antonio Baltodano Prado

Roberto Pulido Llano

Director, **Dr. Guillermo Aguirre Esponda**
Asesor, **Ing. Vicente Borja Ramírez**

México, D.F., 1992.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PROCESO DE SOLUCION DE PROBLEMAS EN LA INGENIERIA DE DISEÑO Y SU APLICACION

Indice

Indice	1
Objetivos	2
1. Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Trabajo realizado	3
1.3. Diseño e ingeniería de diseño	5
1.3.1. Principios generales del diseño	6
1.3.2. Dimensiones del diseño	6
1.3.3. Diseño de producto único y de producto en serie	9
1.4. Creatividad y conocimiento	11
2. Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño	11
2.1. Progreso y mejoramiento del proceso de diseño	11
2.2. Características y objetivos	14
2.3. Definición de etapas	20
2.4. Definición de fronteras	21
2.5. Estructura de las etapas	22
3. Descripción detallada de las etapas, subetapas y actividades involucradas en el proceso de creación de un producto	23
3.1. Clarificación del problema	23
3.2. Diseño conceptual	31
3.3. Diseño de configuración	39
3.4. Diseño de detalle	48
3.5. Desarrollo del producto y del proceso	50
3.6. Revisión del diseño	52
3.7. Comunicación del diseño	54
3.8. Iteraciones	57
4. Aplicación del Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño	60
4.1. El Centro de Diseño Mecánico de la Facultad de de Ingeniería de la UNAM	60
4.2. Proyecto "Módulo de Actuación"	61
5. Conclusiones	109
6. Bibliografía	
6.1. Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de diseño	111
6.2. Proyecto "Módulo de Actuación"	113

Apéndice 1. Proceso de creación de un producto, sus etapas y
fronteras

Apéndice 2. Diseño del "Módulo de Actuación"

Apéndice 3. Diseño del Mecanismo Actuador del "Módulo de
Interrupción"

Apéndice 4. Índice de ilustraciones

PROCESO DE SOLUCION DE PROBLEMAS EN LA INGENIERIA DE DISEÑO Y SU APLICACION

Objetivos

- 1) Presentar el proceso de solución de problemas como una herramienta que permite converger a soluciones óptimas en la Ingeniería de Diseño.

- 2) Presentar la integración del Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño al proceso de creación de productos.

- 3) Presentar una aplicación del Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño a través de la descripción del proyecto "Módulo de Actuación" desarrollado en el Centro de Diseño Mecánico de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

PROCESO DE SOLUCION DE PROBLEMAS EN LA INGENIERIA DE DISEÑO Y SU APLICACION

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de globalizar el aprendizaje adquirido durante la estancia en la Facultad de Ingeniería como alumnos y en su Centro de Diseño Mecánico, como colaboradores en proyectos. Este aprendizaje cubre la *ciencia* -los principios y las causas de los conocimientos exactos-, la *técnica* -aplicación práctica de la ciencia-, y la *administración* -organización de recursos disponibles; sin olvidar el velo humanístico que se percibe a lo largo de los años de estudio con la finalidad de encauzar, en beneficio de la sociedad, la aplicación de conocimientos durante el desarrollo profesional.

Dentro del entorno de la realidad mundial contemporánea la ingeniería, en conjunción con otras disciplinas científicas, artísticas, filosóficas y administrativas, profundiza y agiliza la intensidad de la evolución tecnológica. Bajo esta concepción, la especialización y la división del trabajo se ha incrementado, así como la necesidad de trabajar en equipos multidisciplinarios. La ingeniería se ha transformado al interior -*ingeniería simultánea*- y al exterior -*trabajos simultáneos*-, donde se recalca la importancia de involucrar a todas las áreas pertinentes y de establecer los nexos de interrelación para intercambiar información fructíferamente y obtener resultados óptimos. Por lo anterior, es preciso disponer de herramientas que permitan controlar flujos de información y de recursos para el desempeño de labores relacionadas con *proyectos*, definiendo proyecto como el trabajo que pretende obtener soluciones a necesidades humanas. El proceso de solución de problemas es una herramienta útil para este fin. En el presente trabajo se expone este proceso, que es una instrumento aplicable en áreas de diseño de productos o sistemas que contribuye a prever consecuencias y evitar la pérdida de control durante el desarrollo de proyectos. A lo largo de esta tesis se designa como producto a un satisfactor puntual y sistema a un conjunto de elementos que interactúan para obtener satisfactores globales.

1.2. Trabajo realizado

El presente trabajo se realizó en tres etapas:

- 1) *Investigación sobre procesos de diseño.*
- 2) *Exposición del Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño y su integración al proceso de creación de productos*
- 3) *Ejecución del proyecto "Módulo de Actuación"*

Estas etapas no se desarrollaron de modo consecutivo, existieron traslapes y multitud de iteraciones en cada una y entre las mismas.

En la etapa inicial de *investigación* se ubicaron las posibles fuentes de información, recurriendo básicamente a personas con experiencia en el tema y a bibliografías afines. Paralelamente se llevó al cabo una etapa de análisis de la información ubicando los rubros de importancia, en los que se profundizó posteriormente.

La *exposición* del Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño es fruto de:

1)	La evolución del proceso de diseño
2)	Un trabajo de análisis y de síntesis de los procesos de diseño existentes
3)	La ubicación del campo de trabajo de la ingeniería de diseño
4)	La <i>formulación</i> de un proceso general para solucionar problemas en el área de ingeniería de diseño
5)	Una formación técnica-científica-administrativa-humanística inducida en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. y en su Centro de Diseño Mecánico
6)	Un desarrollo profesional en el Centro de Tecnología Avanzada, IMEC, perteneciente a la División Enseres Domésticos del Grupo Vitro

La *ejecución* del proyecto se llevó al cabo en el Centro de Diseño Mecánico de la Facultad de Ingeniería con la colaboración del Instituto de Investigaciones Eléctricas y el apoyo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. El proyecto se decidió realizar como una experiencia en el campo de la ingeniería de diseño y como un ejemplo de la aplicación del proceso de solución de problemas, mediante el cual se validaron conceptos y se retroalimentaron otros.

1.3. Diseño e ingeniería de diseño

Diseño es la realización de un complejo acto de fe.- Jones, 1966

El *diseño* es el motor de solución a los problemas que se presentan día con día al hombre, desde los cotidianos hasta las grandes obras; es dar vida y forma a las ideas creativas que resuelven problemas humanos.

No es privativo de ninguna ciencia o técnica. Es enfrentarse a lo incierto para obtener resoluciones que satisfagan problemas de manera óptima, es decir, en base a los recursos disponibles.

La *ingeniería* es una actividad creativa fundamentada en conocimientos técnicos y científicos, cuyo campo de acción se sitúa alrededor de la transformación de recursos para satisfacer necesidades humanas.

La *ingeniería de diseño* es la disciplina que solventa problemas mediante la transformación de recursos naturales siguiendo tres *objetivos de optimización*¹:

Objetivo	Influencia
Economía	Recursos de manufactura
Confiabilidad	Duración
Eficiencia	Manejo de energía

Diseño: ...romper el equilibrio... .- Ramírez, 1984

¹ Guillermo Aguirre, Evaluation of Technical Systems at The Design Stage, tesis doctoral (Inglaterra: Departamento de Ingeniería, Universidad de Cambridge, 1990).

1.3.1. Principios generales del diseño

Los tres objetivos básicos de la ingeniería de diseño son difíciles de controlar durante el proceso de diseño. Por lo tanto, se han propuesto tres principios generales de diseño² que ayudan al diseñador a garantizar el cumplimiento de los objetivos citados.

Simplicidad	Es reducir a lo fundamental, eliminando implicaciones superfluas. Impacta principalmente la economía del producto.
Claridad	Es precisión y exactitud en la aplicación de los principios de operación. Impacta principalmente la eficiencia del producto.
Unidad	Es balance, continuidad y homogeneidad entre las propiedades del sistema. Se relacionan las partes del todo entre sí, el todo en sí mismo y el ambiente. Impacta principalmente la confiabilidad del producto.

1.3.2. Dimensiones del diseño

Las dimensiones del diseño³ son los rectores del mismo durante todas sus etapas y actividades. Estas ayudan a ubicar los proyectos de diseño en función de objetivos específicos. Se presentan a continuación las citadas dimensiones:

Funcionalidad	Relación con la ejecución de la función.
Tiempo	Relación con la duración tolerable o permisible.
Costo	Relación con los factores económicos y financieros.

² Ibid.

³ A. Ramirez, Método de Diseño y su Realización, tesis de licenciatura (México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 1984).

Estas dimensiones pueden tener una representación tridimensional, la cual se muestra en la ilustración 1.

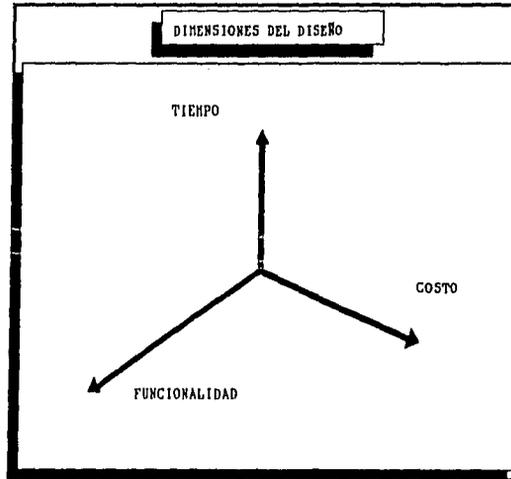


Ilustración 1

El control de las tres dimensiones mencionadas aumenta la potencialidad de éxito del diseño, tanto a nivel proyecto como a nivel producto o sistema.

A nivel proyecto se refiere a la funcionalidad del diseño obtenida en un tiempo mediante un costo. A nivel producto se refiere a la funcionalidad inherente y al costo de obtenerla.

La interrelación del tiempo y el costo con la funcionalidad se plasma en las ilustraciones 2⁴ y 3⁵, las cuales son fruto de la experiencia industrial de las últimas tres décadas.

Resaltan éstas ilustraciones la importancia de contar con una correcta organización para lograr la funcionalidad deseada en el tiempo y costo apropiados. La ilustración 2 muestra el proceso de creación de un producto y el incremento del costo de los cambios y el potencial de ahorro a medida que se desarrolla el proceso. Se aprecia que los cambios realizados durante la etapa de diseño no representan un costo elevado y que el potencial de ahorro es máximo. La pendiente de las curvas la determina el tipo de

⁴ R. J. Park And Associates, Inc., Value Control, edición revisada (Estados Unidos: R. J. Park and Associates, Inc., 1978).

⁵ Munro & Associates, Inc., Design for Manufacture, publicación de compañía consultora (Estados Unidos: Munro & Associates Inc., 1992).

producto en cuestión, sus volúmenes de producción y las políticas de la empresa que los manufactura. La ilustración 3 denota la considerable influencia de la etapa de diseño en el costo final de un producto y la mínima contribución que hace al mismo. Los porcentajes indicados son promedios representativos de productos de la industria manufacturera o secundaria. El costo representado denota la inversión total durante el proceso. El porcentaje de mano de obra varía dependiendo del país donde se manufacture el producto y los salarios respectivos.

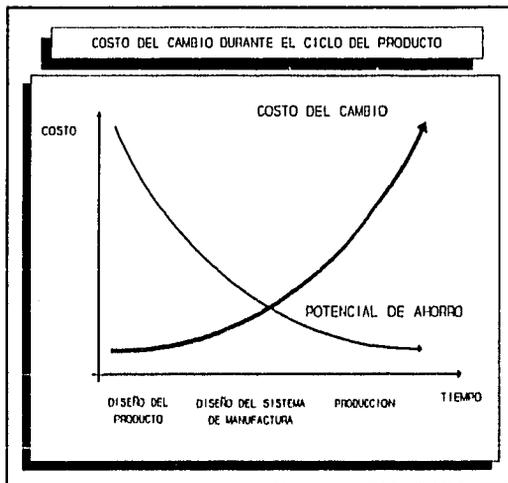


Ilustración 2

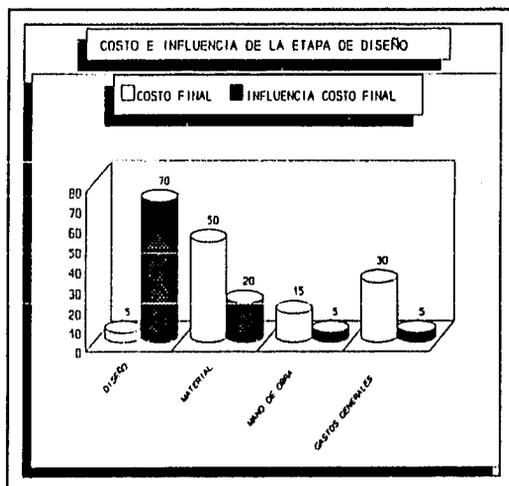


Ilustración 3

1.3.3. Diseño de producto único y de producto en serie

El presente trabajo versa sobre el diseño de productos que operan en relación constante con sistemas. De acuerdo a su complejidad, un producto puede ser un dispositivo, una máquina o un equipo. Se distingue entre los procesos de un producto único y de un producto en serie debido a las diferencias notables que presentan en su desarrollo. La diferencia primordial entre la creación de productos únicos que satisfacen necesidades puntuales y de productos en serie, de un público consumidor, radica principalmente en el número de etapas involucradas desde su gestación hasta su consolidación en un satisfactor.

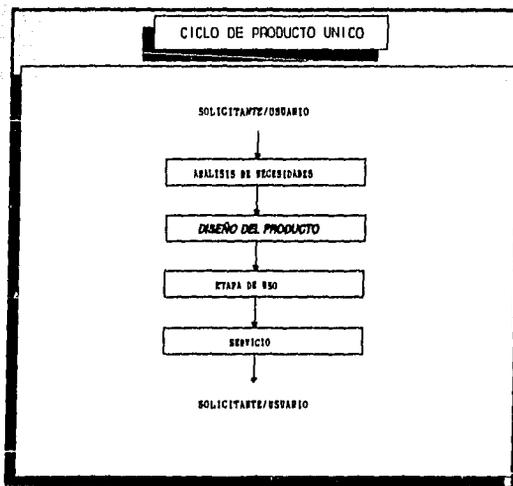


Ilustración 4

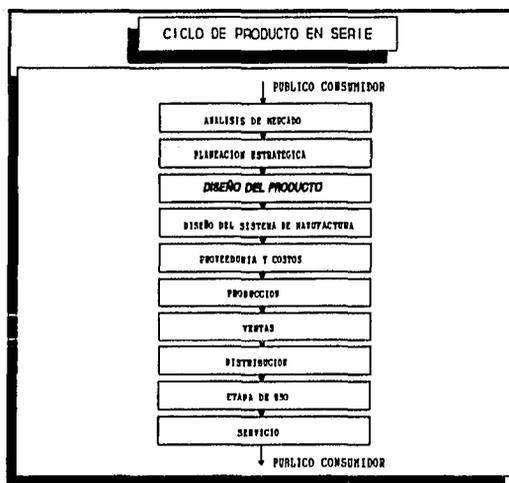


Ilustración 5

En las ilustraciones 4 y 5 se muestran ejemplos de los procesos de creación de productos únicos y de productos en series, respectivamente, incluyendo sus etapas principales. La aportación relativa que la ingeniería de diseño hace a la creación del producto, así como la de la ingeniería de procesos y del diseño industrial, se indican en la ilustración 6.

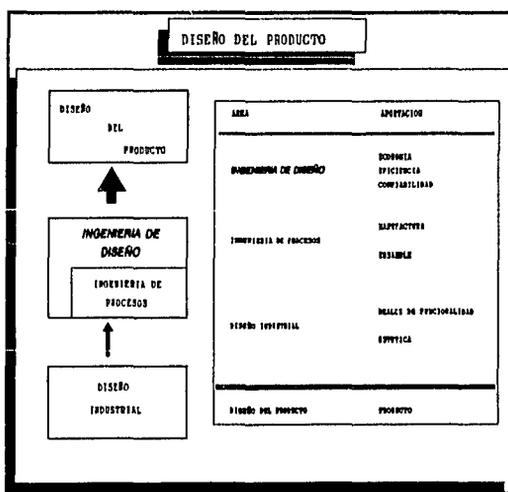


Ilustración 6

1.4. Creatividad y conocimiento

A lo largo del proceso de solución de problemas se desenvuelve un factor inherente al ser humano como motor peculiar de desarrollo: la *creatividad*. Este agente puede definirse como el tesón del hombre por obtener soluciones a los problemas que se le presentan, basado en conocimientos, experiencia y habilidades propias. La creatividad se alimenta también de la idealización y de la capacidad de visualización. La creatividad es relevante en todas las etapas del proceso de solución de problemas, sin embargo su influencia más notable se da en las primeras etapas, desde el descubrimiento y esclarecimiento del problema real a resolver y las necesidades que lo originaron, y en la generación de la solución conceptual. *El conocimiento*, definida como la integración del acervo de lo que se conoce por experiencia más lo que se sabe por referencia, también desempeña un papel importante durante la ejecución del proceso de solución de problemas. La relación del conocimiento es mayor en las últimas etapas del proceso, en que se tiene que garantizar la confiabilidad y funcionalidad del producto. Con lo anterior se recrean dos de los fundamentos de la senda para encontrar soluciones óptimas a problemas.

2. Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño

2.1. Progreso y mejoramiento del proceso de diseño⁶

El proceso de diseño, como todo aquello que atañe la presencia del hombre en la Tierra, ha sufrido una mejora que ha permitido perfeccionar los conceptos e interrelaciones que lo definen.

Globalizando las concepciones se pueden distinguir tres formas básicas de ejecutar el proceso de diseño, diferenciándose básicamente por la certidumbre que ofrecen de que la solución obtenida sea la esperada.

1) *Diseño progresivo o lineal*

Es la forma progresiva o lineal de diseñar, al presentarse los problemas, se obtienen soluciones a necesidades primarias y secundarias sin cerciorarse de que el satisfactor obtenido cumpla con las expectativas. No se emplea ningún medio formal para establecer lo apropiado de la solución obtenida, ni su relación con la causa que la originó o con otras obtenidas para problemas semejantes o iguales. Puede inclusive ocurrir en ocasiones que se corrobore que la solución satisfaga los requerimientos del problema. En el mejor de los casos se obtienen ajustes paulatinos a soluciones anteriores que en

⁶ Aguirre, loc.cit.

alguna medida se adecuaban a las demandas funcionales. La ilustración 7 muestra una representación gráfica de la forma progresiva o lineal de diseñar.

En la vida diaria se obra de manera instintiva para resolver problemas simples, y en estos casos se aplica la forma lineal de diseñar. Por ejemplo, si se requiere cruzar una calle, en muchas ocasiones se obra por impulso y se cruza en lugares peligrosos o poco adecuados, y esto acarrea el que no se cumple con la necesidad inicial, ya que el peatón termina en el hospital.

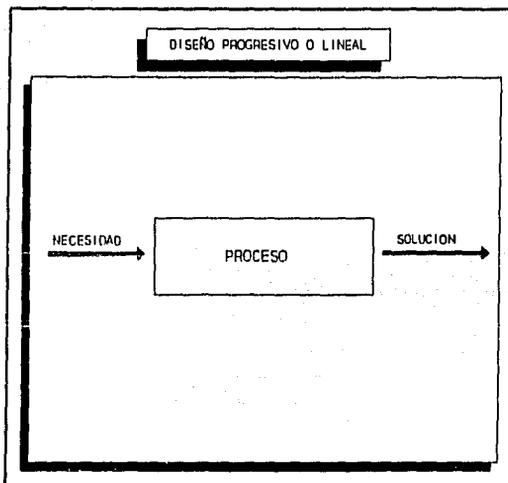


Ilustración 7

2) *Diseño por soluciones validadas*

A diferencia de la forma lineal de diseñar, en el diseño por soluciones validadas se corrobora que la solución resuelva el problema aun cuando no se cuantifique el porcentaje de satisfacción o el buen empleo de los recursos disponibles. Se proporcionan soluciones basándose en la experiencia, no en la aplicación de conocimientos. Se buscan soluciones hasta encontrar alguna apropiada, y a partir de ese momento se consideran válidas y se siguen empleando sin cuestionamiento hasta que la necesidad cambia cuantitativamente y entonces se tiene que buscar otra solución, ya la existente no sirve más. Se muestra esta forma de diseñar en la ilustración 8.

Esta forma de diseñar corresponde al proceso de solución de problemas por prueba y error, en que a través de tanteos se llega a soluciones adecuadas. La principal deficiencia de este proceder es que en productos sofisticados, tales como un aeroplano, el obrar por prueba y error es prohibitivo.

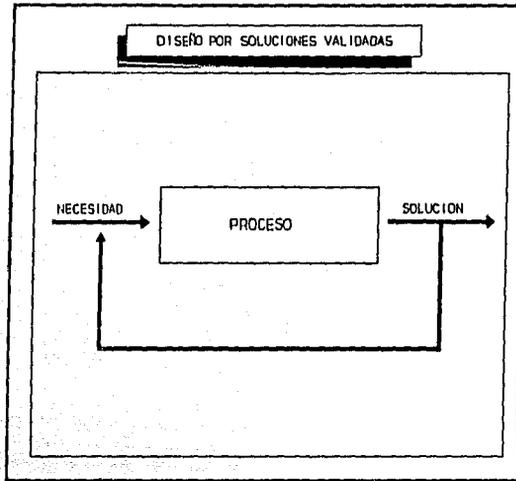


Ilustración 8

3) *Diseño con aplicación de conocimientos*

En esta forma de diseñar no basta con obtener soluciones válidas, sino se tiende a obtener la mejor solución basada en los recursos disponibles y en la evolución histórica del hombre. Para esto se emplean filtros constituidos por conocimientos científicos y técnicos y experiencia, lo cual avala, mediante iteraciones, el empleo adecuado de los recursos en un espacio de tiempo y costo definidos para la obtención de un satisfactor. Se expone esta etapa en la ilustración 9.

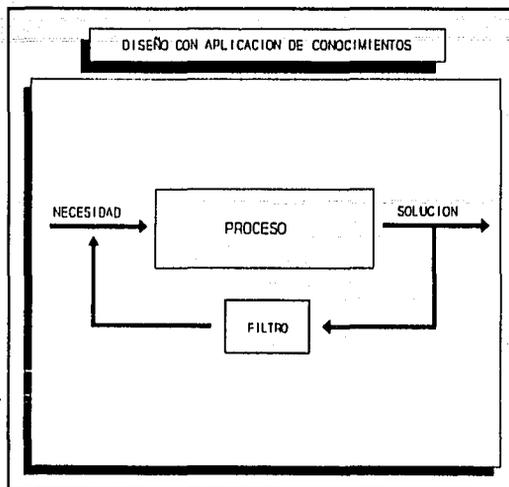


Ilustración 9

El proceso de solución de problemas que se presenta es consecuencia de la progresión de esta última etapa y procura soluciones con las mismas pretensiones.

2.2. Características y objetivos

El proceso de solución de problemas que se expone es una metodología que sirve para resolver problemas de distinta índole en áreas relacionadas con la ingeniería -en particular ingeniería mecánica, industrial, eléctrica, electrónica y computacional. El enfoque que se presenta y en el cual se profundiza, recae sobre la ingeniería de diseño y puede emplearse en proyectos cuyo objetivo sea diseñar un producto único o en aquellos que pretendan diseñarlo para fabricación en serie.

La definición de los siguientes términos se incluye para facilitar su empleo subsecuente:

- ▶ Un *proceso* engloba una serie de etapas que transcurren en el tiempo.
- ▶ Una *necesidad* es aquello de que no se puede prescindir.
- ▶ Un *problema* es una dificultad surgida de una necesidad que requiere satisfacción.
- ▶ Una *solución* es un satisfactor a un problema.
- ▶ La *ingeniería de diseño* versa sobre la transformación de recursos proporcionándoles valor agregado (economía, confiabilidad y eficiencia).
- ▶ El *proceso de solución de problemas en la ingeniería de diseño* es un instrumento que auxilia la optimización de los medios disponibles para obtener satisfactores a las dificultades con las que se enfrenta la ingeniería de diseño.

El Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño se presenta esquemáticamente en la ilustración 10.

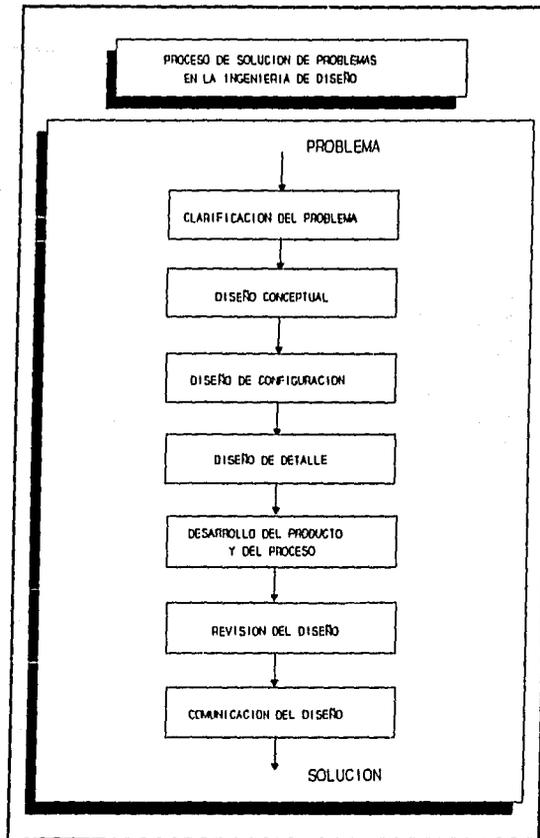


Ilustración 10

El modelar el proceso de solución de problemas en la ingeniería de diseño y el integrarlo al proceso de creación de productos tiene dos objetivos:

- 1) Evitar la pérdida de control durante el desarrollo de proyectos.
- 2) Obtener soluciones óptimas maximizando el empleo de los recursos disponibles, mediante iteraciones programadas y no programadas.

El modelar el proceso de solución de problemas, y su integración al proceso de creación de productos, nos expone con antelación a los flujos de información de entrada y salida entre las etapas que se dan durante el desarrollo de un proyecto; a su vez, permite prever los elementos necesarios y las consecuencias de las resoluciones que se van tomando. Por lo anterior, y por la posibilidad de globalizar el proyecto completo y las interrelaciones entre sus etapas, el proceso de solución de problemas es útil para evitar la pérdida de control del mismo.

La solución óptima a un problema no es siempre aquella que colinda con la frontera tecnológica contemporánea, sino aquella que contempla el mejor empleo de los recursos disponibles para resolver el problema particular. Esto es lo que pretende el proceso en cuestión.

El proceso de solución de problemas no es un procedimiento automático ni sistemático, es una *herramienta de trabajo*, tanto a nivel directivo, como a nivel jefe de proyecto, ingeniero diseñador y ayudante de diseñador. En la ilustración 11⁷ se muestra el espectro de las funciones ingenieriles donde es útil la aplicación del proceso. Se recalca que a todos los niveles el proceso es útil para ubicar la integridad del proyecto, los campos de acción particulares, las interrelaciones con otras áreas y el rumbo a seguir en equipo. No es automático en cuanto a que no resuelve problemas por el hecho de aplicarlo, hay que *interactuar* con el proceso para encontrar soluciones. Es un instrumento con el que cuenta la ingeniería de diseño para resolver problemas en forma óptima. El proceso no pretende restringir la creatividad sino complementarla y enfocarla por senderos útiles y reales.

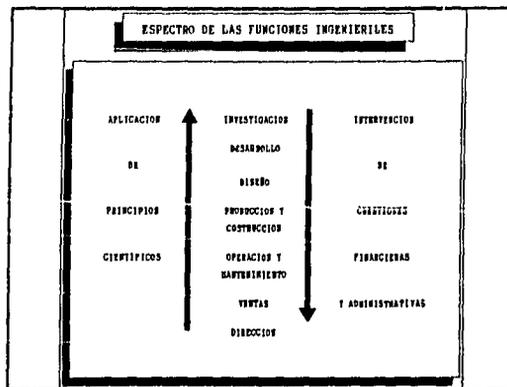


Ilustración 11

⁷ G. Dieter, Engineering Design: A Material an Processing Approach, primera edición (Japón: Mc Graw-Hill, 1983).

La aplicación del proceso de solución de problemas para modelar la forma en que se crea un producto, muestra que este último está constituido por una serie de etapas interrelacionadas que en conjunto tienen como finalidad conducir a la creación de satisfactores de necesidades. Las etapas a su vez se conforman por subetapas y éstas por actividades. Se esquematiza lo anterior en la ilustración 12.

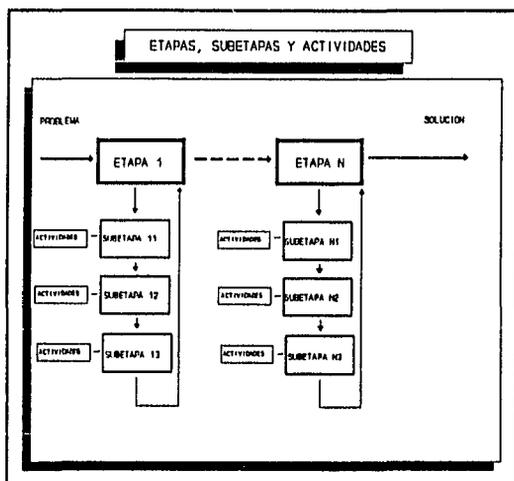


Ilustración 12

En cada uno de los niveles mostrados se requiere generar la información y soluciones que se concretan en la siguiente tabla:

<ul style="list-style-type: none"> ▶ Objetivos ▶ Resultados ▶ Responsables ▶ Duración (tiempo) ▶ Costo ▶ Recursos ▶ Revisiones periódicas ▶ Iteraciones planeadas

El proceso no es lineal ni pretende ser una serie de pasos consecutivos. Es iterativo al interior de las etapas y entre las mismas. Las iteraciones ocurren de modo planeado y de modo no

planificado. Estas se deben fomentar porque son filtros que permiten corroborar que el avance del proyecto se encuentra en la dirección correcta, a su vez retroalimentan el proceso etapa a etapa y actividad a actividad por la nueva información a la que se tiene acceso. Las iteraciones sirven para evaluar soluciones y pueden emplearse a cualquier nivel dentro del proceso (etapas, subetapas y actividades). El concepto de iteración se esquematiza en la ilustración 13.

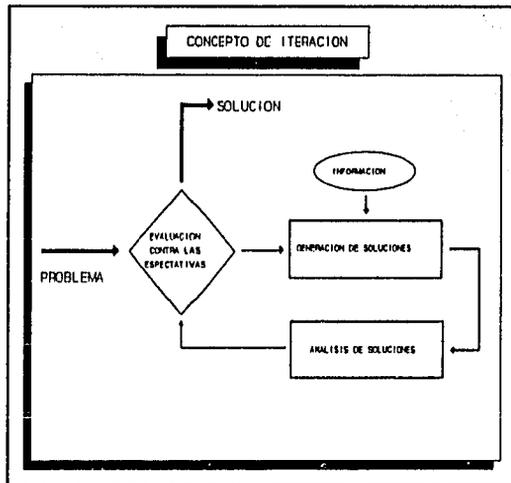


Ilustración 13

Existen traslapes entre las etapas y entre las actividades que las constituyen, lo cual redundará en actividades paralelas y actividades consecutivas.

Las características anteriores fortalecen la posibilidad de converger a soluciones óptimas, esto es, en caso de existir. Finalmente, se presenta un proceso que debe adecuarse al problema en particular y no viceversa. Se presenta el pensamiento lógico-histórico del hombre para resolver problemas, el cual no sigue un camino definido.

En la ilustración 14 se muestra en forma esquemática el proceso de creación de un producto modelado a partir del proceso de solución de problemas, mostrando sus etapas principales y fronteras.

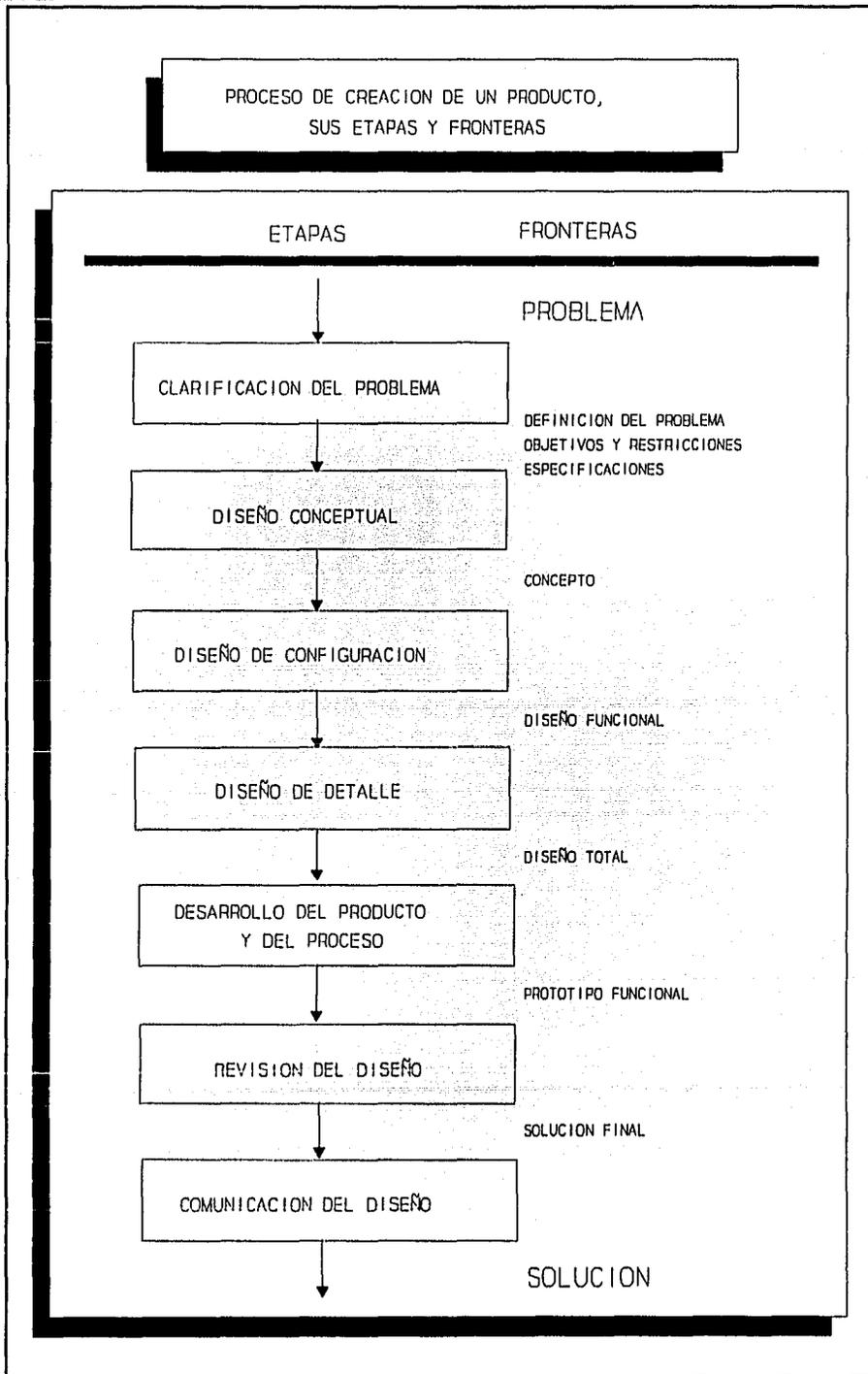


Ilustración 14

2.3. Definición de etapas

A continuación se definen las etapas constituyentes del proceso de creación de un producto, es decir, los periodos que median entre los puntos importantes del mismo:

Clarificación del problema	Es la etapa donde se comprenden las necesidades y la dificultad particular que originan con la intención de clarificar el origen y el término del proyecto para dirigir correctamente los esfuerzos de diseño.
Diseño conceptual	Es la etapa donde se concretiza la noción de solución.
Diseño de configuración	Es la etapa donde se determina la forma funcional, la físico-química y la disposición de los componentes de la solución, basándose en el concepto de solución.
Diseño de detalle	Es la etapa donde se define la solución caracterizando los componentes y los procesos de manufactura.
Desarrollo del producto y del proceso	Es la etapa donde se recrea un modelo funcional para certificar la veracidad del concepto y de la configuración de la solución en base al diseño de detalle y del proceso.
Revisión del diseño	Es la etapa donde se examina minuciosamente el modelo funcional para ubicar áreas de acierto, áreas de falla y áreas de mejora, con la finalidad de recrear un prototipo.
Comunicación de la solución	Es la etapa donde se plasma sistemáticamente la solución en un paquete de información para difundirla a posteriores periodos del ciclo de vida.

2.4. Definición de fronteras

A continuación se definen las *fronteras* del proceso de creación de un producto, es decir, los *límites de información entre las etapas* del mismo:

Necesidad	Surge debido al precisamiento de satisfactores.
Definición del problema	Es la ubicación concreta del estado actual y del estado futuro, considerando todos los elementos involucrados.
Objetivos	Son las finalidades del proyecto con las cuales se puede negociar durante el desarrollo del proyecto, en caso de ser necesario.
Restricciones	Son las limitantes del proyecto, es decir, aquellas consideraciones con las cuales no se puede negociar en ningún momento del proyecto.
Especificaciones	Son la cuantificación de los objetivos y las restricciones, con las cuales se corroborará en cada etapa del proceso que los esfuerzos están bien encaminados.
Concepto	Es la idea que forma el entendimiento de la solución del problema.
Diseño funcional	Es la concepción de la forma exterior y las propiedades físico-químicas del concepto de solución, puntualizando la función y la relación con las interfases internas y externas.
Diseño total	Es la definición integral del diseño, detallando componentes, procesos e interfases.
Prototipo funcional	Es la verificación operativa del diseño total.
Solución final	Es la materialización optimizada del diseño total en un ente físico-funcional, el cual se puede emplear para satisfacer la necesidad.
Solución	Es el satisfactor al problema surgido de la necesidad.

2.5. Estructura de la etapas

Las etapas del proceso de solución de problemas se caracterizan por tener una estructura dinámica⁸, la cual está constituida según Love por las fases que se señalan en la ilustración 15.

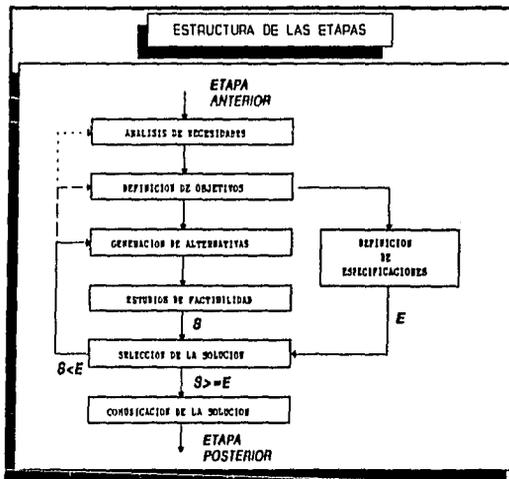


Ilustración 15

Se definen a continuación las fases señaladas:

Análisis de necesidades	Advertir las pretensiones de la etapa.
Definición de objetivos	Definir qué se debe hacer.
Definición de especificaciones	Cuantificar los objetivos; definir cómo se debe hacer lo que se debe hacer.
Generación de alternativas	Establecer las posibles soluciones.
Estudios de factibilidad	Analizar y depurar las posibles soluciones.
Selección de la solución	Elegir la solución óptima.
Comunicación de la solución	Transmitir la solución; definir qué se debe hacer y cómo debe hacerse.

⁸ S. F. Love, Planning and Creating Successful Engineered Designs, reimpresión (Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold Co., 1980).

Las fases constituyentes de la estructura de las etapas son la concepción del trabajo durante la ejecución de las mismas, no son actividades. Esta noción se concretiza en acciones llevando al cabo las subetapas y sus actividades respectivas.

En la ilustración 14 se plantean iteraciones a fases posteriores para certificar que la solución satisface la necesidad, y a fases anteriores en caso de concluir que las alternativas no satisfacen las especificaciones. En caso de concluir algún cuestionamiento sobre la veracidad de las especificaciones se retorna hasta la fase de definición de objetivos y/o al análisis de necesidades, y en casos extremos se retorna hasta la etapa previa.

El planteamiento de Love no corresponde a la realidad del proceso ya que supone una repetición continua del mismo esquema, algo que en la práctica se contrapone con la realidad del desarrollo del proyecto. Este se presenta por la importancia que reviste en el progreso y mejoramiento del proceso de diseño y por los conceptos fundamentales que aporta. En el capítulo siguiente se presentan las etapas del proceso de creación de un producto modelado a partir del proceso de solución de problemas, en las cuales se denota que su estructura particular es única y diferente a la propuesta por Love.

3. Descripción detallada de las etapas, subetapas y actividades involucradas en el proceso de creación de un producto.

A continuación se presenta una visión de la estructura y contenido de las etapas, subetapas y actividades contempladas desde el punto de vista del proceso de solución de problemas es la ingeniería de diseño. Se acentúa que en la práctica estas no se se presentan de modo secuencial, algunas se pueden desarrollar de manera consecutiva o paralela y, a nivel subetapas y actividades, en orden distinto al presentado.

3.1. Clarificación del problema

Esta primera etapa incluye las siguientes subetapas:

- 1) Identificación del problema**
- 2) Análisis de necesidades**
- 3) Manejo de información**
- 4) Definición del problema**
- 5) Definición de objetivos y restricciones**
- 6) Definición de especificaciones**
- 7) Elaboración de plan de trabajo**

Esta etapa tiene por objeto ubicar el problema que se va a resolver, así como determinar el rumbo a seguir para obtener la solución apropiada.

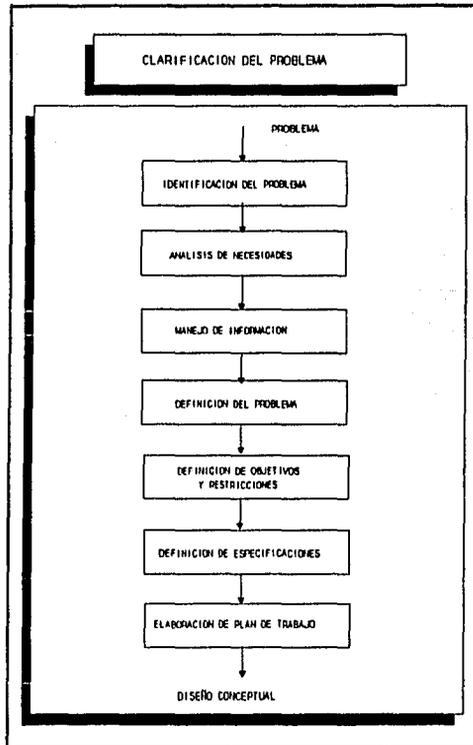


Ilustración 16

Una necesidad puede surgir de muy distintas maneras, ya sea por una dificultad apremiante, un rediseño o la búsqueda de un nuevo satisfactor.

1) Identificación del problema

En esta subetapa se pretende precisar la certeza de la existencia de la necesidad que originó al problema y al problema mismo, para lo cual se llevan al cabo las siguientes actividades:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| a) Reuniones | Son juntas entre las partes interesadas y/o involucradas o con grupos ajenos, pero con conocimientos sobre temas afines. |
| b) Estudios de campo | Es acudir al problema y a sus orígenes -la necesidad. |
| c) Análisis de información | Es un acercamiento primario al entendimiento del problema. |
| d) Elaboración de cuestionarios | Son indagaciones documentales sobre asuntos en controversia. |
| e) Análisis y síntesis de información | Acercamiento intenso al entendimiento del problema y sus constituyentes. |

2) Análisis de necesidades

Subetapa donde se puntualizan los requerimientos de las partes involucradas en el proyecto. Básicamente existen tres grupos identificados, lo cual no priva la posibilidad de que coexistan en la misma persona, grupo de trabajo o institución. Estos grupos son:

Solicitante	Quien requiere un satisfactor para solucionar un problema
Usuario	Quien hará uso del satisfactor
Diseñador	Quien proporcionará el satisfactor

Después de delimitar estos grupos se llevan al cabo las actividades de *determinación* de:

- a) *Necesidades del solicitante*
- b) *Necesidades del usuario*
- c) *Necesidades del diseñador*

Las cuales contendrán los lineamientos de trabajo para la búsqueda del satisfactor al problema, con énfasis primordial en los aspectos de tiempo, costo y funcionalidad.

3) Manejo de información

En esta subetapa radica la probabilidad de éxito de cualquier proyecto. La clave está en el correcto y completo acopio de información. Para esto es necesario contar con la información directamente relevante al proyecto, y localizar las fuentes de información adicional. Es aprovechar la información que genera la evolución de los objetos y los dispositivos creados por el hombre, capitalizar los aciertos y las fallas, y partir del nivel de conocimientos contemporáneos más actualizado.

Existen básicamente tres tipos de *información*:⁹

Técnicas especializadas	Fundamentada en la experiencia de aquellos que se han dedicado al mismo trabajo durante largo tiempo. Es información celosamente resguardada en el seno de las industrias y los talleres.
Reglas generales	Consideraciones teóricas, no necesariamente confinadas a un área del conocimiento.
Principios universales	Son las leyes de la naturaleza, son las reglas de las reglas, las cuales todo diseño debe cumplir.

En esta subetapa se contemplan tres actividades:

- a) *Ubicación de fuentes de información*
- b) *Búsqueda de información*
- c) *Análisis y síntesis de información*

Las *fuentes de información* pueden ser:

- ▶ bibliotecas privadas y públicas:
 - ▶ libros
 - ▶ enciclopedias
 - ▶ revistas
 - ▶ fichas bibliográficas
 - ▶ extractos
 - ▶ índices
- ▶ hemerotecas
- ▶ mapotecas
- ▶ centros de información
- ▶ bancos de datos
- ▶ centros de diseño y desarrollo tecnológico
- ▶ escuelas y universidades
- ▶ oficinas de patentes y normas
- ▶ industrias y talleres
- ▶ proveedores de materiales, partes, dispositivos y equipos

⁹ G. L. Glegg, *The Design of Design*, primera edición (Inglaterra: Cambridge University Press, 1969).

La *búsqueda de información* debe ser organizada, partiendo de lo general a lo particular y empleando técnicas bibliográficas de control para no perderse en la gran cantidad de información existente en prácticamente cualquier disciplina del conocimiento.

La información se analiza y finalmente se sintetiza de modo lógico, estructurado y útil para los fines del proyecto. Esta es una subetapa que se lleva al cabo a lo largo de todo el proyecto, aunque con mayor intensidad en un principio; lo que se recabe será de utilidad en todo el proceso.

4) Definición del problema

En esta subetapa se redacta concreta y brevemente qué es lo que se va a resolver.

5) Definición de objetivos y restricciones

En esta subetapa se dicta qué debe ser realizado para resolver el problema. Los *objetivos* pueden subdividirse en las siguientes categorías:

Objetivos	Aportación
Funcionalidad	Función requerida
Costo	Factores económicos
Estética	Apariencia
Ergonomía	Interacción humana
Confiabilidad	Vida útil
Seguridad	Ausencia de riesgos
Ecológicos	Cuidado de la naturaleza y sus recursos renovables y no renovables
Manufactura	Fabricación y ensamble
Servicio	Mantenimiento

Las restricciones se deben básicamente a:

Leyes físicas	Son descripciones genéricas de fenómenos naturales.
Reglamentos	Son reglas emitidas tanto a nivel nacional como regional y mundial.
Normas	Son regulaciones emitidas a nivel nacional, regional y mundial.
Idiosincrasia	Son aspectos culturales y sociales del lugar donde se va a aplicar el satisfactor.
Criterios	Son opiniones, juicios o deseos del solicitante, usuario y/o diseñador.

Cabe una mención particular a la incidencia de los *aspectos ecológicos, de reciclabilidad y de consumo de energía* en los objetivos y las restricciones debido al cuidado que el ingeniero debe tener actualmente con la naturaleza y los recursos que proporciona al hombre.

6) Definición de especificaciones

Se cuantifican en esta subetapa los objetivos y las restricciones, es decir, se fijan en detalle los requerimientos y restricciones que la solución debe cumplir. En muchos casos la especificación puede emplearse anexo al contrato de ejecución del proyecto y servir para definir el punto en que se considera cumplido.

7) Elaboración de plan de trabajo

En esta subetapa se globaliza la visión integral del proyecto y se dedica un tiempo a planear y organizar las acciones a tomar y los recursos disponibles, que permitirán decidir qué es posible hacer y qué no es posible llevar al cabo. Se debe llegar a un balance de los siguientes tres elementos:

- ▶ Duración de las etapas del proyecto
- ▶ Destinación de los recursos humanos, materiales y económicos por etapa y actividad
- ▶ Relación entre las actividades paralelas y consecutivas

Con lo anterior se fomenta:

- ▶ El establecimiento de objetivos y resultados por etapas y actividades
- ▶ La formación de equipos de trabajo multidisciplinarios
- ▶ La interrelación entre los grupos de solicitantes, usuarios y diseñadores
- ▶ La designación de coordinadores y responsables
- ▶ La proyección de revisiones periódicas de avance y resultados
- ▶ El establecimiento de un contrato o convenio entre el solicitante y el diseñador

Se puede comenzar esquematizando las tareas a realizar en una tabla de tiempos para ubicar el número y el tiempo que necesitan para ser completadas.

Las actividades de los proyectos se pueden desglosar inicialmente de los siguientes modos:¹⁰

Esquema	Se interrelacionan los tópicos con los subtópicos en un orden secuencial para establecer sus enlaces.
Esquema tipo árbol	Estructura donde cada actividad se divide en subactividades simulando el crecimiento de las ramas de un árbol.

Para interrelacionar las actividades, tanto paralelas como consecutivas, secuencialmente con los tiempos, costos y recursos, se emplean los siguientes métodos de planeación¹¹:

Método de ruta crítica (MRC)
Método de evaluación y revisión (PERT)
Método de tabla de Gantt

¹⁰ Software Publishing Corporation, Harvard Project Manager 3.0 Reference Manual, segunda edición (Estados Unidos: Software Publishing Corporation, 1990).

¹¹ David B. Uman, Planeación y Control de Nuevos Proyectos, primera edición (México: Editora Técnica, S.A., 1971).

La base del MRC y el PERT consiste en un diagrama o red de actividades que muestra la dependencia de cada actividad en la que se tiene que desarrollar una función de tiempo, de costo, de los recursos usados o de una combinación de estos elementos. En el MRC se determina la duración de cada actividad por medio de un tiempo único. En el PERT se da el tiempo más optimista en que se completaría el trabajo, el más pesimista y el probable. Estos métodos permiten identificar la mejor secuencia de actividades y optimizar el empleo de los recursos disponibles. En la tabla de Gantt las actividades se relacionan en una escala de tiempos. Se esquematizan estos métodos en la ilustración 17.

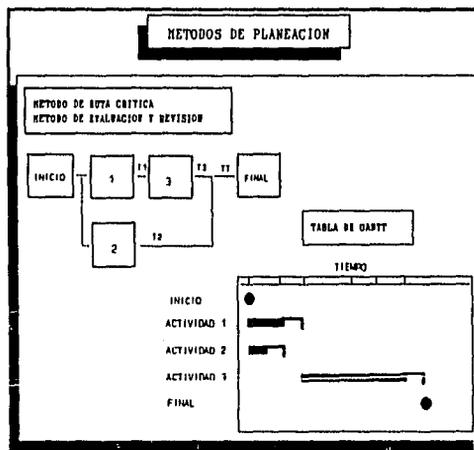


Ilustración 17

Una correcta planeación y elaboración del plan de trabajo traerá como consecuencias:

- ▶ Auxiliar el entendimiento del proyecto y la planeación a pesar de la incertidumbre existente.
- ▶ Facilitar la coordinación y la comunicación entre los integrantes de los grupos involucrados.
- ▶ Forzar el establecimiento de prioridades.
- ▶ Ahorrar tiempo del proyecto debido a no existir actividades inesperadas.
- ▶ Denotar modos de mejorar la asignación de recursos debido a las actividades secuenciales y paralelas.
- ▶ Generar información, tanto dependiente como actualizada, para realizar toma de decisiones.
- ▶ Apoyar el monitoreo y el ajuste.
- ▶ Vislumbrar los tiempos más optimistas y más pesimistas para llevar al cabo actividades.

En esta etapa inicial se determina la magnitud del proyecto con base en lo cual el diseñador debe confrontar su capacidad y consecuentemente establecer su potencialidad, tiempos y costos. En proyectos de gran envergadura esta etapa puede denominarse como anteproyecto, es decir, un proyecto antes del proyecto para analizar el problema y la factibilidad de realizarlo con los recursos disponibles del solicitante y del diseñador. Al final de esta etapa se cuenta con los elementos suficientes para determinar:

Tiempo	Duración del proyecto
Costo	Recursos requeridos por el proyecto

3.2. Diseño conceptual

Esta etapa se conforma por las siguientes subetapas:

- 1) **Identificación de sistemas y subsistemas**
- 2) **Generación de alternativas**
- 3) **Evaluación de alternativas**
- 4) **Selección de alternativas**
- 5) **Establecimiento del concepto**

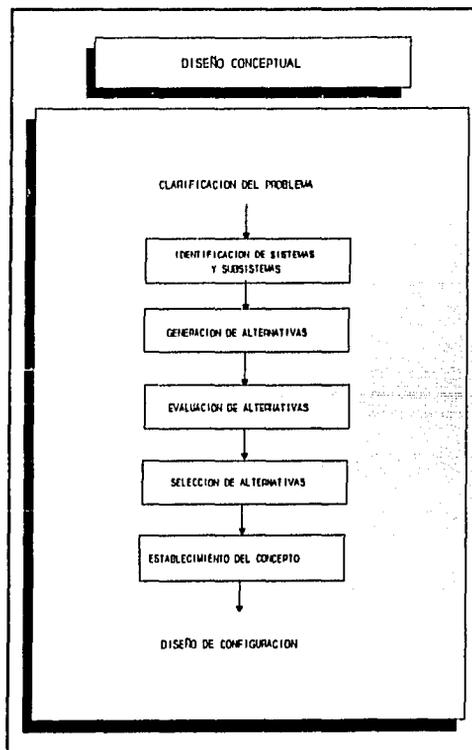


Ilustración 18

1) Identificación de sistemas y subsistemas

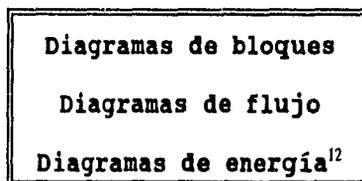
Esta subetapa centra los esfuerzos en delimitar las partes que constituyen el problema, así como las interrelaciones entre las mismas y sus fronteras naturales. También se demarca la relación del problema con su entorno.

En esta subetapa se llevan al cabo las siguientes actividades:

- a) *Análisis del problema*
- b) *Detección de las fronteras del sistema*
- c) *Detección de las fronteras de los subsistemas*

Durante el análisis del problema se promueve un entendimiento cabal de las causas que lo originan. Las fronteras tanto del sistema como de los subsistemas y los componentes se refieren a los límites operativos, es decir, a la función que desempeñan intrínsecamente. Las interfases del sistema, es decir, del todo, son los nexos con el exterior: lo que entra y lo que sale. Las interfases de los subsistemas, es decir, de los elementos del sistema, son las interrelaciones entre los mismos así como los intercambios de información y energía; se pretende la comprensión de las transformaciones que sufre lo que entra antes de salir.

Para lo anterior son útiles las siguientes técnicas:



En estos diagramas se representan en cuadros las acciones, funciones o aspectos cruciales constituyentes del sistema. Estos se unen mediante líneas en una secuencia lógica, sobre las cuales se nombran las entradas y salidas. Un diagrama de bloques puede contener aspectos de distinta índole. Los diagramas de flujo y energía son congruentes en cuanto al tipo de información que manejan. Los diagramas de flujo emplean una simbología establecida que indica operaciones, decisiones y entradas y salidas. Los diagramas de energía son similares a los de flujo, pero emplean una simbología distinta que indica fuentes, coples, acumuladores, transformadores, convertidores y transmisores.

¹² Aguirre, loc.cit.

En la ilustración 19 se esquematizan los conceptos de sistema, subsistema y componentes, puntualizando que son entidades con distintos niveles de integración que pueden contener el número de subdivisiones que el problema requiera. Se muestran también las interfases internas, así como las externas en relación con el entorno de trabajo.

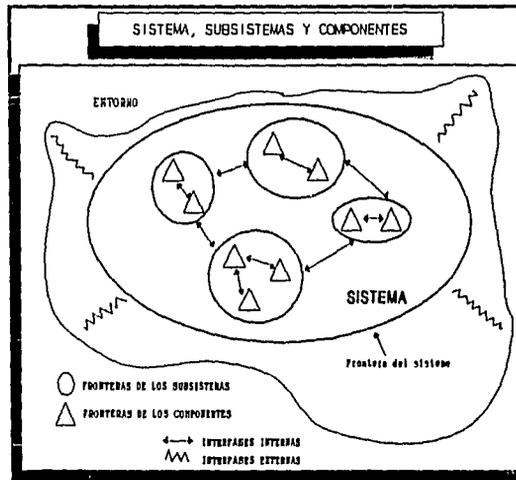


Ilustración 19

2) Generación de alternativas

Con fundamento en la etapa anterior, en la presente se realizan las siguientes actividades:

- a) Generación de alternativas para solucionar el sistema
- b) Generación de alternativas para solucionar los subsistemas

La razón de ser de estas actividades es originar el mayor número de alternativas, comenzando ya sea por el todo o por sus partes, dependiendo del problema en cuestión y del equipo de diseño.

En la generación de alternativas, el procedimiento llamado *lluvia de ideas*¹³ ("brainstorm") es de gran utilidad. Alexander (1957) ha probado repetidamente su utilidad. Estas sesiones, donde primeramente se expone el problema ante un grupo de personas relacionadas o no directamente con el equipo de trabajo, el solicitante o el usuario, pretenden obtener ideas en cantidad. Una

¹³ G. Pahl y W. Beitz, *Engineering Design*, primera edición (Londres: Design Council, 1984).

característica peculiar de esta herramienta es que durante la sesión no se cuestionan ni se critican las ideas generadas.

También son útiles las siguientes actividades para generar alternativas:

- ▶ reuniones entre las partes involucradas
- ▶ entrevistas
- ▶ encuestas (cuestionarios)
- ▶ sesiones de trabajo con grupos de enfoque
- ▶ analogías con sistemas similares ya desarrollados

Las siguientes herramientas mostradas en las tablas se emplean para organizar y enfocar las decisiones respecto de las posibles alternativas dependiendo del nivel de detalle en el que se encuentre el proceso de generación de las mismas.

Nivel de planeación y organización general

Diagramas de afinidad	Se conjunta una gran cantidad de alternativas y se organizan en grupos basados en las interrelaciones naturales.
Diagramas de relación	Se exploran y despliegan los factores y conceptos interrelacionados de las alternativas.

Nivel de organización intermedia

Diagramas de árbol	Se mapean sistemáticamente todos los rangos de las alternativas.
Diagramas de matriz	Se despliega la relación entre los factores de las alternativas.
Análisis matricial de datos	Se muestra la intensidad de las interrelaciones de las variables constituyentes de las alternativas.

Nivel de organización detallada

<p>Mapeo del programa del proceso de decisión</p>	<p>Se mapean los posibles acontecimientos que pueden ocurrir al pasar del planteamiento del problema a las posibles soluciones.</p>
<p>Diagramas de flechas (Ruta Crítica)</p>	<p>Se emplea para planear la secuencia más apropiada de las variables de las alternativas y para controlar su posible implantación.</p>

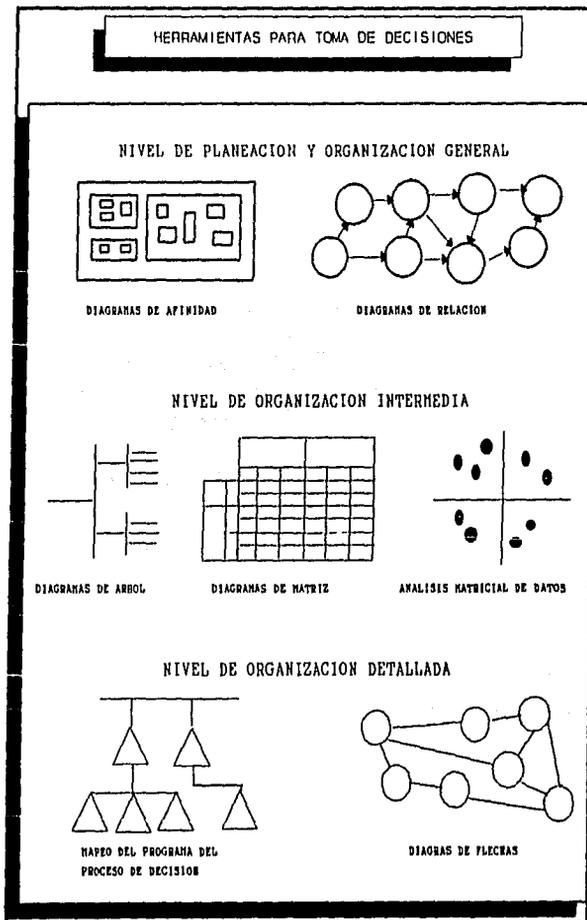


Ilustración 20

Estas herramientas¹⁴ son de utilidad siempre que se requiera tomar decisiones con base en un número de alternativas planteadas, por lo tanto no son privativas de esta subetapa sino de todo el proceso, el cual es un transcurrir de toma de decisiones de principio a fin. Se esquematizan en la ilustración 20.

El proceso de solución de problemas está compuesto en su totalidad por *tomas de decisiones*, para efectuarlas existen ingredientes básicos e ingredientes substitutos. Estos ingredientes se detallan en la siguiente tabla:¹⁵

Ingredientes básicos	Ingredientes substitutos
Hechos	Información
Aprendizaje	Consulta
Experiencia	Experimentación
Análisis	Intuición
Juicio	Nada

3) Evaluación de alternativas

En esta subetapa se comienzan a analizar las opciones de concepto de solución para desechar todas aquellas que por motivos fundamentales y/o evidentes o por motivos detectados mediante análisis someros no satisfagan las especificaciones de diseño. Se llevan al cabo las siguientes actividades:

- a) *Depuración de alternativas*
- b) *Estudios de factibilidad*

Con estas actividades se pretende detectar las opciones que no satisfagan algún objetivo, restricción y/o especificación. Se efectúa mediante evidencias irrefutables a niveles superficiales o mediante estudios de factibilidad ligeros, tratando de examinar primeramente aquellas áreas donde se denote debilidad.

¹⁴ B. King, Better Designs in Half the Time: Implementing QFD Quality Function Deployment in America, tercera edición (Estados Unidos: Goal/QPC, 1989).

¹⁵ Dieter, loc.cit.

Los estudios de factibilidad que se pueden llevar al cabo dependiendo del tipo de proyecto son:

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| ▶Funcionalidad | ▶Diseño Industrial |
| ▶Costo | ▶Calidad aparente y real |
| | ▶Ergonomía |
| ▶Manufacturabilidad | ▶Materiales |
| ▶Ensamblabilidad | ▶Reciclabilidad |
| ▶Confiabilidad | ▶Distribución |
| ▶Seguridad | ▶Servicio |
| ▶Ecológicos | ▶Consumo de energía |

4) Selección de alternativas

En esta subetapa se selecciona el concepto óptimo, aquella opción que resulte del mejor balance en los distintos estudios de factibilidad. Se realizan las siguientes actividades:

- a) *Análisis de alternativas depuradas*
Estudios geométricos y físicos
Generación de modelos
Estudios de factibilidad
Análisis de funcionalidad
Análisis de costo
- b) *Selección de alternativa óptima*

En esta subetapa se realizan estudios a fondo de factibilidad de las alternativas que pasaron por el filtro anterior de depuración. Se puntualiza la importancia del manejo temprano del concepto de espacio, tanto disponible como necesario. También se requiere una satisfacción plena de los factores de funcionalidad y costo.

Cabe hacer mención a una herramienta de incuestionable valor a lo largo de todo el proceso: la computadora y la paquetería de cómputo desarrollada para auxiliar las áreas de diseño y la manipulación de información, desde procesadores de texto, bases de datos y hojas de cálculo, pasando por sistematizaciones de metodologías de diseño de componentes y dibujo en dos y tres dimensiones hasta modelados y simulaciones. Lo anterior atañe al área de ingeniería asistida por computadora.

Se resalta asimismo el valor de una herramienta útil en la toma de decisiones:

Matrices de decisión

En las matrices de decisión¹⁶ se establecen inicialmente funciones, a continuación se les da un valor y cada alternativa se analiza en relación a la satisfacción de cada función, concluyendo que aquella o aquellas con mayor puntuación son en las que existe un mejor balance respecto a las funciones planteadas con base en los objetivos, restricciones y especificaciones.

En ocasiones se realiza una analogía de las últimas subetapas con un diamante y su forma geométrica, lo cual se aprecia esquemáticamente en la ilustración 21¹⁷ donde cada letra "A" representa una alternativa.

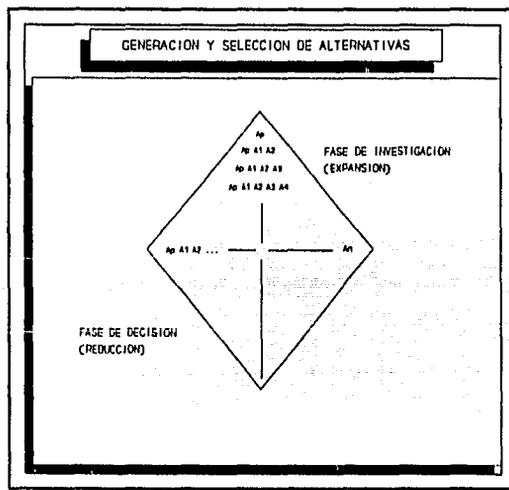


Ilustración 21

Finalmente, se selecciona la o las alternativas a configurar con base en la información generada, analizada y sintetizada.

5) Establecimiento del concepto

En esta subetapa se sintetiza punto a punto la alternativa óptima que se seleccionó en la subetapa anterior. Se deben contemplar todas las interfases y los intercambios de información y energía, tanto internos como externos, así como las fronteras naturales.

¹⁶ Love, loc.cit.

¹⁷ V.E. Krick, Introducción a la Ingeniería y al Proyecto en Ingeniería, primera edición en español (México: Ed. Limusa, 1970).

Surge de aquí el concepto de solución. Son tres los elementos que lo integran, tanto a nivel componentes de subsistemas como a nivel subsistemas, interfases y sistema:

Geometría	Es la consideración del espacio y la forma.
Físico-química	Es la consideración de las propiedades intrínsecas, así como de su comportamiento exógeno y endógeno.
Disposición	Es el arreglo de los componentes de los subsistemas, de los subsistemas entre sí y del sistema en su entorno, para cumplir con los objetivos, las restricciones y las especificaciones.

3.3. Diseño de configuración

Esta es la etapa donde se concreta y configura el concepto de solución, profundizando en la definición de los tres elementos que lo integran. Se consideran las siguientes subetapas:

- 1) Estructuración del sistema, subsistemas e interfases
- 2) Validación del diseño
- 3) Optimización

1) Estructuración del sistema, subsistemas e interfases

A continuación se enlistan las actividades que conllevan a la materialización preliminar de la solución:

- a) *Generación de arreglos generales*
Concepción de componentes
Concepción de subsistemas
Concepción del sistema
- b) *Arreglo topológico*
Estudio de interfases
- c) *Diseño para manufactura*
Concepción
Técnicas cuantitativas
Análisis de costos
Elaboración de modelos
- d) *Realización de pruebas*

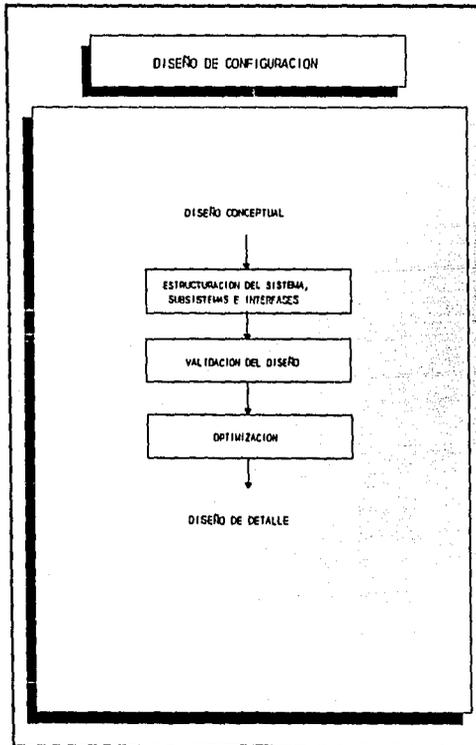


Ilustración 22

En la *generación de arreglos generales* se plantean tres niveles de integración y detalle: partes componentes de los subsistemas, subsistemas componentes del sistema y el sistema, contemplando las probables ramificaciones por nivel. Son cruciales las interrelaciones y las interfases entre todos los integrantes del sistema. No existe una norma para decidir respecto a qué nivel empezar a estructurar; el tipo de problema y el equipo de diseño en conjunto deben decidirlo. Es útil emplear la técnica de *combinación de arreglos*¹⁸ en cada nivel y entre niveles, de la cual se generan infinidad de alternativas viables y no viables.

El *arreglo topológico* analiza la distribución de los componentes en los subsistemas, la distribución de los subsistemas en el sistema y la ubicación del sistema en el entorno de uso o trabajo para cumplir con la funcionalidad deseada. Se hace hincapié en el estudio de las *interfases* por ser en gran medida las que determinan la complejidad y la integración de la solución, enfatizando las relaciones tanto al interior como con el entorno.

¹⁸ Pahl y Beitz, loc.cit.

El *diseño para manufactura*¹⁹ es un concepto más que una herramienta tangible. El objetivo es integrar el diseño del producto con el del procedimiento para su manufactura, entendiendo como manufactura la conjunción de la fabricación y el ensamble. Es fundamental contar con los medios de comunicación adecuados en relación a la información que se maneja antes, durante y después del diseño óptimo. La concepción de diseño para manufactura recalca la importancia de las relaciones entre todas las áreas de trabajo involucradas. La eficiencia del diseño del producto y su manufactura se realiza si las decisiones se fundamentan en consideraciones de:

- ▶ manufacturabilidad
- ▶ funcionalidad
- ▶ vida útil (confiabilidad)
- ▶ costo

de este modo se redunda en mejores resultados en:

- ▶ reducción del ciclo de diseño (amplitud e iteraciones)
- ▶ menor costo
- ▶ funcionalidad requerida

De nueva cuenta se denota una diferencia entre el diseño de un producto único y un producto para fabricación en serie, mas en ambas es necesario optimizar el uso de los recursos. En el diseño de un producto único no se considera el diseño del sistema de manufactura en serie. El concepto de diseño para manufactura en un producto diseñado para producción en serie abarca el diseño del sistema de manufactura y la producción misma.

¹⁹ H.W. Stoll, Product Design for Efficient Manufacture, seminario (Estados Unidos: Industrial Technology Institute, 1986).

Existen cuatro técnicas cuantitativas que auxilian el diseño para manufactura:

Diseño para ensamble ²⁰	Evalúa un diseño con base en el número de partes y a la facilidad de ensamble. Busca mejorar el diseño eliminando partes y diseñando las restantes para facilidad de ensamble y fabricación.
Análisis de modo de falla y efecto ²¹	Investiga para cada componente del sistema las posibles fallas y sus consecuencias. Modifica el diseño para reducir riesgos.
Análisis de valor ²²	Primeramente analiza las funciones que se deben cumplir. Una función es aquello que hace que un producto trabaje o se venda. Posteriormente compara el valor de las funciones -el grado de satisfacción alcanzado- con sus costos. Finalmente se buscan maneras de lograr las funciones deseadas al mínimo costo.
Diseño para servicio ²³	Cuestiona la distribución de los componentes y los subsistemas en el sistema en relación con la secuencia de ensamble, lo cual repercute en las partes que hay que retirar antes de llegar a aquellas que requieran reposición, servicio o mantenimiento.

²⁰ G. Boothroyd y P. Dewhurst, Product Design for Assembly reimpresión corregida (Estados Unidos: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1991).

²¹ Dieter, loc.cit.

²² T.R. King, Principals of Value Engineering, primera edición (Estados Unidos: T.R. King, 1979).

²³ Boothroyd Dewhurst, Inc., International Forum on Design for Manufacture and Assembly, conferencia anual (Estados Unidos: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1992).

El análisis de costos se efectúa ya sea para eliminar o para reducir costo del producto. El costo del producto se puede englobar en tres aspectos:

Aspecto	Areas de influencia
Costo de Manufactura	Materiales y valor añadido
Funcionalidad Cuantitativa	Peso, resistencia y rigidez
Apariencia Cuantitativa	Apariencia, calidad aparente, acoplamiento y sentimiento

Estos aspectos deben estar balanceados con base en los objetivos, restricciones y especificaciones. Se puede decir en términos generales que a mayor valor de cualquiera de estos aspectos el costo del producto se incrementa.

Se pueden clasificar los componentes del costo en:

1) *Elementos relacionados con el diseño del producto:*

- ▶ material
- ▶ mano de obra (valor añadido)
- ▶ utilidad

2) *Elementos relacionados con el sistema de manufactura:*

- ▶ equipo
- ▶ herramental
- ▶ instalaciones
- ▶ mantenimiento
- ▶ gastos generales
- ▶ depreciación

Los elementos del costo final y de diseño de un producto en serie se representan en la ilustración 23.²⁴

²⁴ Park, loc.cit.

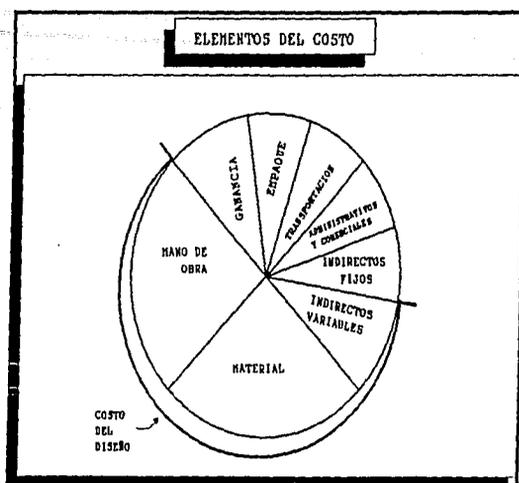


Ilustración 23

Con referencia a estos elementos y al tipo de proyecto se pueden realizar modelos de costo donde se analice la influencia de cada factor en el costo final.

Lo anterior conlleva a tener elementos objetivos de toma de decisión para seleccionar:

- ▶ materiales
- ▶ procesos
- ▶ tecnología
- ▶ origen de los componentes
 - 1) *comprados*
 - 2) *manufacturados*

mediante comparaciones entre las distintas alternativas.

En el diseño de un producto se cumple en mayor o menor medida la ley de Pareto de la distribución de costos. Esta ley determina que 20% de los constituyentes de un producto representan 80% del costo, lo cual se esquematiza en la ilustración 24.

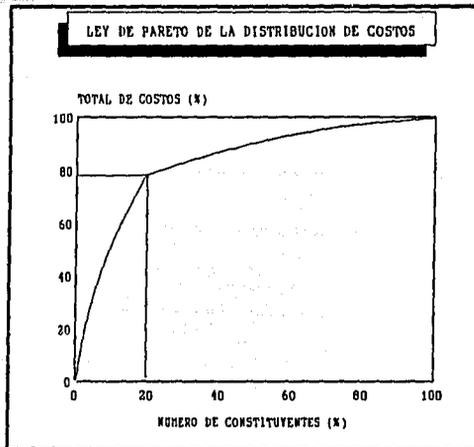


Ilustración 24

La importancia de considerar los elementos anteriores, en particular lo referente a materiales y procesos, radica en no esperar hasta la etapa de diseño de detalle para averiguar que no eran factibles las resoluciones tomadas, y de este modo emplear de la mejor manera posible el tiempo y las iteraciones.

En esta subetapa se crean modelos para generar y validar configuraciones. Los modelos son un acercamiento a la realidad que sirven para verificar operatividad. El diseño auxiliado por computadora vuelve a tener un papel preponderante en la generación de los mismos.

Los siguientes instrumentos de cómputo se encuentran a disposición:

- ▶ bases de datos
- ▶ diseño de componentes
- ▶ dibujo en dos y tres dimensiones
- ▶ modelado de sólidos
- ▶ elemento finito
- ▶ elemento frontera
- ▶ diseño de variación
- ▶ dimensionamiento y tolerancias
- ▶ diseño para ensamble
- ▶ diseño para fabricación
- ▶ simulación:
 - ▶ propiedades de masa (peso, densidad)
 - ▶ generación de esfuerzos (originadas por fuerzas y deformaciones)
 - ▶ flujos
 - ▶ transferencia de calor

- ▶ simulación dinámica para determinar:
 - ▶ operatividad
 - ▶ espacios libres
 - ▶ interferencias
 - ▶ posibles colisiones
- ▶ simulación de procesos
- ▶ análisis de vibraciones y sonido
- ▶ modelado de costos
- ▶ técnicas auxiliares de diseño

La decisión de cuáles herramientas computacionales emplear depende del tipo de proyecto y de los recursos disponibles. En ocasiones es también necesario recurrir a modelos físicos. Sobre los modelos se realizan las pruebas pertinentes.

La selección del arreglo óptimo se fundamentará básicamente en la disposición y geometría de los componentes, en la asequibilidad de los materiales y la posibilidad de manufactura. La satisfacción de normas requiere una especial atención. También se certifica la existencia en el mercado de los componentes y equipos requeridos. Todo queda enmarcado y validado por el empleo de las técnicas mencionadas y la generación de modelos y finalmente por las comparaciones y las matrices de decisión que se realicen.

2) Validación del diseño

En esta subetapa reside la verificación de la validez de la configuración seleccionada. Se compone por las siguientes actividades:

- a) *Elaboración de modelos*
- b) *Estudio de modelos*
- c) *Verificación del cumplimiento de normas*

El objetivo de esta subetapa es comprobar a partir de modelos la veracidad de la configuración escogida. Mediante el modelado de la configuración y un posterior estudio se debe corroborar que se cumplen a cabalidad los objetivos, restricciones y especificaciones planteadas en la primera etapa.

Los modelos que se pueden generar son:

- ▶ físicos a escala
- ▶ iconográficos (diagramas, planos, mapas, fotografías)
- ▶ simbólicos (matemáticos)
- ▶ computacionales

El tipo y número de modelos a recrear es indeterminado, depende del tipo de proyecto y del grupo de diseño. Un aspecto que debe tenerse siempre presente se circunscribe al cumplimiento de *normas*. Estas sirven como marca de referencia en cuanto a características propias, funcionalidad, seguridad y confiabilidad. Deben estar, por ende, contenidas en los objetivos, restricciones y especificaciones, pero dada la importancia que revisten en un esquema de calidad, tanto para el solicitante como para el o los usuarios y el mismo diseñador, debe llevarse al cabo una certificación exhaustiva de su cumplimiento. Para esto se hacen diversas pruebas dependiendo del área donde se ubique el producto y de las normas que se pretenden cumplir.

3) Optimización

Se pretende en esta etapa optimizar la configuración seleccionada, buscando el mejor balance de los elementos integrantes de la solución del problema. Se trabaja en base a modelos. Para llegar a esto hay que realizar un número variable de iteraciones hasta encontrar la *configuración óptima verdadera* dentro del estado existente de conocimientos y recursos.

Si se define O como el óptimo verdadero, se tiene:

$$O = \lim_{n \rightarrow \infty} O_0 + \phi_01 + \phi_02 + \phi_03 + \dots + \phi_0n$$

en donde ϕ representa la mejoría lograda en la iteración.

Se puede aplicar una expresión semejante a una secuencia de iteraciones en donde el proceso termina por cumplimiento de especificaciones, tiempo y/o costo. En ocasiones el proceso se refiere a pasos que relacionan los procesos reales e ideales, es decir:

$$\text{Sistema real} = \lim_{n \rightarrow \infty} \Sigma I_0 + \phi I_1 + \phi I_2 + \dots + \phi I_n$$

donde I_0 es la solución inicial de un sistema ideal. Mediante la suma hasta un límite se logra un modelo mejorado.

Para optimizar existen diversas teorías y herramientas auxiliares de cómputo; no es posible dictar reglas para determinar cuál o cuáles se deben emplear. De esta subetapa dependerá la calidad de la solución a detallar.

En esta etapa se hace particular énfasis en la importancia de las iteraciones. No es posible marcar una ruta general para llevarla al cabo, tan sólo proporcionar lineamientos generales que conllevarán a obtener la mejor configuración. La ruta la demarcará el tipo de problema y la intuición del grupo diseñador.

3.4. Diseño de detalle

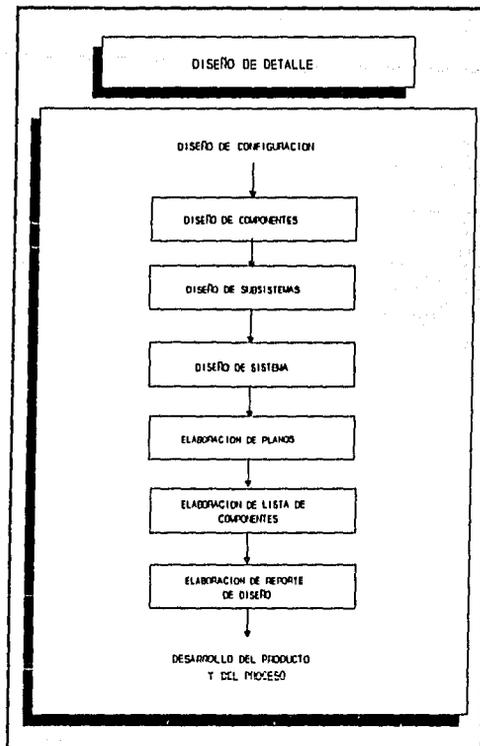


Ilustración 25

En esta etapa se precisa a fondo el producto. Se detalla la configuración seleccionada en la etapa anterior. Consiste en especificar todas las características físicas, materiales y procesos de cada componente de los subsistemas, de los subsistemas y del sistema, así como la disposición y correspondencia de todos entre sí. También se especifican las interfases del sistema. Finalmente, se profundiza en la procedencia de las partes (comprados o fabricados). Es de vital importancia el seleccionar adecuadamente los equipos o dispositivos comerciales al igual que las materias primas.

Se consideran las siguientes subetapas:

- 1) Diseño de componentes
- 2) Diseño de subsistemas
- 3) Diseño de sistema
- 4) Elaboración de planos
- 5) Elaboración de lista de componentes
- 6) Elaboración de reporte de diseño

Las primeras tres subetapas relacionadas con el diseño tienen en común las siguientes características respecto a la información a especificar:

Componentes a fabricar	Componentes a comprar
geometría (forma, dimensiones, tolerancias)	proveedor(es)
material(es) (disponibilidad)	país de origen
proceso de fabricación (rutas de trabajo, equipos y herramienta)	lugar de compra
procesos de acabado	características de selección (parámetros, tablas, gráficas, normas a cumplir)
costo directo	condiciones de venta (servicio, garantía)
	costo (costo directo, fletes, aduanas, impuestos)

Las normas a cumplir, así como las especificaciones, deberán tenerse presentes en todo momento como guías de diseño. El diseño auxiliado por computadora se torna de nuevo presente mediante técnicas y herramientas sistemáticas que agilizan y optimizan el diseño de componentes. Un método de comunicación al cual se recurre para plasmar ideas es el dibujo, en la actualidad empleando el dibujo por computadora, en vista de sus características de lenguaje universal. La normalización apoya la peculiaridad de universal. Existen básicamente tres tipos de planos:

Planos de fabricación	Donde se especifican formas, dimensiones, tolerancias, materiales, puntos de verificación de calidad y acabados.
Planos de ensamble	Donde se especifica la disposición de los componentes y el modo en que deben ser colocados.
Planos de presentación	Donde se especifican las vistas generales y de apariencia.

Los planos se complementan con listas de componentes agrupados por subsistema, donde se proporciona toda la información mencionada. De aquí surge la necesidad de denominar a cada componente y subsistema con números de parte, lo cual permite ubicarlos ágilmente, así como establecer la secuencia de ensamble del producto.

Asimismo se hacen las rutas de trabajo para fabricación de componentes, donde se especifican materiales, dimensiones, tolerancias, ajustes, acabados, equipo y herramental.

Los planos, las listas de componentes y los detalles del proceso de manufactura se completan con un reporte donde se concentra la siguiente de información:

- ▶ planos
- ▶ lista de partes
- ▶ cálculos efectuados
- ▶ datos
- ▶ variables
- ▶ consideraciones
- ▶ factores de seguridad
- ▶ materiales
- ▶ criterios de selección
- ▶ gráficas y tablas anexas
- ▶ proveedores
- ▶ fabricantes

Lo anterior conjunta un paquete con el diseño de detalle de la configuración óptima establecida con base en el concepto fruto de la comprensión del problema y las necesidades. La solución queda plasmada en papel para subsecuentes etapas.

3.5. Desarrollo del producto y del proceso

Es esta etapa se consolida el diseño detallado, se fabrican o se compran los componentes del sistema para ser finalmente ensamblados. Comprende las siguientes subetapas:

- 1) Fabricación de partes**
- 2) Compra de partes**
- 3) Ensamble de componentes**
- 4) Ensamble de subsistemas**
- 5) Ensamble de sistema**

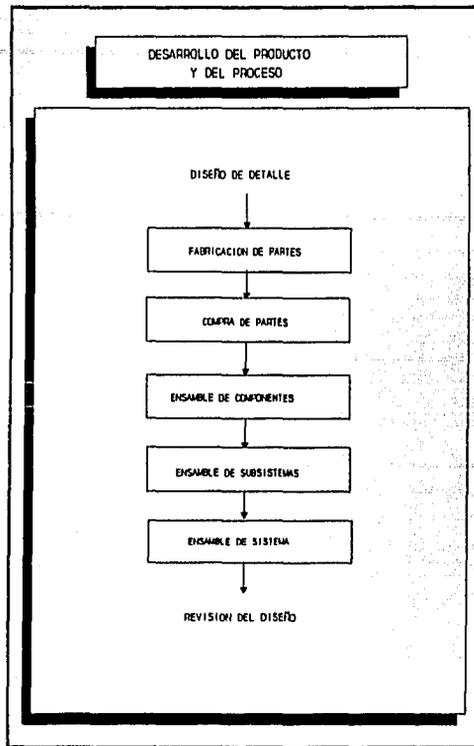


Ilustración 26

1) Fabricación de partes

La fabricación de componentes puede llevarse al cabo con recursos propios o recurriendo a otras compañías especializadas. Se puede emplear desde la maquinaria y herramienta tradicional hasta el control numérico, manufactura por computadora y avanzadas máquinas de control numérico, centros de maquinado o centros de manufactura flexible. La adquisición de materias primas y la consecuente verificación de sus características y propiedades desempeña un papel crucial.

2) Compra de partes

Las políticas y condiciones de compra de partes y equipo, deben establecerse claramente con los proveedores. Es indispensable el conocimiento de dónde y cómo comprar, estableciendo mecanismos para corroborar la calidad y características de los pedidos.

Debido a que los tiempos de entrega de partes comprados, y en ocasiones también los tiempos de fabricación pueden ser

ocasiones también los tiempos de fabricación pueden ser considerables, es conveniente hacer una planeación de compras y fabricación con la mayor antelación posible.

- 3) **Ensamble de componentes**
- 4) **Ensamble de subsistemas**
- 5) **Ensamble de sistema**

Finalmente, con todos los elementos conjuntados, se ensambla el prototipo funcional de sistema. Por vez primera se aprecia físicamente la solución. Basado en la magnitud del proyecto y en el tipo de modelos generados, partes de los mismos o su totalidad pueden ser empleados en el prototipo. Se cuentan, al final de esta etapa, con los elementos para traducir el prototipo funcional en solución final al pasarlo por los últimos filtros.

3.6. Revisión del diseño

Esta etapa es el último filtro antes de proponer una solución. Está compuesta por las siguientes subetapas:

- 1) **Realización de pruebas**
- 2) **Detección de fallas**
- 3) **Corrección de fallas**
- 4) **Manufactura de solución final**
- 5) **Realización de pruebas finales**

1) Realización de pruebas

En ocasiones acontece que a pesar de haber realizado el proyecto del modo más creativo y ordenado posible, es viable encontrar fallas en la traducción del concepto a la configuración y/o de la configuración al detalle y/o del detalle a la manufactura del prototipo. Esto acontece porque el mundo real es muy complejo y no es generalmente posible considerar todos los elementos que impactan una solución. Para certificar que todas las traducciones se llevaron al cabo correctamente, se realizan pruebas en los modelos generados y en el prototipo funcional.

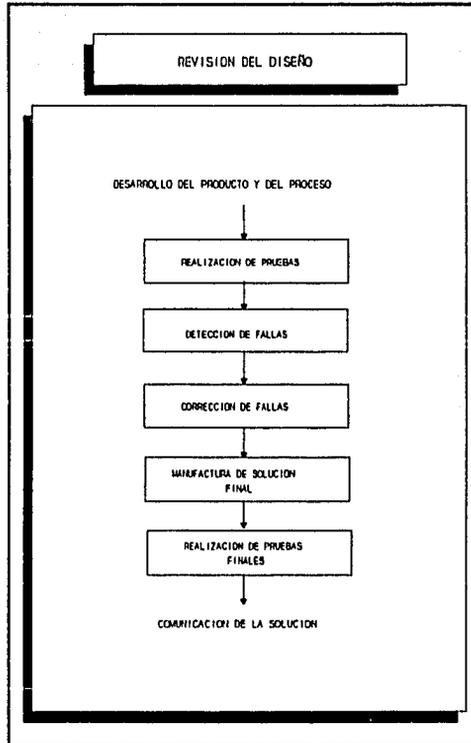


Ilustración 27

Las *pruebas* que se realizan pueden ser de muy distinta índole dependiendo del proyecto; se mencionan a continuación las que sobresalen por importancia:

- 1) Funcionalidad
- 2) Confiabilidad
- 3) Seguridad
- 4) Punto de vista del usuario
- 5) Normas gubernamentales nacionales
- 6) Normas regionales y mundiales
- 7) Objetivos, restricciones y especificaciones

2) Detección de fallas

Las pruebas se llevan al cabo con la finalidad de detectar posibles anomalías. En caso de encontrar fallas, es preciso ubicar las causas.

3) Corrección de fallas

Antes de comenzar a buscar soluciones para las fallas, es necesario llevar al cabo un análisis del origen de las mismas. Se presentan las siguientes actividades:

- a) *Análisis de origen de fallas*
- b) *Búsqueda de opciones de corrección*
- c) *Evaluación y selección de opciones de corrección*
- d) *Corrección de fallas*
- e) *Revisión de documentos*

Esta subetapa es similar a las que se dan en la etapa de diseño conceptual llamadas generación, evaluación y selección de alternativas. Hay que entender el problema, descomponerlo en sus partes, buscar opciones de solución, evaluarlas, seleccionar la óptima y finalmente implementarla, mediante el auxilio de las herramientas y técnicas mencionadas. Es necesario regresar y enmendar todos los documentos generados susceptibles de corrección por los cambios efectuados.

4) Manufactura de la solución final

Esta subetapa tiene como objetivo materializar finalmente la solución. Esta estará fundamentada en el prototipo funcional y en los modelos generados. Todos los aspectos útiles realizados con anterioridad deben emplearse por economía de recursos y tiempo, siempre y cuando cumplan con las especificaciones.

5) Realización de pruebas finales

Estas se realizan sobre la solución final, demostrando que satisface los objetivos, restricciones y especificaciones. Después de la realización de las pruebas y de analizar y validar los resultados, la solución está lista para llevar al cabo sus labores y satisfacer la necesidad planteada en los inicios del proyecto.

3.7. Comunicación de la solución

Esta última etapa es quizá la más importante en lo que respecta al entendimiento de la solución por parte del solicitante y del usuario. Una correcta transmisión de la solución puede garantizar el éxito de la misma, recordando que el enfoque de profundidad y detalle que se le dé depende del grupo al que vaya dirigida.

Esta etapa está comprendida por las siguientes subetapas:

- 1) **Elaboración de presentación escrita**
- 2) **Elaboración de presentación oral**
- 3) **Entrega de prototipo funcional**

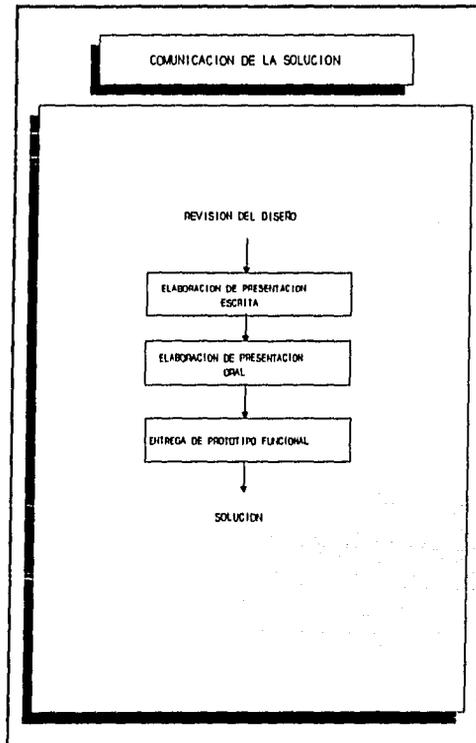


Ilustración 28

1) Elaboración de presentación escrita

La presentación escrita está compuesta por las siguientes actividades:

- a) *Síntesis de la solución*
- b) *Elaboración de manuales*
- c) *Compilación de planos*
- d) *Compilación de listas*
- e) *Factibilidad de patente*

La **síntesis del diseño** de la solución deberá contener:

Antecedentes
Definición del problema
Objetivos, restricciones y especificaciones
Resultados
Síntesis del diseño
Memoria de cálculo
Criterios de selección y consideraciones

La **elaboración de manuales** comprende:

Manuales de manufactura
Manuales de instalación y puesta en marcha
Manual de operación
Manual de servicio

La **compilación de planos** comprende:

Planos de fabricación
Planos de ensamble
Planos de presentación

La **compilación de listas** comprende:

Listas de ingeniería
Listas de partes manufacturadas
Listas de materiales
Listas de partes compradas
Lista de proveedores
Lista de planos
Lista de fabricantes

En ocasiones, la solución puede estar sujeta a **patente**, para esto hay que recurrir a las instancias legales que normalizan el registro de nuevas patentes. Tanto el paquete de información como la solución final se requieren para este fin.

2) Elaboración de presentación oral

Esta se puede enfocar desde distintos puntos de profundidad con base en el público al que va dirigido. Se apoya en la presentación escrita y en el desarrollo global del proyecto.

3) Entrega de prototipo funcional

El prototipo funcional debe entregarse con las indicaciones necesarias para su uso y/o instalación y en buenas condiciones. Para esto es necesario prever las siguientes actividades:

- a) *Embalaje*
- b) *Transporte*
- c) *Instalación y puesta en marcha (en su caso)*

Con este paquete se resume ordenadamente la solución óptima. Cabe recordar que un correcto estilo, ortografía y presentación son requisitos para la correcta conclusión formal del proyecto.

3.8. Iteraciones

En vista de la importancia que revisten durante el desarrollo del proceso de solución de problemas las iteraciones viables, a continuación se listan aquellas que se pueden planear para certificar que el proyecto avanza en la dirección correcta.

Etapas en desarrollo	Iteración	Filtro
<ul style="list-style-type: none">▶ Diseño conceptual▶ Diseño de configuración▶ Diseño de detalle y del proceso▶ Desarrollo del producto y del proceso▶ Revisión del diseño	<ul style="list-style-type: none">▶ Clarificación del problema	<ul style="list-style-type: none">▶ Objetivos▶ Restricciones▶ Especificaciones▶ Plan de trabajo

Entre las subetapas y actividades constituyentes de cada etapa se itera constantemente de manera informal, es decir, acontece durante el desenvolvimiento normal del proceso.

El filtro es aquello mediante lo cual se corrobora paulatinamente el acercamiento a la solución.

Etapa en desarrollo	Iteración	Filtro
Diseño conceptual	Clarificación del problema	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Definición del problema ▶ Necesidades ▶ Información
Diseño de configuración	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Clarificación del problema ▶ Diseño conceptual 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Definición del problema ▶ Necesidades ▶ Información ▶ Sistemas y subsistemas ▶ Fronteras naturales e interfases ▶ Generación, evaluación y selección de alternativas ▶ Concepto
Diseño de detalle y del proceso	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Diseño conceptual ▶ Diseño de configuración 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Concepto ▶ Arreglos generales ▶ Arreglos topológicos ▶ Análisis ▶ Modelos
Desarrollo del producto y del proceso	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Diseño conceptual ▶ Diseño de configuración ▶ Diseño de detalle y del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Concepto ▶ Configuración: geometría, físico-química y disposición ▶ Modelos ▶ Diseño de detalle ▶ Proceso de manufactura

Etapa en desarrollo	Iteración	Filtro
Revisión del diseño	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Clarificación del problema ▶ Diseño conceptual ▶ Diseño de configuración ▶ Diseño de detalle y del proceso ▶ Desarrollo del producto y del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Definición del problema ▶ Necesidades ▶ Información ▶ Sistemas y subsistemas ▶ Fronteras naturales e interfases ▶ Concepto ▶ Configuración ▶ Análisis ▶ Modelos ▶ Diseño de detalle ▶ Procesos de manufactura ▶ Modelo operativo ▶ Manufactura
Comunicación del diseño	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Clarificación del problema ▶ Diseño conceptual ▶ Diseño de configuración ▶ Diseño de detalle y del proceso ▶ Desarrollo del producto y del proceso ▶ Revisión de diseño 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Definición del problema ▶ Necesidades ▶ Información ▶ Objetivos ▶ Restricciones ▶ Especificaciones ▶ Resultados ▶ Sistemas y subsistemas ▶ Fronteras naturales e interfases ▶ Concepto ▶ Configuración ▶ Diseño de detalle ▶ Planos ▶ Memoria de cálculo ▶ Procesos de manufactura ▶ Modelo operativo ▶ Manufactura ▶ Fallas ▶ Correcciones

4. Aplicación del Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de diseño

A continuación se presenta un proyecto realizado en el Centro de Diseño Mecánico (CDM) de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en colaboración con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). El origen del trabajo se remonta al diseño de un seccionador -una máquina de corte eléctrico- encargado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) al IIE, el cual acudió al CDM fundamentalmente para apoyar el diseño mecánico de algunos de los subsistemas de la máquina.

4.1. El Centro de Diseño Mecánico de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

El CDM inició sus actividades en marzo de 1976 con el propósito de colaborar en la formación de profesores y estudiantes de ingeniería mecánica-eléctrica en el área de diseño y al mismo tiempo proporcionar a la industria un servicio para satisfacer necesidades puntuales mediante el desarrollo de máquinas y equipos.

El CDM tiene los siguientes objetivos:

- ▶ Desarrollar la *creatividad* de profesores y estudiantes en la rama del diseño mecánico-eléctrico.
- ▶ Desarrollar *proyectos de diseño* de máquinas, equipos y dispositivos para solucionar problemas específicos de la industria o del sector servicios.
- ▶ Servir de *infraestructura* para la investigación en ingeniería mecánica-eléctrica.

El CDM funciona mediante convenios con empresas, organismos estatales o personas que soliciten desarrollo de proyectos. Para llevarlos al cabo se hacen propuestas, y una vez acordado un contrato o convenio -en el que se especifican objetivos, resultados, responsables, tiempos y costos, entre otras puntualizaciones- entre el CDM, el solicitante y en ocasiones el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), un grupo de profesores y estudiantes desarrollan el proyecto.

El CDM cuenta con un grupo permanente de profesores auxiliado por estudiantes, tanto de licenciatura como de maestría y personal técnico. A su vez, para llevar al cabo sus labores cuenta con un taller mecánico, una sala de dibujo, una biblioteca técnica, un laboratorio de cómputo y un laboratorio de electrónica propios y los laboratorios del Departamento de Ingeniería Mecánica -cómputo, pruebas mecánicas, mediciones, corte de materiales, metalografía,

metalurgia mecánica, fundición, forja, pailería, tratamientos térmicos y manufactura avanzada.

Las oficinas y laboratorios del CDM se ubican en el edificio de Laboratorios de Ingeniería Mecánica del anexo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM en el Circuito Exterior de Ciudad Universitaria en México, D.F.

4.2. Proyecto "Módulo de Actuación"

1. Clarificación del problema

1.1. Identificación del problema

En esta etapa, como a lo largo de todo el proyecto, trabajaron en conjunto personal del CDM y del IIE. Desde el inicio se llevaron al cabo reuniones formales e informales tanto en las instalaciones del CDM como del IIE con la finalidad inicial de formalizar el proyecto y posteriormente de intercambiar información y verificar el avance del mismo.

El proyecto se formalizó mediante la celebración de un *contrato* entre el IIE y la FI en el cual se delimitaban los siguientes aspectos: responsables institucionales, objetivo, obligaciones bilaterales, costo, impuestos, duración, forma de pago, especificaciones y plan de actividades, confidencialidad y propiedad, publicaciones, responsables del proyecto, aceptación del prototipo, rescisión, modificaciones al contrato, relaciones de la UNAM con su personal, casos fortuitos o de fuerza mayor, límite de responsabilidades, terminación anticipada y jurisdicción. El apoyo del Centro para la Innovación Tecnológica (CIT), del Departamento Jurídico de la UNAM y de la Dirección de la FI fueron decisivos en la conformación y firma del contrato.

Antecedentes

A continuación se presenta el entorno general del proyecto, delimitando las responsabilidades y áreas de trabajo tanto del CDM como del IIE.

Los sistemas de distribución eléctricos están sujetos a fallas por una variedad de condiciones. Para protegerlos existen, entre otros dispositivos, aparatos de corte. Estos son dispositivos de conexión y desconexión destinados a asegurar la continuidad o discontinuidad de los circuitos eléctricos de alta tensión. Dentro de los aparatos de corte que se emplean en la apartamenta eléctrica de alta tensión se encuentran los seccionadores de potencia. Estos son utilizados para abrir o cerrar líneas de distribución bajo carga, cuyos contactos pueden desconectar la carga nominal de la red y corrientes de sobrecarga.

En México, la CFE emplea seccionadores como medio de protección de los sistemas de distribución en caso de fallas. Las fallas pueden ser temporales o permanentes. Las temporales son debidas a ramas movidas por el viento, ramas rotas sobre conductores o sobretensiones inducidas durante tormentas eléctricas. Las permanentes pueden deberse a la caída de alguna torre o rotura de alguna línea de distribución. Un sistema de protección adecuado debe ser capaz de diferenciar entre las fallas permanentes, las cuales implican una desconexión inmediata de la sección con problemas para evitar daños mayores en la red, y las temporales, las cuales no causan daños al sistema y por ende no requieren desconexión.

Los seccionadores que actualmente emplea la CFE requieren del restablecimiento manual y/o de la sustitución del elemento seccionante, y no son muy eficientes en la distinción de fallas permanentes y transitorias. El restablecimiento manual origina mucho tiempo de interrupción y altos costos de operación.

En vista de lo anterior, la CFE encargó al IIE el diseño de un seccionador cuyo funcionamiento permitiera el restablecimiento a distancia y que distinguiera entre fallas permanentes y temporales; enfatizando la obtención de un costo competitivo en comparación con los fabricantes nacionales y extranjeros tanto de componentes como de equipos completos. El costo económico, en capital y en mantenimiento, también se basa en el relativo bajo número de usuarios conectados a una rama de la red de distribución.

El IIE planteó el diseño de un *seccionador automático inteligente* (SAI). Se propuso el desarrollo de un dispositivo automático económico que tuviera la habilidad de seccionar líneas y alimentadores en sistemas eléctricos de distribución en caso de fallas. Este contendrá un medio aislante e interruptivo de gas, control electrónico y facilidades de telecomando, lo cual coadyuvará en su integración a los futuros sistemas automatizados de distribución. El SAI operará automáticamente bajo condiciones de cortocircuito, se restablecerá a distancia y distinguirá entre fallas temporales y permanentes. Esto redundará en una disminución del tiempo de interrupción por usuario debido primeramente a la no apertura en caso de fallas temporales y a la pronta reconfiguración de las líneas de distribución en caso de falla.

Las *características funcionales* principales del SAI serán:

- a) Capacidad de distinción de las fallas temporales de las permanentes, para lo cual el seccionador se auxilia de equipos de respaldo con base en el conteo del número de aperturas de los mismos en un lapso de tiempo determinado.

- b) Capacidad de abrir y cerrar líneas bajo condiciones de corriente nominal y de cerrar bajo condiciones de falla permanente.
- c) Capacidad de discriminación de corrientes "inrush".
- d) Operación a control remoto.
- e) Señalización del estado de operación.

El SAI estará integrado por cinco *módulos* (ver ilustración 29), cada uno de los cuales tiene una función específica:

- a) *Módulo de detección.*- El equipo contará con dispositivos para sensar las condiciones eléctricas de operación del sistema en el lado de la fuente del equipo.
- b) *Módulo de interrupción.*- El equipo contará con un dispositivo que permita abrir o cerrar las líneas de distribución. El medio aislante e interruptivo a utilizar es SF₆. El dispositivo estará constituido por un contacto fijo y uno móvil por cada fase -son tres fases-, e inmersos en el gas aislante (SF₆) y contenidos en una cámara a una determinada presión. Las tres cámaras a su vez estarán inmersas en SF₆ y contenidas en otro recipiente a presión.
- c) *Módulo de actuación.*- Este dispositivo efectuará las operaciones de cierre (conexión) y apertura (desconexión) del módulo de interrupción al recibir la señal correspondiente del de control. La operación de apertura requerirá de un mínimo de energía de excitación. Además, deberá estar diseñado para actuar seis veces sin recibir excitación externa, es decir, deberá contar con un sistema de almacenamiento de energía para ser liberada en cualquier momento en tres operaciones de cierre-apertura (seis operaciones).

El módulo de actuación estará diseñado con base en los siguientes parámetros:

- ▶ Velocidad de apertura de 2.5 m/seg
- ▶ Velocidad de cierre de 2.5 m/seg
- ▶ Carrera de desplazamiento de 4 cm
- ▶ Vida útil de 10,000 operaciones como mínimo
- ▶ Masa del contacto móvil de 200 gr
- ▶ Fuerza de oposición al cierre entre contactos de 30 kg (10 kg por fase)
- ▶ El disparo se efectúa a través de un solenoide de baja potencia que actúe un trinquete

- d) **Módulo de control.**- Realizará las operaciones lógicas necesarias para efectuar la apertura y cierre del seccionador a través del módulo de actuación. Consistirá básicamente de un circuito electrónico que realizará las funciones de conteo de las aperturas del equipo de respaldo, sensando el nivel de voltaje y de corriente. También contará con dispositivos que permitan programar el número de conteo y los tiempos de restablecimiento para alcanzar la apertura en su modo de operación automática.
- e) **Módulo de comunicación.**- Este módulo contará con dispositivos para recibir y transmitir señales, las cuales permitirán conocer las variables eléctricas del sistema así como el modo de operación en que se encuentra el seccionador. Por otra parte, enviará señales al módulo de control para la operación de apertura y cierre a control remoto.

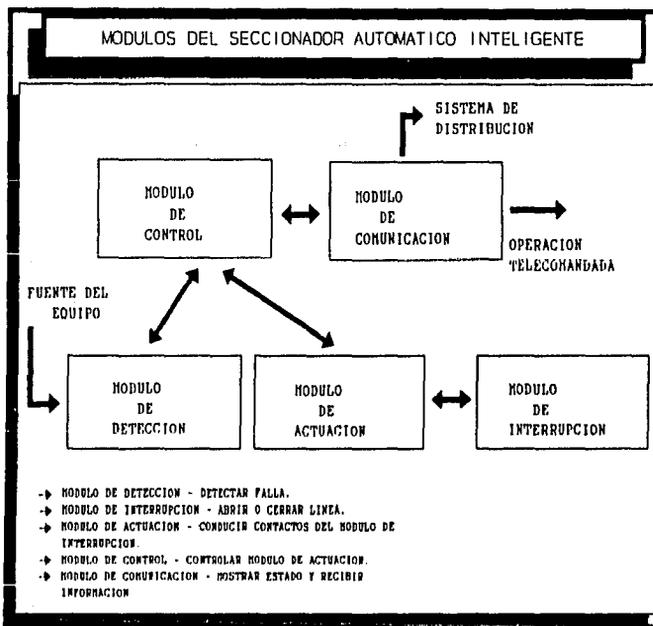


Ilustración 29

El SAI tendrá los siguientes *límites de operación*:

a) **Límites de diseño**

El desarrollo de este seccionador está visualizado para cubrir las necesidades en la reconfiguración de las redes automatizadas de distribución y la liberación de fallas de los mismos.

El diseño del seccionador debe cumplir con la norma ANSI C37.63-1984. A continuación se enlistan las características que tendrá el SAI basadas en la norma en cuestión.

▶ frecuencia	60 Hz
▶ voltaje nominal	15 Kv
▶ corriente nominal continua (Ic)	400 A
▶ corriente momentánea al cierre	6500 A
▶ corriente de tiempo corto	
un segundo	4000 A
diez segundos	2500 A
▶ corriente mínima detectada	0.3 A
▶ retardo mínimo de tiempo para la detección de línea muerta	80 mseg
▶ límites de temperatura ambiente	-10 a 65 °C
▶ medio aislante e interruptivo (SAI)	SF ₆
▶ presión interna	4 atm
▶ número de fases	monofásico
▶ desplazamiento del electrodo móvil	4 cm
▶ velocidad de apertura	2.5 m/seg
▶ velocidad de cierre	2.5 m/seg

b) Características importantes

- ▶ Su apertura se realiza en el intervalo de tiempo muerto del dispositivo de respaldo.
- ▶ No opera durante condiciones de corriente "inrush" del transformador.
- ▶ El montaje deberá ser ajustable a los requerimientos existentes en las redes de distribución.
- ▶ Estará constituido por módulos de fácil reposición.
- ▶ Deberá contar con alimentación autónoma.
- ▶ Las partes móviles no estarán expuestas a la intemperie.
- ▶ Costo económico respecto a equipos existentes.

El campo de trabajo del CDM se delimitó al diseño del módulo de actuación del SAI y eventualmente apoyó el diseño del mecanismo actuador del módulo de interrupción del mismo. El diseño de los demás módulos fue responsabilidad del IIE.

1.2. Análisis de necesidades

El IIE acude al CDM de la FI porque tiene la necesidad de diseñar el prototipo de un seccionador (SAI). En particular necesitan apoyo en el área de diseño mecánico del módulo de actuación, el cual consistirá de un mecanismo que proporcionará movimiento angular a una flecha, a la cual se encontrarán unidos tres contactos móviles (tres fases), y que almacenará energía para efectuar tres ciclos de operación. Un ciclo de operación consiste en una operación de apertura-cierre o en una operación de cierre-apertura. También requieren apoyo en el diseño del mecanismo actuador del módulo de interrupción en vista de las interfases con el módulo de actuación, el cual consistirá de tres botellas unidas mediante un vástago inmersas en una caja con gas SF₆ a presión en las cuales en cada una se encontrará un contacto móvil y un contacto fijo inmersos en gas SF₆ a mayor presión.

Se analizan a continuación las necesidades del cliente, del usuario y del diseñador:

a) Necesidades del cliente: IIE

El módulo de actuación tendrá las siguientes características:

- ▶ Velocidad de apertura del contacto móvil igual a 2.5 m/s
- ▶ Velocidad de cierre del contacto móvil igual a 2.5 m/s
- ▶ Carrera de desplazamiento del contacto móvil igual a 4 cm
- ▶ Vida útil igual a 10,000 operaciones (5,000 cierres y 5,000 aperturas)
- ▶ Espacio limitado
- ▶ Sistema de almacenamiento de energía para actuar seis veces sin energía externa
- ▶ Masa del contacto móvil igual a 200 gr
- ▶ Fuerza total a vencer de 30 kg
- ▶ Mecanismo externo a la cámara presurizada que contendrá SF₆
- ▶ Presión de la cámara igual a 4 atm
- ▶ Operación trifásica
- ▶ Mínimo mantenimiento
- ▶ El contacto se encontrará normalmente cerrado o abierto
- ▶ Resistir las temperaturas de operación
- ▶ Resistir la contaminación ambiental y la corrosión salina
- ▶ Evitar deterioro por estar al aire libre, es decir contará con cubierta protectora
- ▶ Utilizar equipo y materiales nacionales en la medida de lo posible
- ▶ Ser diseñado para fabricación en serie
- ▶ Tener costo competitivo para fabricación en serie

b) Necesidades del usuario: CFE-IIE

El módulo de actuación tendrá las siguientes características:

- ▶ No requerir mantenimiento y ajuste excesivo
- ▶ Mantener el ruido de operación al mínimo
- ▶ Ser compacto y modular
- ▶ Ser seguro en operación

c) Necesidades del diseñador: CDM

El módulo de actuación tendrá las siguientes características:

- ▶ Ser diseñado totalmente por personal del CDM
- ▶ Ajustarse a un presupuesto de \$14.000,000 (00/100) MN
- ▶ Realizar el proyecto en dieciocho meses
- ▶ Fabricar con recursos propios en la medida de lo posible
- ▶ Ser una experiencia de aplicación del proceso de solución de problemas en la ingeniería de diseño
- ▶ Ser una experiencia de diseño mecánico en la FI

Después de un primer planteamiento de las necesidades por parte del CDM, se iteró en múltiples ocasiones para dejarlas claramente definidas bilateralmente.

1.3. Manejo de información

Una vez establecidas las necesidades de las partes se procedió a una *búsqueda intensiva de información*. Durante esta subetapa del proyecto se elaboraron cuestionarios, uno de los cuales se muestra a continuación:

Cuestionario elaborado por parte del CDM para ser respondido por el IIE. Este sirvió para sentar las bases del entendimiento de la dificultad que se presentaba al grupo de diseño del CDM.

a) Seccionador automático inteligente

1. ¿Cuáles son los objetivos de los cinco módulos que integran el Seccionador Automático Inteligente?
2. ¿Cuál es la interrelación entre los cinco módulos?
3. ¿Cuáles son los equipos constituyentes de cada módulo?

b) Módulo de actuación

4. ¿Cuáles son los objetivos y las razones para que el módulo de actuación efectúe tres aperturas y tres cierres sin energía externa?
5. ¿Existe o no voltaje en alguno de los lados de la línea al desconectarse el interruptor?
6. ¿Cuál es el objetivo de la velocidad constante de apertura?

7. ¿Cuál es el objetivo de la velocidad constante de cierre?
8. ¿Por que son iguales la velocidad de apertura y la velocidad de cierre?
9. ¿Cuál es el objetivo de la carrera de desplazamiento?
10. ¿Con base en qué parámetros se determinó la vida útil?
11. ¿Con base en qué parámetros se fundamenta que el módulo de interrupción se encuentre sumergido en SF₆ a 4 atmósferas?
12. ¿Con base en qué parámetros se fundamenta que el módulo de actuación se encuentre fuera del módulo de interrupción?
13. ¿Cuáles son las masas totales a desplazar?
14. ¿Cuáles son las fuerzas a vencer debido al conector de tulipán, sellos y presión interior?
15. ¿Existen caídas de presión dentro del módulo de interrupción?
16. ¿Cuál es el espacio físico máximo?
17. ¿En qué posición se pretende colocar el seccionador?
18. ¿Cuáles son los motivos para desechar el aceite como aislante?
19. ¿Cuáles son los motivos para descartar el sistema neumático como accionador de módulo de actuación?
20. ¿Cuál es el costo esperado del módulo de actuación?

c) Seccionador

1. ¿Cuáles son las funciones de un seccionador?
2. ¿Cuáles son las funciones de un restaurador?
3. ¿Qué tipo de conectores usa un seccionador?
4. ¿En qué condiciones permanece conectado el interruptor?
5. ¿En qué condiciones se desconecta el interruptor?
6. ¿Cuáles son las fallas que pueden existir?
7. ¿Qué es una corriente de falla?
8. ¿Qué es una corriente "inrush"?
9. ¿Dónde y en que posición se colocan normalmente los seccionadores?
10. ¿Qué equipos eléctricos, neumáticos, hidráulicos, etcétera, o instalaciones se encuentran cercanos a los seccionadores?
11. ¿Qué tipos de aislamiento se emplea en los seccionadores?
12. ¿Qué materiales se usan en un seccionador?
13. ¿Cuál es la frecuencia de uso de los seccionadores?
14. ¿Existen seccionadores de fabricación nacional?
En caso de ser afirmativa la respuesta, indicar cual es el porcentaje de los mismos que se usan en México y quién o quiénes los fabrican.

d) Información adicional al cuestionario

1. Tipos de seccionadores que actualmente se encuentran en funcionamiento en México.
2. Disponibilidad para observar seccionadores en operación.
3. Tipos de seccionadores que existen.
4. Fabricantes de seccionadores que existen.

También se llevó al cabo una revisión de libros y revistas de ingeniería eléctrica sobre temas afines a la generación, transmisión, distribución y utilización de energía eléctrica en el área de potencia. Se recurrió a las siguientes fuentes:

- ▶ Biblioteca Central de la UNAM
- ▶ Biblioteca Ing. Antonio Dovalí de la FI de la UNAM
- ▶ Biblioteca Maestro Enrique Rivero Borrell de la División de Estudios de Posgrado de la FI (DEPFI) de la UNAM
- ▶ Biblioteca Técnica del CDM
- ▶ Biblioteca, base de datos y patentes de INFOTEC
- ▶ Biblioteca y base de datos de patentes del CIT
- ▶ Biblioteca del Centro de Información Científica y Humanística (CICH) de la UNAM
- ▶ Bibliotecas particulares

En INFOTEC se recabó información sobre patentes de empresas que se dedican a fabricar equipo eléctrico. Los términos en inglés con los cuales se realizó la búsqueda fueron: "switchgear", "interrupter" y "circuit-breaker". Se localizaron y consultaron patentes de diversas empresas en distintos años:

Westinghouse.....	1979
Westinghouse.....	1980
Westinghouse.....	1981
Westinghouse.....	1982
Westinghouse, BWSH Fusegear.....	1983
Westinghouse, BWSH Switchgear.....	1984
Westinghouse.....	1985
Westinghouse, General Electric.....	1986
Westinghouse, BWSH Switchgear, General Electric .	1988
Westinghouse, Joslyn, General Electric.....	1989

En el CIT se realizaron búsquedas de libros, revistas y patentes que versaron sobre los temas de incumbencia en bancos de datos nacionales y extranjeros a los cuales se encontraban conectados mediante modem.

Se efectuó una visita al departamento de operación de la CFE ubicado en Nonoalco, Tlaltelolco, D.F. donde se impartió una plática sobre el funcionamiento de seccionadores de potencia. Como complemento se realizó una visita a los laboratorios de pruebas y mantenimiento de seccionadores. Prácticamente todas las dudas sobre la apartamenta eléctrica y su operación quedaron resueltas.

La revisión en la biblioteca del CICH se enfocó a un sumario sobre eléctrica y electrónica llamado "Electronics and Electrical Abstracts". En esta compilación se ubicaron los artículos afines a seccionadores publicados en revistas nacionales y extranjeras desde la década de los setenta hasta la fecha actual. También se

estudiaron diversos libros de procedencia inglesa donde se referenciaban fabricantes de equipo eléctrico en Europa. Mediante las patentes, los libros y las revistas se ubicaron los fabricantes de aparatos de corte eléctrico y seccionadores en Europa y América.

Posteriormente se enviaron treinta y cinco cartas a Inglaterra y a Estados Unidos para solicitar información técnica a empresas fabricantes de seccionadores y equipo de transmisión del área de potencia eléctrica. Al ser respondidas las cartas, se recibieron catálogos, folletos, cotizaciones e información técnica en general.

Sumado al proceso de investigación sobre seccionadores, se pidió asesoría técnica e información (catálogos, folletos, manuales) a distribuidores de productos comerciales que posiblemente se usarían en el diseño del SAI y sus módulos. Se recurrió a distribuidores de equipo Warner, rodamientos, coples, motorreductores, solenoides y materiales dieléctricos. De los productos Warner se recopilaron manuales sobre: tornillos de bolas, embragues, frenos, controladores, actuadores y coples. Se recopiló información también acerca de resortes, solenoides, engranes y poleas con varios fabricantes nacionales.

Por otro lado, el IIE proporcionó información comercial, catálogos, manuales de diseño y bibliografía referente a seccionadores, solenoides y resortes.

1.4. Definición del problema

El problema del CDM consistirá en *diseñar el prototipo de módulo de actuación (MA)* para un seccionador automático inteligente (SAI), apoyando la fabricación de un prototipo y asesorando la realización de pruebas. El módulo de actuación consistirá de un mecanismo que proporcionará movimiento angular a una flecha, a la cual se encuentran unidos tres contactos móviles que son parte del módulo de interrupción (MI). Los contactos móviles realizan la función de apertura o cierre de la línea de distribución. El MA deberá estar diseñado para actuar seis veces sin recibir excitación externa, es decir, deberá contar con un sistema de almacenamiento de energía para ser liberada en cualquier momento en tres ciclos de operación apertura-cierre o de operación cierre-apertura. El módulo se accionará con un mínimo de energía de excitación. Se apoyará también el diseño de la interfase entre el MA y el MI.

1.5. Definición de objetivos y restricciones

a) Objetivos de funcionalidad

El prototipo de MA. deberá:

- 1) Mover una flecha del MI en sentido angular, a la cual se encuentran conectados tres contactos móviles de contactos de tulipán.**

- 2) Regular las velocidades de apertura y cierre de los contactos móviles (considerando velocidad promedio).
 - 3) Almacenar energía para efectuar varios ciclos de operación.
 - 4) Actuar cuando reciba la señal correspondiente del módulo de control.
 - 5) Contar con interfases con el módulo de interrupción (el CDM apoyará el diseño de la interfase entre el MA y el MI).
 - 6) Contar con interfase con el módulo de control.
- b) *Objetivos de costo*
- 1) Desarrollar el proyecto con un presupuesto de \$14.000,000 (00/100) M.N. (catorce millones de pesos).
- c) *Objetivos de tiempo*
- 1) Realizar el proyecto en un tiempo de dieciocho meses, contados a partir de la entrega del primer pago.
- d) *Objetivos de confiabilidad*
El prototipo de MA deberá:
- 1) Actuar en los momentos de falla.
 - 2) Tener una vida útil determinada.
- e) *Objetivos de seguridad*
- 1) El MA no debe ser un dispositivo de riesgo para operadores o personas que se encuentren cercanas a éste.
- f) *Objetivos de manufactura*
- 1) El CDM entregará el diseño de detalle para la fabricación del prototipo de MA.
 - 2) El MA deberá adecuarse a norma ANSI C37.63-1984.
 - 3) El MA no deberá tener problemas de ensamble.
 - 4) El MA deberá ser ligero.
 - 5) El IIE fabricará el prototipo de MA.
 - 6) El MA deberá emplear materiales y equipos nacionales en la medida de lo posible.
 - 7) El MA deberá tener un costo competitivo para fabricación en serie.
- g) *Objetivos de pruebas*
- 1) El IIE realizará las pruebas operativas del MA con el apoyo del CDM.
- h) *Objetivos de servicio*
El prototipo de MA deberá:
- 1) Requerir mínimo mantenimiento.
 - 2) Que el mantenimiento sea sencillo.
- i) *Restricciones del MA*
- 1) El sistema de almacenamiento de energía debe ser mecánico.

- 2) El MA debe tener una geometría limitada.
- 3) El MA debe tener un peso reducido.
- 3) El MA debe resistir las temperaturas de trabajo.
- 4) El MA debe resistir contaminación ambiental y corrosión salina.
- 5) El MA se debe acoplar al gabinete y a la flecha que mueve los contactos móviles del MI.
- 6) El MA debe ser un mecanismo externo a la cámara presurizada del MI.

1.6. Definición de especificaciones

El MA tendrá las siguientes características:

- 1) Carrera del contacto móvil de 4 cm
- 2) Masa del contacto móvil de 200 grms
- 3) Fuerza de oposición al cierre entre contactos de 30 kg (10 kg por fase)
- 4) Velocidad promedio de apertura y de cierre del contacto móvil de 2.5 m/s
- 5) Contar con sistema de almacenamiento mecánico de energía para efectuar tres ciclos de operación (tres aperturas y tres cierres).
- 6) Efectuar la operación correspondiente de apertura o cierre dependiendo de la señal recibida del módulo de control.
- 7) Ser diseñado con materiales que resistan la corrosión ambiental y la corrosión salina.
- 8) Funcionar dentro de los rangos de las especificaciones en el rango de temperaturas de trabajo (-10 °C a 65 °C).
- 9) Geometría limitada (aproximadamente un volumen de 40 cm de ancho, 40 cm de largo y 65 cm de altura).
- 10) Vida útil de 10,000 ciclos (5,000 aperturas y 5,000 cierres).
- 11) Recibir mantenimiento preventivo durante el mantenimiento eléctrico.
- 12) Tiempo para realización del proyecto de 18 meses.
- 13) Costo del proyecto de \$14.000,000 M.N.

1.7. Elaboración del plan de trabajo

Con la información anterior se procedió a elaborar un plan de trabajo, el cual sufrió modificaciones a lo largo del proyecto debido a cambios en la dirección y el personal que laboraba en el mismo. Se detallan a continuación los recursos humanos que llevaron al cabo el proyecto y los recursos materiales con los que se contó, a la par se bosqueja un calendario de actividades y se presentan los resultados a entregar.

Recursos humanos

En el desarrollo del proyecto del MA participaron las siguientes personas:

M. en I. Alejandro Ramírez R.	Ex-jefe del CDM
Ing. Vicente Borja R.	Jefe del CDM
Sr. Roberto Pulido Ll.	Jefe de proyecto
Sr. Omar A. Baltodano P.	Diseñador
Sr. Juan Manuel Loyo	Diseñador
Srta. Hilda García A.	Ayudante de diseñador
Sr. Virgilio Padilla	Ayudante de diseñador
Sr. Alfredo Martínez	Ayudante de diseñador
Sr. Víctor Valeriano	Ayudante de diseñador

Se debe mencionar que también se contó con la participación indirecta del personal que labora en el CDM en tareas administrativas, secretariales, cómputo, fabricación, diseño mecánico de detalle, electrónica y con la asesoría y apoyo de los diversos profesores jefes de proyecto del CDM así como del apoyo de la dirección, la secretaría general y áreas administrativas de la FI.

Recursos materiales

Se emplearon durante el desarrollo del proyecto las instalaciones, laboratorios y taller del CDM y del Departamento de Ingeniería Mecánica de la FI (DIMFI). Se detallan a continuación estos recursos, en los que no se indique que pertenecen al CDM significa que pertenecen al DIMFI.

- a) *Taller de fabricación y ensamble del CDM* que posee tornos, fresadoras, esmeriladoras, taladros, cepillos, sierra cinta, cortadoras y dobladoras de lámina y un almacén de herramientas y materiales.
- b) *Laboratorio de cómputo del CDM* que cuenta con computadoras, impresoras, un graficador y una estación de trabajo.
- c) *Sala de dibujo del CDM* que cuenta con restiradores y material de dibujo y papelería.
- d) *Biblioteca técnica del CDM* que cuenta básicamente con catálogos comerciales, patentes y libros técnicos.

- e) *Laboratorio de electrónica del CDM* que cuenta con multímetros, fuentes de poder, generadores de ondas, osciloscopios, soldadoras, material electrónico en general y equipo para diseño y prueba de circuitos.
- f) *Laboratorio de cómputo* que cuenta con computadoras AT-286, AT-386, una estación de trabajo, equipadas con disco duro y software de apoyo para dibujo en dos y tres dimensiones, diseño mecánico, elemento finito, diseño electrónico, administración, etcétera.
- g) *Laboratorio de pruebas mecánicas* que cuenta con probadores de dureza (Rockwell, Vickers y Brinell), máquinas Instron de pruebas de tensión y compresión, dispositivos para pruebas de fatiga y pruebas de impacto, rugosímetros, comparador de perfiles y microscopios.
- h) *Laboratorio de mediciones* que dispone de una mesa de coordenadas auxiliada con equipo de cómputo y software, micrómetros convencionales y digitales, calibradores Vernier convencionales y digitales, patrones de calibración y equipo en general de medición.
- i) *Laboratorio de metalografía* que cuenta con el equipo de preparación, limpieza y montaje de muestras, microscopios electrónicos metalográficos, cámara fotográfica y un fotomacroscopio de iluminación estereoscópica.
- j) *Laboratorio de metalurgia mecánica* que cuenta con una laminadora HILLE.
- k) *Laboratorio de corte de materiales* que cuenta con fresadoras universales y para herramientas, tornos paralelos, cepillos de codo, rectificadora de cilindros y rectificadora de planos.
- i) *Laboratorio de tratamientos térmicos* que cuenta con hornos, contenedores especiales y equipos de medición.

Calendario de actividades

El proyecto se inició formalmente en enero de 1991 después de numerosas entrevistas para formalizar el contrato. Se planteó como aspecto nodal el establecer un estrecho contacto entre el CDM y el IIE durante el desarrollo del proyecto para facilitar las labores del mismo. El plan de actividades se esquematiza en una gráfica de Gantt en la ilustración 30.

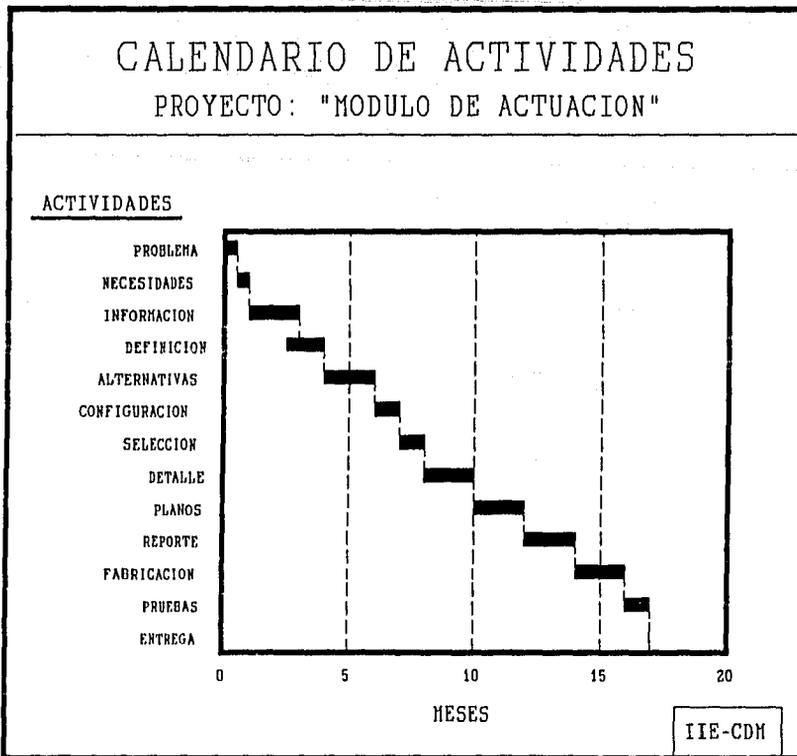


Ilustración 30

Resultados a entregar

- 1) Diseño de detalle del MA del SAI.
- 2) Diseño de detalle del mecanismo actuador del MI.
- 3) Apoyo en la fabricación del prototipo de MA.
- 4) Apoyo en las pruebas operativas del MA.

El IIE se encargaría de fabricar el prototipo y realizar las pruebas operativas en sus instalaciones de Cuernavaca, Morelos, México.

2. Diseño conceptual

2.1. Identificación de sistemas y subsistemas

Al inicio de esta etapa se visualizó el problema como una *caja negra* cuya frontera de entrada era un *pulso eléctrico* y cuya frontera de salida era un *movimiento angular*. Se esquematiza gráficamente en la ilustración 31. La señal eléctrica de entrada podía ser generada de cualquier modo siempre y cuando fuera un pulso, pero la salida debía cumplir con las especificaciones antes mencionadas. La caja negra debía identificar la señal eléctrica para regular el movimiento de la flecha, la cual accionaría los contactos móviles para realizar las operaciones de apertura o cierre de la línea de distribución. También debía funcionar sin ninguna comunicación adicional con el exterior y sin ningún abastecimiento energético externo durante los tiempos de operación y/o falla.

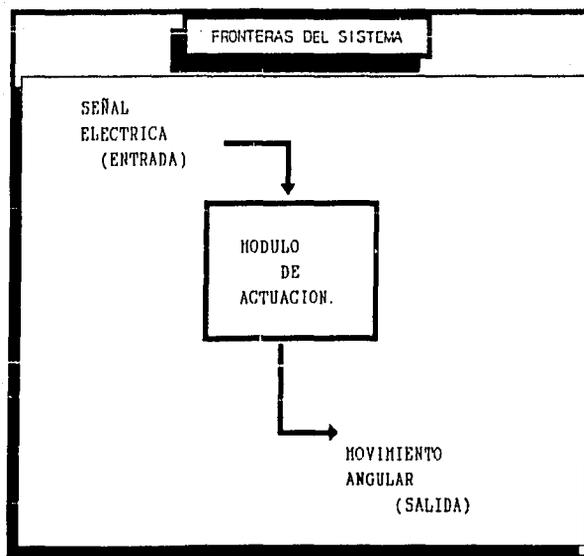


Ilustración 31

Realizando un análisis del problema, se llegó a la conclusión de que por requerimientos operativos el MA debía contemplar las siguientes funciones dentro de sus subsistemas:

- ▶ movimiento angular de salida
- ▶ ajuste de velocidad de apertura y cierre de los contactos móviles
- ▶ almacén de energía
- ▶ conteo de ciclos
- ▶ detección de señales provenientes del módulo de control

A continuación se detallan estos requerimientos funcionales:

- a) *Movimiento angular.*- Consiste en transmitir movimiento angular a una flecha, a la cual se acoplan tres contactos móviles.
- b) *Ajuste de velocidad.*- Consiste en mover una flecha a determinada velocidad angular y desplazar los contactos móviles a ciertas velocidades lineales en las operaciones de apertura y de cierre.
- c) *Almacén de energía.*- Consiste en suministrar energía suficiente para llevar al cabo tres ciclos de operación (tres aperturas y tres de cierres).
- d) *Conteo de ciclos.*- Consiste en sensar el estado que guarda el mecanismo respecto a las operaciones de apertura y cierre que debe efectuar con la energía almacenada.
- e) *Detección de señal proveniente del módulo de control.*- Consiste en detectar la señal que transmitirá el módulo de control para indicar operaciones de apertura o cierre.

El módulo de actuación se dividió en cinco subsistemas:

- a) *Subsistema convertidor*
- b) *Subsistema de almacenamiento*
- c) *Subsistema disparador*
- d) *Subsistema de transmisión*
- e) *Subsistema estructural*

los cuales se observan en la ilustración 32.

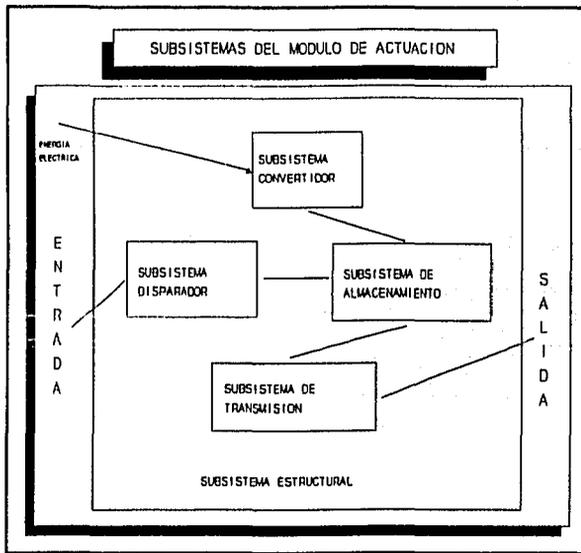


Ilustración 32

- a) *Subsistema convertidor.*- La función de este subsistema es tomar energía eléctrica de una fuente externa, convertirla en energía mecánica y proveer energía al sistema de almacenamiento. Básicamente consiste en un convertidor de energía eléctrica en energía mecánica. El suministro de energía eléctrica proviene de las líneas que conecta el SAI. El concepto se esquematiza en la ilustración 33.

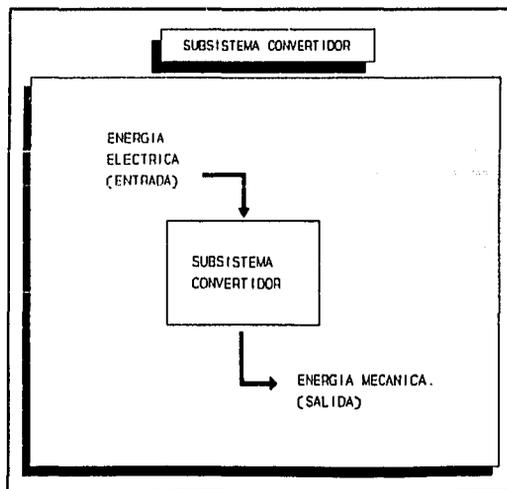


Ilustración 33

- b) *Subsistema de almacenamiento.*- La función de este subsistema consiste en acumular la energía necesaria para efectuar tres ciclos de operación del MI. Almacena energía mecánica proveniente del subsistema fuente, la cual libera al sistema de transmisión convertida en un par a determinada velocidad. Esto se aprecia en la ilustración 34.

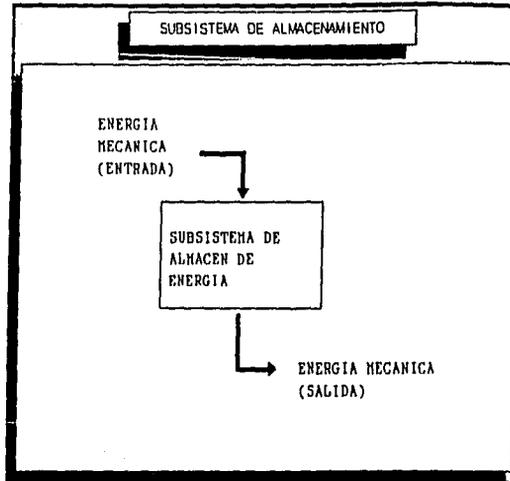


Ilustración 34

- c) *Subsistema disparador.*- La función de este subsistema es regular la liberación de energía del subsistema de almacenamiento, esto ocurre mediante una señal proveniente del módulo de control. En cada etapa de funcionamiento debe liberar la energía necesaria para una operación de apertura o cierre, según sea el caso, y no permitir que se libere el resto, manteniendo cargado al sistema de almacenamiento para posteriores operaciones. Se representa gráficamente en la ilustración 35.

- d) *Subsistema de transmisión.*- La función de este subsistema consiste en recibir la energía proveniente del sistema de almacenamiento y modificar su par y velocidad angular para mover la flecha del MI. Esto se esquematiza en la ilustración 36.

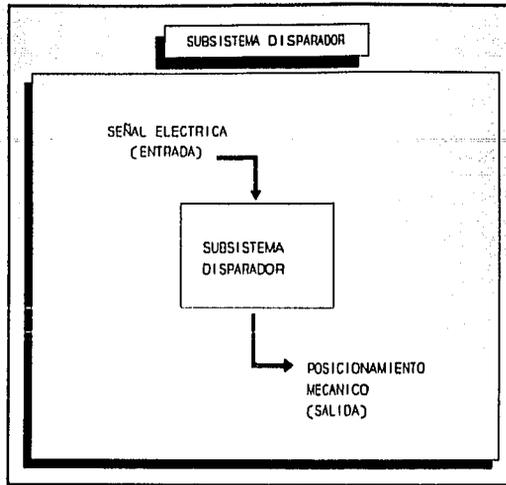


Ilustración 35

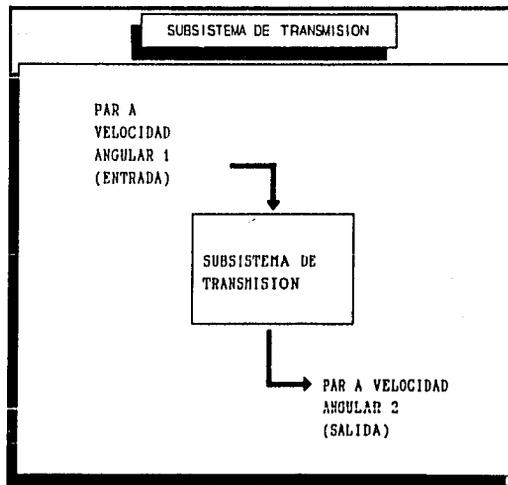


Ilustración 36

- e) **Subsistema estructural.**- La función de este subsistema es proporcionar soporte y protección al resto de los subsistemas. Se representa gráficamente en la ilustración 37.

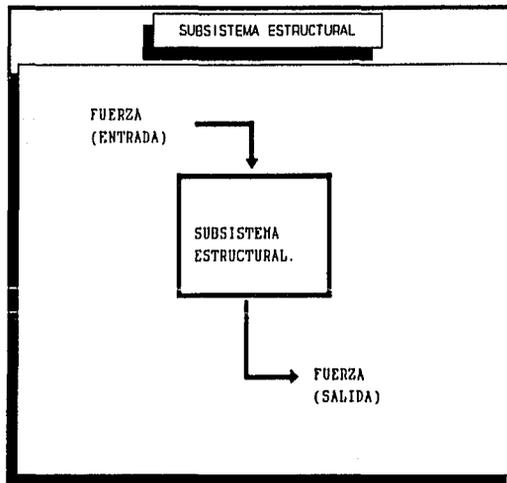


Ilustración 37

2.2. Generación de alternativas

Con base en el planteamiento del problema y de los subsistemas establecidos se procedió a realizar diversas actividades de generación de alternativas, tanto con el grupo de trabajo del CDM como con el grupo del IIE, así como de grupos ajenos al proyecto, pero relacionados con el área de diseño. Se consultaron diversas opiniones y en todos los casos se trató de explicar la necesidad de la manera más básica y menos restringida con el fin de no inhibir o truncar ideas. Se realizaron fundamentalmente lluvias de ideas e investigaciones bibliográficas.

Alternativas conceptuales para requerimientos funcionales.

Se presenta a continuación un resumen de las ideas surgidas durante las reuniones preliminares de trabajo de los posibles conceptos para solucionar *aspectos funcionales* del MA.

a) *Movimiento angular*

En este grupo se conjuntan los dispositivos capaces de generar movimiento angular.

- ▶ mecanismos de tres y cuatro barras
- ▶ engrane y cremallera
- ▶ poleas y bandas
- ▶ motores
- ▶ resortes de torsión
- ▶ imanes

b) Movimiento lineal

En este grupo se conjuntan los dispositivos capaces de generar movimiento lineal.

- ▶ solenoide
- ▶ resortes helicoidales
- ▶ palancas simples
- ▶ mecanismos de barras
- ▶ imanes
- ▶ dos resortes helicoidales encontrados

c) Transformación de movimiento angular en movimiento lineal alternante

En este grupo se conjuntan los dispositivos o mecanismos capaces de transformar movimiento angular -considerando par y velocidad- en movimiento lineal alternante.

- 1) Mecanismos que necesitan algún dispositivo que invierta el sentido de giro para lograr movimiento lineal alternante.

- ▶ tornillo de bolas recirculantes
- ▶ mecanismos de tres o cuatro barras

- 2) Mecanismos que no necesitan algún dispositivo que invierta el sentido de giro para lograr movimiento lineal alternante.

- ▶ mecanismo biela-manivela-corredera
- ▶ leva-corredera

d) Ajuste de velocidad

Se conjuntan en este grupo los dispositivos que permitan ajustar la velocidad de apertura y cierre de los contactos móviles. Se ubicaron dos áreas principales:

- 1) Mediante el diseño de los elementos que generan el movimiento angular.

- 2) Mediante un dispositivo externo al mecanismo que genera el movimiento angular.

Los dispositivos pueden ser:

- ▶ elementos friccionantes
- ▶ amortiguadores

●) **Almacenamiento de energía**

Se agrupan a continuación las alternativas de dispositivos capaces de almacenar algún tipo de energía.

1) **Medios mecánicos**

- ▶ resortes helicoidales
- ▶ resortes de torsión
- ▶ contrapesos

2) **Medios eléctricos**

- ▶ baterías recargables
- ▶ baterías no recargables
- ▶ energía solar
- ▶ energía eólica

3) **Medios que emplean aire a presión**

- ▶ botella presurizada recargable
- ▶ sistema a base de gas licuado

f) **Conteo de ciclos**

Se agrupan a continuación los dispositivos capaces de controlar el conteo de los ciclos de operación. Se determinaron las siguientes alternativas:

- 1) Programación mecánico
- 2) Sensores eléctricos
- 3) Dispositivos electrónicos

g) **Detección de señales**

Se enlistan a continuación las alternativas para sensar la información que el módulo de control manda al MA.

- 1) Transistores mecánicos regulados por medios mecánicos o eléctricos.
- 2) Actuación de un solenoide que contenga un trinquete.

h) **Elementos auxiliares**

Se presenta también una lista de los posibles elementos auxiliares, ya sea que cumplan una función primaria o de interfase.

- ▶ rodamientos
- ▶ coples
- ▶ uniones
- ▶ lubricantes

Considerando los subsistemas funcionales antes planteados y las alternativas mencionadas se generaron multitud de alternativas para solucionar los subsistemas y el sistema.

Se generaron las siguientes alternativas preliminares para solucionar el sistema conjuntando algunos de los elementos planteados:

1)	▶ Biela-manivela	- genera el movimiento
	▶ Dos resortes encontrados	- almacenan energía
	▶ Dos solenoides	- dosifican la energía
2)	▶ Tornillo de bolas	- genera el movimiento
	▶ Dos resortes encontrados	- almacenan energía
	▶ Dos rodamientos	- soportan al tornillo
	▶ Dos solenoides	- dosifican la energía
3)	▶ Biela-manivela	- genera el movimiento
	▶ Resorte de torsión	- almacena energía
	▶ Solenoide	- dosifica energía
	▶ Motor eléctrico	- provee energía
4)	▶ Leva	- genera el movimiento
	▶ Resorte de torsión	- almacena energía
	▶ Solenoide	- dosifica energía
	▶ Motor eléctrico	- provee energía

Se denota que es posible continuar generando alternativas mediante la combinación de elementos. Se enfatiza el hecho de que el enfoque preliminar se fundamentó exclusivamente en satisfacer las funciones que debían llevarse al cabo más que en los dispositivos que las realizarían.

2.3. Evaluación de alternativas

Se realizó un análisis de los elementos con mayores probabilidades de ser empleados, investigando la función que realizan, las restricciones y los requerimientos operativos inherentes. Se avanzó en algunas cuestiones relativas al diseño de configuración y de detalle con la finalidad de tener presentes consideraciones fundamentales. En la siguiente tabla se muestra dicho análisis.

Nombre: *Trinquete*

Función: Permitir la entrada de energía al almacén de la misma y dosificar su salida.

Restricciones: Capaz de resistir los esfuerzos generados por el sistema de almacenamiento, para evitar el retorno de energía.

Requerimientos:

- ▶ geometría
- ▶ materiales

Nombre: *Resorte helicoidal de compresión*

Función: Almacenar energía.

Restricciones:

- ▶ número de operaciones
- ▶ fuerzas de trabajo
- ▶ rango de temperaturas de operación
- ▶ vida útil

Requerimientos:

- ▶ geometría
- ▶ material
- ▶ deformación lineal
- ▶ tratamiento superficial
- ▶ tratamiento térmico

Nombre: *Resorte de torsión*

Función: Almacenar energía.

Restricciones:

- ▶ número de operaciones
- ▶ par de trabajo
- ▶ rango de temperaturas de operación
- ▶ vida útil

Requerimientos:

- ▶ geometría
- ▶ deformación angular
- ▶ material
- ▶ tratamiento superficial
- ▶ tratamiento térmico

Nombre: *Rodamiento*

Función: Transmitir carga y soportar y ubicar ejes de transmisión.

Restricciones:

- ▶ tipo de carga
- ▶ condiciones ambientales
- ▶ rango de temperaturas de operación
- ▶ vida útil

Requerimientos:

- ▶ geometría
- ▶ materiales
- ▶ diámetro de la flecha
- ▶ tipo de lubricación

Nombre: *Tornillo de bolas*

Función: Transformación de movimiento lineal en movimiento angular.

Restricciones:

- ▶ velocidad angular
- ▶ par de trabajo

Requerimientos:

- ▶ geometría del tornillo
- ▶ número de balines
- ▶ número de canales

Nombre: *Embrague*

Función: Conectar o desconectar ejes acoplados durante su rotación, dependiendo del sentido de giro de los mismos.

Restricciones:

- ▶ par de trabajo
- ▶ diámetro del eje
- ▶ vida útil

Requerimientos:

- ▶ geometría

Nombre: *Freno*

Función: Dosificar energía.

Restricciones:

- ▶ par de trabajo a detener e impacto
- ▶ diámetro de la flecha
- ▶ número de detenciones por revolución
- ▶ vida útil

Requerimientos:

- ▶ geometría

Nombre: *Solenoide*

Función: Transformar energía eléctrica en energía mecánica.

Restricciones:

- ▶ ciclo de vida
- ▶ fuerza
- ▶ carrera
- ▶ rango de temperaturas de operación

Requerimientos:

- ▶ voltaje
- ▶ corriente
- ▶ frecuencia de operación
- ▶ dimensiones (geometría)
- ▶ forma del émbolo
- ▶ condiciones especiales

Nombre: *Flecha de salida*

Función: Transmitir movimiento angular y potencia.

Restricciones:

- ▶ espacio disponible
- ▶ cargas aplicadas
- ▶ esfuerzos de trabajo
- ▶ velocidad angular

Requerimientos:

- ▶ longitud
- ▶ diámetro de la flecha
- ▶ material

Nombre: *Eje de transmisión*

Función: Transmitir potencia y movimiento angular.

Restricciones:

- ▶ espacio disponible
- ▶ cargas aplicadas
- ▶ esfuerzos de trabajo
- ▶ velocidad angular

Requerimientos:

- ▶ longitud
- ▶ diámetro de la flecha
- ▶ material

Nombre: *Buje*

Función: Reducir fricción, desgaste y calentamiento.

Restricciones:

- ▶ tipo de carga
- ▶ vida útil
- ▶ rango de temperaturas de trabajo

Requerimientos:

- ▶ diámetro exterior
- ▶ diámetro interior
- ▶ ajustes
- ▶ materiales
- ▶ tipo de lubricación

Nombre: *Cople*

Función: Transmitir movimiento angular mediante una unión flexible semipermanente.

Restricciones:

- ▶ par de trabajo

Requerimientos:

- ▶ geometría
- ▶ materiales
- ▶ tipo de cople

Nombre: Engrane

Función: Transmitir movimiento angular y potencia a la flecha de salida.

Restricciones:

- ▶ potencia de trabajo
- ▶ velocidad angular
- ▶ relación de velocidades angulares
- ▶ diámetro interno

Requerimientos:

- ▶ diámetro de paso
- ▶ módulo
- ▶ geometría
- ▶ tratamiento térmico

Nombre: Motorreductor

Función: Proporcionar altos pares con relativamente bajas velocidades angulares.

Restricciones:

- ▶ potencia
- ▶ par de salida
- ▶ velocidad angular de salida

Requerimientos:

- ▶ diámetro de flecha
- ▶ voltaje
- ▶ amperaje
- ▶ frecuencia
- ▶ dimensiones

Se presenta a continuación una evaluación mediante matrices de decisión de las alternativas para solucionar los subsistemas del MA. Primeramente se seleccionaron los criterios a evaluar y se les asignaron porcentajes de importancia. Posteriormente se asignaron valores entre 0-5 (donde 5 representa el nivel más satisfactorio y 0 el menos satisfactorio) a cada alternativa por cada criterio. A continuación se dividió el valor asignado entre el porcentaje del criterio y finalmente, se sumaron todos los datos de cada alternativa. El valor total más alto representa la alternativa en la cual existe un mejor balance respecto de los criterios seleccionados y los porcentajes asignados.

Subsistema convertidor

Aspecto	Motorreductor Eléctrico	Motor eléctrico	Solenoides y trinquete	Pistón neumático	Motor de combustión
Funcionalidad (20%)	5/1	3/0.6	1/0.2	3/0.6	4/0.8
Costo (20%)	4/0.8	5/1	5/1	2/0.4	3/0.6
Diseño Industrial (10%)	5/0.5	5/0.5	4/0.4	4/0.4	4/0.4
Calidad real y aparente(15%)	4/0.6	4/0.6	4/0.6	4/0.6	4/0.6
Servicio (10%)	5/0.5	5/0.5	3/0.3	3/0.3	4/0.4
Confiabilidad (15%)	5/0.75	5/0.75	3/0.45	4/0.6	4/0.6
Seguridad (10%)	5/0.5	5/0.5	3/0.3	4/0.4	4/0.4
Total	4.65	4.45	3.25	3.3	3.8

Subsistema de almacenamiento de energía

Aspectos	Botella presurizada	Baterías	Resorte de torsión	Resorte de tensión	Resorte de compresión
Funcionalidad (20%)	2/0.4	2/0.4	3/0.6	3/0.6	5/1
Costo (20%)	3/0.6	3/0.6	4/0.8	5/1	5/1
Diseño Industrial (10%)	2/0.2	4/0.4	4/0.4	4/0.4	5/0.5
Calidad real y aparente(15%)	2/0.3	3/0.45	4/0.6	4/0.6	4/0.6
Servicio (10%)	1/0.1	2/0.2	4/0.4	5/0.5	4/0.4
Confiabilidad (15%)	4/0.6	1/0.15	3/0.45	4/0.6	4/0.6
Seguridad (10%)	4/0.4	2/0.2	4/0.4	4/0.4	4/0.4
Total	2.6	2.4	3.65	4.1	4.5

Subsistema disparador

Aspectos	Freno de campo magnético	Freno mecánico de resortes	Freno de diseño propio
Funcionalidad (20%)	4/0.8	3/0.6	5/1
Costo (20%)	2/0.4	4/0.8	5/1
Diseño industrial (10%)	4/0.4	4/0.4	4/0.4
Calidad real y aparente (15%)	5/0.75	5/0.75	4/0.6
Servicio (10%)	3/0.3	3/0.3	4/0.4
Confiabilidad (15%)	4/0.6	4/0.6	4/0.6
Seguridad (10%)	5/0.5	4/0.6	4/0.4
Total	3.75	4.05	4.4

Subsistema de transmisión

Aspectos	Bandas y poleas	Catarinas y cadena	Engranajes
Funcionalidad (20%)	3/0.6	5/1	3/0.6
Costo (20%)	5/1	4/0.8	3/0.6
Diseño industrial (10%)	4/0.4	5/0.5	4/0.4
Calidad real y aparente (15%)	4/0.6	5/0.75	4/0.6
Servicio (10%)	3/0.3	4/0.4	3/0.3
Confiabilidad (15%)	3/0.45	5/0.75	5/0.75
Seguridad (10%)	4/0.4	4/0.4	4/0.4
Total	3.75	4.6	3.65

Evaluando los resultados obtenidos del análisis anterior se depuró la lista de alternativas, desechando todas aquellas que no satisfacían algún requerimiento, o restricción. También se tomaron en consideración aspectos como eficiencia, lo cual contribuyó a decidir que los tornillos de bolas y los resortes eran las mejores alternativas para generar movimiento y almacenar energía, respectivamente.

2.4. Selección de alternativas

Se contemplaron varias alternativas de solución para cada subsistema y se combinaron para obtener diferentes opciones. Se presentan a continuación las dos alternativas viables finales con base en los análisis realizados, las cuales se nombraron por el tipo de resorte que emplea el sistema de almacenamiento de energía.

1) Opción con resorte de compresión

En esta alternativa el subsistema convertidor es un motorreductor con una transmisión de engranes y un clutch, el subsistema de almacenamiento está constituido por un resorte de compresión de alta capacidad y un tornillo de bolas recirculantes, el subsistema disparador es un freno actuado por un solenoide y un embrague y el subsistema de transmisión está integrado por engranes. Se representa gráficamente esta opción en la ilustración 38.

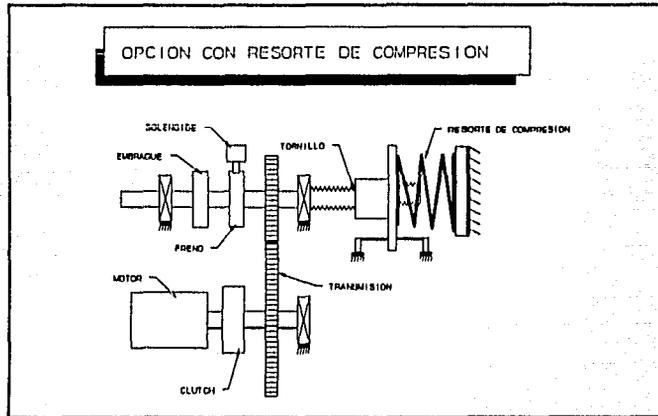


Ilustración 38

2) Opción con resorte de torsión

En esta alternativa el subsistema convertidor es un motorreductor y un trinquete, el subsistema de almacenamiento está constituido por un resorte de torsión, el subsistema disparador y el de transmisión son iguales a los de la opción anterior, con la salvedad de que se omite el embrague y el clutch. Esta opción está representada en la ilustración 39.

El funcionamiento consiste en que el motorreductor gira en el sentido de carga para deformar al resorte de torsión. En tanto se carga el resorte, el freno impide que se mueva el módulo de interrupción. Cuando se ha almacenado la energía necesaria se detiene el motorreductor y se impide que se libere el resorte por medio de un trinquete que sólo gira en el sentido de carga. El módulo se actúa por medio del solenoide del freno.

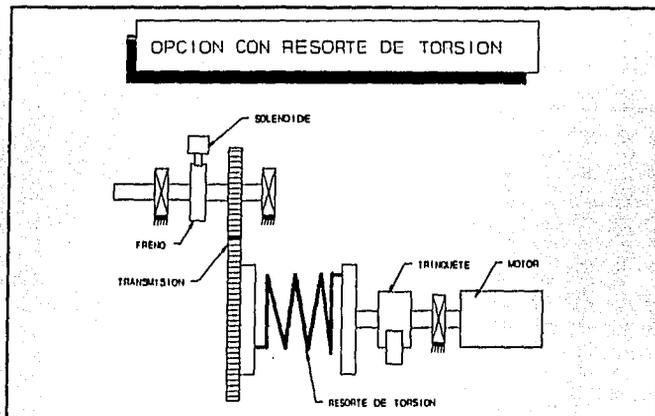


Ilustración 39

Se realizó una matriz de decisión para determinar cual de las dos alternativas era la óptima en base al cumplimiento de especificaciones, objetivos y restricciones y a los recursos disponibles. Se asignaron valores de peso a cada aspecto y se calificó cada opción en todos los aspectos. Se presenta a continuación dicho análisis.

Aspecto	Opción con resorte de torsión	Opción con resorte de compresión
Costo (30%)	5/1.5	4/1.2
Funcionalidad (30%)	3/0.9	5/1.5
Confiabilidad (20%)	3/0.6	5/1
Manufacturabilidad (10%)	3/0.3	4/0.4
Ensamble (10%)	4/0.4	4/0.4
Total	3.7	4.5

De acuerdo a las investigaciones realizadas referentes al empleo de resortes como medios de almacenamiento de energía se encontró que los de torsión, debido a los tipos de esfuerzos a los que se ven sometidos, no son recomendables para desarrollar trabajos que implican muchas operaciones ya que el material se ve afectado por fatiga. El fundamento anterior indica que la confiabilidad en la opción del resorte de torsión es menor que la del resorte de compresión. Otra causa de conflicto referente a la operación del resorte de torsión es que para lograr seis ciclos de operación se requería deformar demasiado, y por tanto emplear necesariamente una transmisión que aumentara las revoluciones que a su vez disminuirían el par de salida, esto ocasionaba que el resorte creciera demasiado. Esto redundó en considerar que la funcionalidad del resorte de torsión era más baja que la del resorte de compresión.

Además de lo anterior, después de consultar varias empresas fabricantes de resortes, se descubrió que no existe gran disponibilidad de materiales y maquinaria adecuada para la fabricación de resortes de torsión con las características requeridas para el MA. Esta consideración afectó el valor relativo a la manufacturabilidad de la opciones y que la del resorte de torsión resultara menor que la del resorte de compresión.

2.5. Establecimiento del concepto

El concepto a configurar se fundamentó en la opción de resorte de compresión, y quedó constituido por un subsistema convertidor que comprende un motorreductor con una transmisión de engranes y un clutch, un subsistema que almacena la energía a base de un resorte de compresión unido a un tornillo de bolas que convierte la deformación lineal del resorte en movimiento angular, un subsistema disparador comprendido por un freno y un solenoide además de un embrague, y un subsistema de transmisión constituido por engranes. El subsistema estructural contendrá a todos los demás subsistemas en un armazón de metal sellado.

La lógica del funcionamiento es la siguiente: el motorreductor, por medio de engranes y un clutch hace girar en un sentido de carga al husillo del tornillo de bolas recirculantes. La tuerca del tornillo de bolas está unida a una placa que sujeta al resorte de compresión y no le permite girar. Por lo anterior, cuando gira el husillo, la tuerca se desplaza longitudinalmente sobre el tornillo comprimiendo el resorte. Cuando se ha almacenado la energía suficiente en el resorte, se detiene el motorreductor y se desacopla el clutch. El resorte tiende a recuperarse intentando girar en sentido contrario al husillo, pero esto es impedido por un freno mecánico. El freno sólo permite el giro del husillo en el sentido de carga del resorte. El freno es regulado por un solenoide que recibe señales del módulo de control. En el momento de carga también se evita la transmisión del movimiento al módulo

de interrupción por medio de un embrague que sólo lo acopla con el de actuación cuando el husillo gira en sentido contrario al de carga, es decir, en sentido de descarga.

Cuando se desea accionar al módulo de actuación el módulo de control envía una señal que activa al solenoide del sistema disparador. El solenoide libera al freno mecánico y esto permite que el resorte se recupere haciendo girar al husillo en sentido de descarga. La energía necesaria para actuar el solenoide es mínima. El freno está diseñado para permitir sólo la deformación del resorte necesaria para una operación de cierre o apertura del módulo de interrupción.

3. Diseño de configuración

3.1. Diseño de la interfase entre el módulo de actuación y el módulo de interrupción

Al comenzar a generar alternativas para configurar el concepto establecido de MA se observó que la interfase con el MI presentaba características que afectaban la configuración del MA, en particular lo referente a proporcionar un movimiento angular que finalmente debía conducir tres contactos móviles a determinada velocidad lineal con determinada fuerza. Entonces se colaboró estrechamente con el IIE para diseñar el mecanismo que conduciría los contactos móviles del MI. En la ilustración 40 se aprecia una de las botellas que contiene a los contactos móvil y fijo del MI - se requieren tres botellas, una por cada fase.

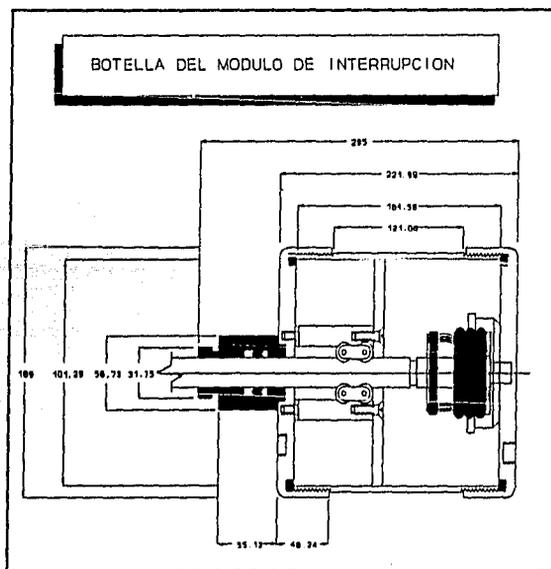


Ilustración 40

Las especificaciones para el diseño del módulo de interrupción son similares a las del módulo de actuación. Se hace énfasis en que se debe lograr un movimiento lineal alternante con una carrera de 4 cm y a una velocidad promedio de 2.5 m/seg tanto en la carrera de cierre como en la carrera de apertura.

Los esfuerzos se enfocaron a diseñar el mecanismo actuador del módulo de interrupción, el cual proporcionaría características específicas de la velocidad angular y el par que el módulo de actuación debía aplicar.

3.1.1. Concepto de solución

El módulo de actuación debía transmitir un par y una velocidad angular al módulo de interrupción, el cual debía convertirlas en movimiento lineal alternante a determinada velocidad y carrera con una fuerza determinada para mover los contactos móviles en sentido lineal.

3.1.2. Alternativas de solución

Como opciones de solución se contemplaron entre otras:

- ▶ *Mecanismo a base de poleas y banda.*- En esta alternativa, para alternar el movimiento, el par debe de cambiar de dirección de giro.
- ▶ *Mecanismo biela-manivela-corredera.*- Con este se obtiene un movimiento lineal alternante en la corredera unida a la biela, a partir de un giro de un solo sentido en la manivela.
- ▶ *Mecanismo de barras articuladas.*- Mecanismos de tres o cuatro barras.
- ▶ *Piñón y cremallera.*- En esta opción es necesario que el piñón cambie el sentido de giro para lograr movimiento alternante.

De las anteriores soluciones posibles se escogieron dos alternativas en las cuales no se necesitaba invertir el giro angular proveniente del módulo de actuación para obtener un movimiento lineal alternante.

Las alternativas que se seleccionaron fueron:

- 1) Biela-manivela-corredera
- 2) Mecanismo de barras con inversor

Los criterios que se consideraron para seleccionar la mejor

alternativa fueron: comportamiento cinemático y dinámico durante la carrera y complejidad de fabricación.

El mecanismo de barras con inversor presentó algunos inconvenientes, los cuales se detallan a continuación:

La velocidad requerida en los vástagos (2.5 m/s) se alcanza de forma muy lenta -ver ilustraciones 41 y 42 referentes al comportamiento del mecanismo de barras. Lo anterior origina que cuando el contacto móvil se encuentra posicionado a punto de separarse del contacto fijo, considerando que el movimiento parte del reposo al inicio de la carrera, se necesitan aceleraciones muy grandes para que en el instante antes mencionado se alcance la velocidad requerida y no se corra el riesgo de que se origine arco eléctrico entre los contactos. Al final de la carrera la velocidad presenta magnitudes mucho mayores a las especificadas, lo cual tampoco es conveniente debido a los posibles choques.

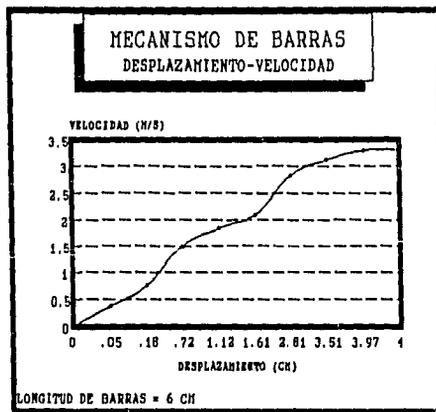


Ilustración 41

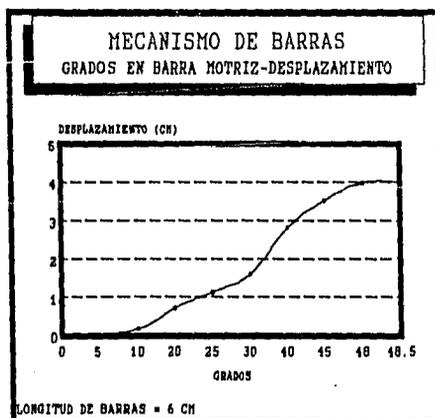


Ilustración 42

Después de realizar un análisis similar con el mecanismo biela-manivela-corredera, se seleccionó éste porque presenta las ventajas de comportamiento que a continuación se detallan:

Inicia el movimiento con velocidad cero, pero la aceleración de la corredera es tal, que al llegar a la posición de desenchufe (aproximadamente 1 cm de carrera) se alcanza la velocidad requerida -ver ilustraciones 43 y 44 referentes al comportamiento del mecanismo biela-manivela-corredera. La velocidad sigue aumentando hasta llegar a un máximo de magnitud aceptable y descende otra vez hasta cero, pero ocurre en los instantes en que los contactos están posicionados, de tal forma que no existen riesgos de que se genere arco eléctrico por falta de velocidad entre éstos. Con el uso de este mecanismo tampoco se tienen problemas de choque, ya que la velocidad de la corredera al final y al comienzo de la carrera son cero.

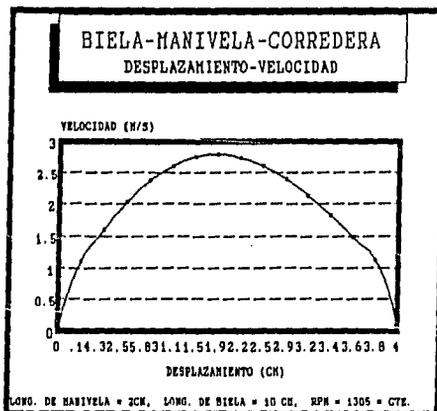


Ilustración 43

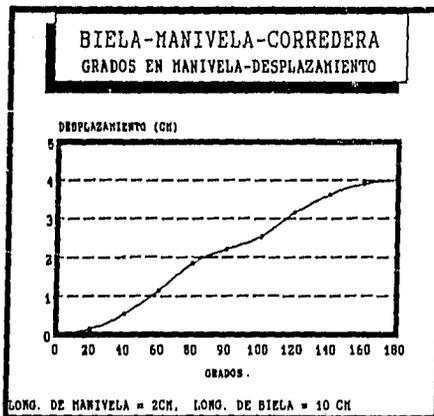


Ilustración 44

Se presenta en la ilustración 45 un croquis del módulo de interrupción, donde se aprecia la estructura y las tres botellas de las fases.

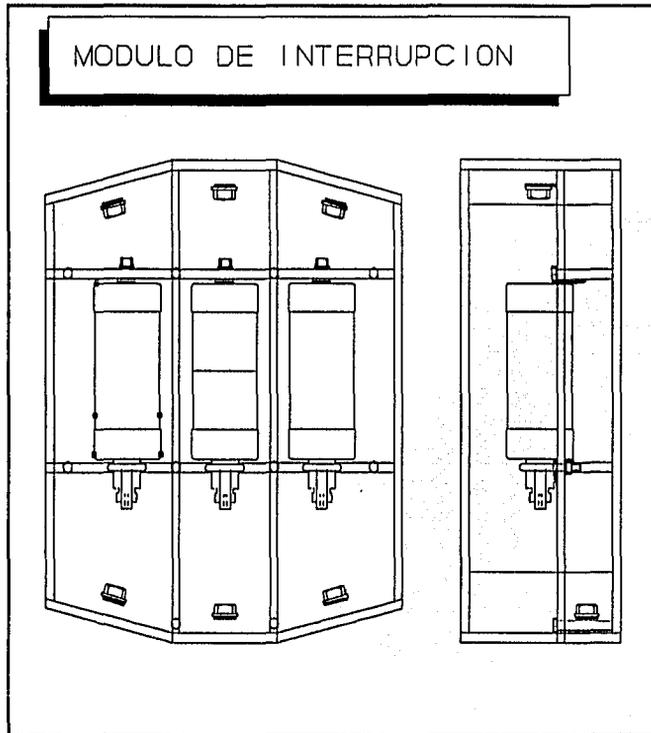


Ilustración 45

3.1.3. Diseño de detalle del mecanismo biela-manivela-corredera

Para obtener el dimensionamiento del mecanismo se partió de la restricción de tener una carrera de 4 cm, por lo tanto, el eje excéntrico de la manivela debe medir 2 cm. Para definir las dimensiones de la biela se desarrolló un programa de cómputo para obtener los parámetros puntuales del movimiento del mecanismo para cualquier posición de la manivela. De estos resultados se hicieron análisis que mostraban el comportamiento del mecanismo para diferentes longitudes de biela. Para la realización de este análisis se mantuvieron constantes el eje excéntrico de la manivela de 2 cm y la velocidad lineal de la corredera en 3 m/s -ver ilustraciones 46, 47 y 48 referente al comportamiento del mecanismo biela-manivela-corredera para diferentes longitudes de biela.

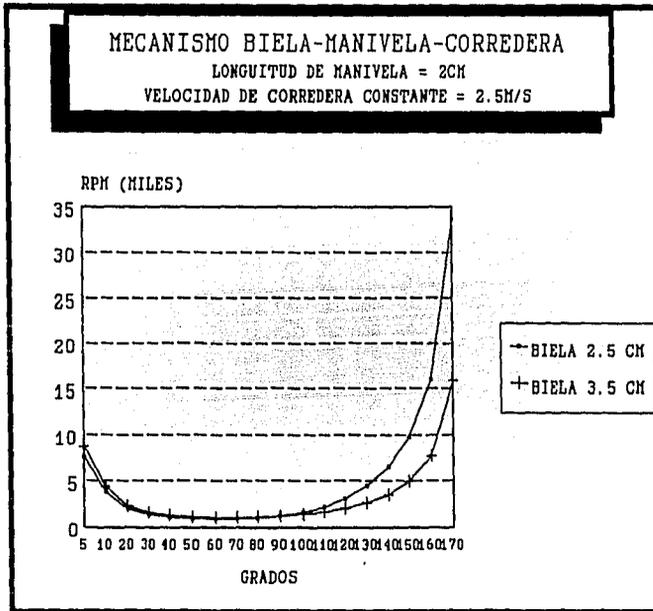


Ilustración 46

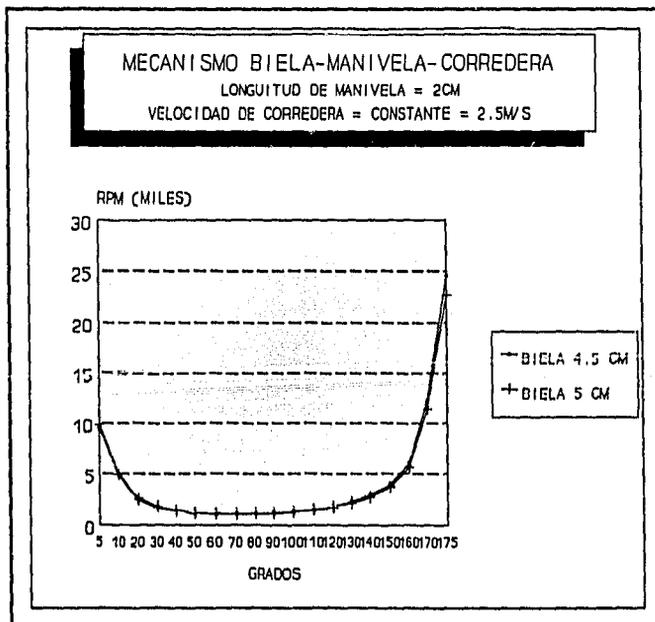


Ilustración 47

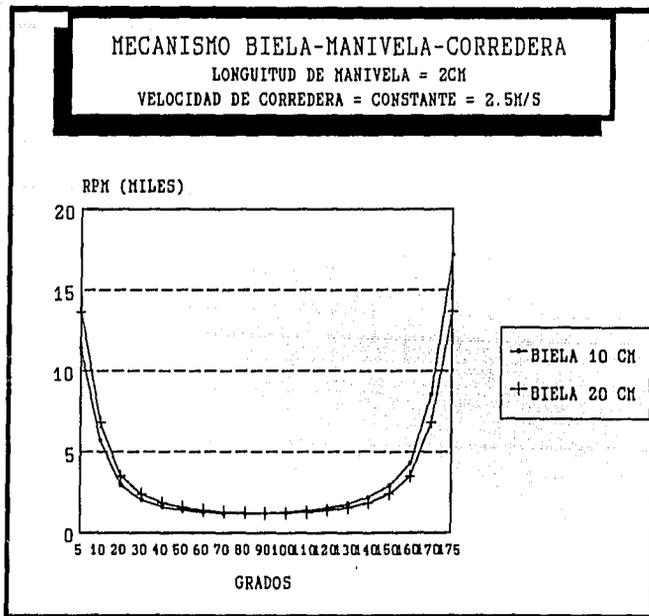


Ilustración 48

A partir del análisis anterior se determinó que para bielas de pequeña longitud (4 cm), las velocidades angulares que se requerían en la manivela para mantener constante la velocidad en la corredera eran relativamente un poco más bajas que para las bielas grandes (10 cm), que era algo deseado, ya que se pretendía que las velocidades aplicadas a la manivela fueran relativamente bajas, pero se observó que para ciertas posiciones de la manivela se tenían inclinaciones de la biela muy grandes, lo que originaba componentes de fuerzas muy altas en direcciones perpendiculares al movimiento, algo no deseado. De esta forma se optimizó la longitud de la biela y se decidió por una biela de 10 cm con lo cual el comportamiento del mecanismo en relación al espacio ocupado es adecuado.

Los demás parámetros geométricos de todos los elementos del mecanismo biela-manivela, así como los materiales, se diseñaron y escogieron a partir del cálculo de esfuerzos y las condiciones del medio en donde trabajaría. Se presentan en el apéndice 3 los planos que se generaron.

En el CDM se realizaron pruebas para determinar la fuerza a vencer durante el cierre y la apertura del contacto móvil. Se efectuaron los siguientes análisis:

- 1) Prueba de "O ring" tipo polipak
- 2) Prueba de "O ring" de un solo labio
- 3) Prueba de "O ring" tipo dona

Para esto se recurrió a pruebas de tracción y compresión con el auxilio de las máquinas Instron del laboratorio de pruebas mecánicas de la DIMFI.

Estas pruebas se realizaron porque el contacto móvil no estaba libre, debía vencer fuerzas de presión, de contacto y de los empaques que evitaban fugas de gas y pérdidas de presión. En la primera prueba se obtuvieron fuerzas muy elevadas, en la segunda no existía un hermetismo total. En la tercera, fruto de consejos de los distribuidores de "O rings" de Parker Seal en México, se obtuvo hermetismo total y fuerzas adecuadas. Se estableció finalmente la fuerza por botella en 10 kg -30 kg en total-, y con éste dato se calcularon la velocidad y fuerza requeridas en la flecha.

A partir del diseño del mecanismo interfase entre el MA y el MI se establecieron los siguientes parámetros que regirían el comportamiento de la salida del MA:

- Se realizó un estudio del mecanismo biela-manivela-corredera ya dimensionado y se observó que la velocidad angular que se debía imprimir a la manivela era de aproximadamente 1,301 RPM y haciendo una estimación del par, debido a que se debían vencer las fuerzas entre los contactos y vencer las fuerzas de inercia de todas las piezas que estuvieran en movimiento lineal y angular, se determinó en 150 lbs-pulg.

En el apéndice 3 se muestra el paquete de información del diseño del módulo de interrupción. En la ilustración 49 se muestra un croquis del concepto biela-manivela-corredera donde se aprecian los contactos y el mecanismo.

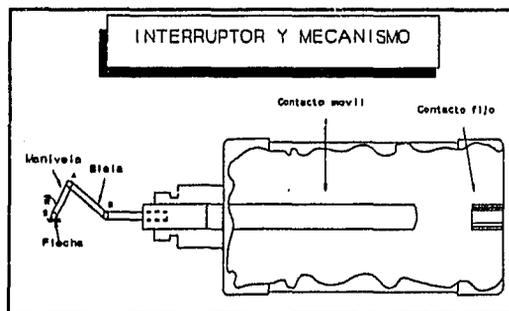


Ilustración 49

3.2. Diseño de sistemas y subsistemas

En el inicio de esta subetapa se verificó la disponibilidad de los elementos constituyentes del concepto a configurar, ya sean componentes manufacturados bajo diseño propio o bien comprados en el mercado nacional o extranjero.

A partir de la selección hecha en la etapa anterior, se crearon variaciones cambiando la posición relativa de los componentes de los subsistemas. Para seleccionar la configuración más adecuada se tomaron en cuenta, principalmente, el costo y la funcionalidad así como la confiabilidad, la facilidad de fabricación y el espacio necesario. El espacio necesario recibió gran importancia debido a que el MA iría en una caja del menor tamaño posible de placa de acero, lo cual aislaría al MA de la intemperie.

La primera opción, que se representa en la ilustración 50, tenía la desventaja de que el motorreductor transversal ocupaba mucho espacio a lo ancho y el arreglo de los demás subsistemas no era totalmente compacto. La transmisión debía ser grande para que existiera espacio suficiente para el motorreductor. La única ventaja que presentaba era que entre el motorreductor y el husillo del tornillo de bolas no existía ningún tipo de transmisión.

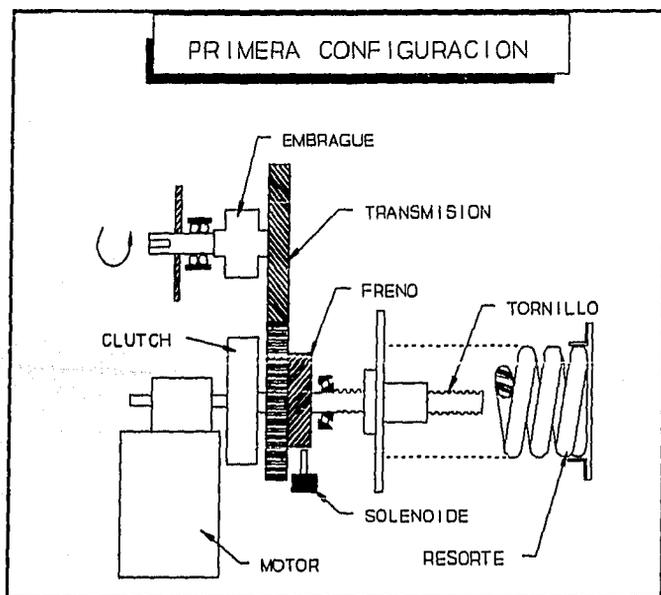


Ilustración 50

La segunda opción, que se muestra en la ilustración 51, era demasiado larga en el eje axial al tornillo y esto presentaba demasiadas complicaciones con el acoplamiento al módulo de interrupción y por tanto era necesario diseñar soportes adicionales que aumentaban su costo. Era un arreglo que brindaba muy poco servicio al usuario al momento de dar mantenimiento o tener que reemplazar piezas. Para evitar el choque entre las placas que soportan el resorte y el motorreductor era necesario que la tuerca del tornillo estuviera afuera, lo que aumentaba considerablemente su longitud.

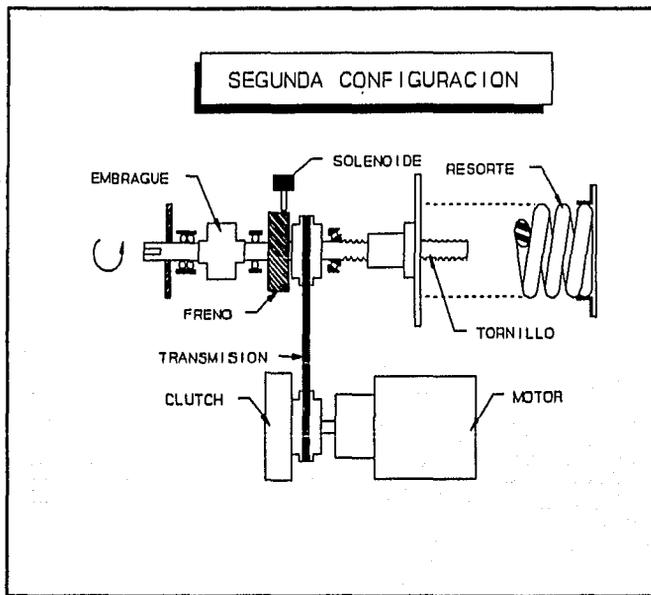


Ilustración 51

La tercera opción, que se representa en la ilustración 52, era la más indicada y compacta. Al realizar un estudio más minucioso y después de entablar conversaciones con el personal del IIE se decidió que la superficie superior de la caja protectora del módulo de interrupción podía servir como base y soporte del módulo de actuación. Por lo anterior se desarrolló la cuarta configuración, que se muestra en la ilustración 53, la cual era la más adecuada para cumplir los objetivos.

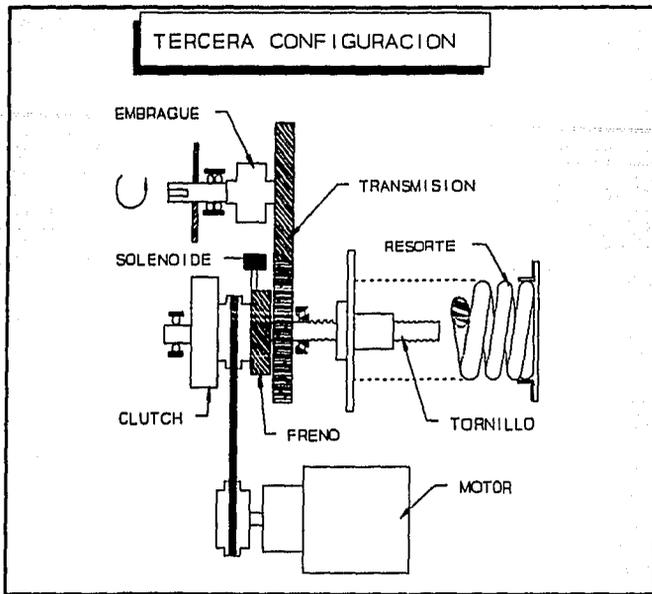


Ilustración 52

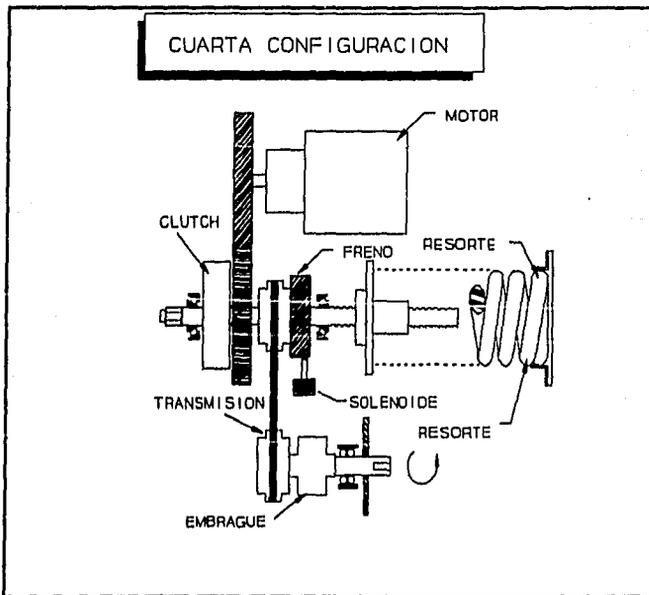


Ilustración 53

3.3. Validación y optimización del diseño

Después de tener la configuración deseada se hicieron los siguientes análisis:

- 1) Lógica del funcionamiento
- 2) Esfuerzos en las piezas
- 3) Impactos en las piezas y las posiciones más convenientes para que éstos se absorbieran
- 4) Mecanismo biela-manivela-corredera utilizado en el MI para encontrar las posiciones de arranque y freno con el propósito de controlar los puntos muertos del mecanismo.

Se concluyó que la transmisión podría consistir de cadenas y catarinas en lugar de engranes para evitar grandes inercias de las masas.

En reuniones con el personal del IIE se evaluó la configuración final con base en los objetivos, restricciones y especificaciones y asegurar también que cumpliera con las normas ANSI C37.63-1984. Se aprobó conjuntamente la configuración, la lógica del funcionamiento y lo relacionado al posicionamiento de algunas partes al inicio y fin de los ciclos de operación, así como del costo aproximado del mismo -tres mil quinientos dolares.

4. Diseño de detalle

4.1. Diseño de partes a fabricar

En las reuniones antes mencionadas con el IIE, se generó una multitud de ideas respecto al dimensionamiento de componentes y a la selección de equipo comercial. Posteriormente, se realizaron visitas a distribuidores del equipo comercial que sería utilizado, a fabricantes de resortes, a distribuidores de motorreductores, a distribuidores de rodamientos, a distribuidores de embragues y tornillos de bolas, a distribuidores de solenoides, etcétera, de los cuales se obtuvieron catálogos, asesorías y opiniones valiosas sobre las prácticas validadas de diseño en el mercado.

Se procedió a establecer geometría, materiales, dimensiones, tolerancias, ajustes, tratamientos térmicos y demás características de las piezas a fabricar.

Para realizar lo anterior, se realizaron diversos cálculos. Los más importantes fueron:

- ▶ cálculo del par necesario para mover al módulo de interrupción
- ▶ cálculo para el diseño del resorte de compresión
- ▶ cálculo para la selección del tornillo de potencia
- ▶ cálculo para el diseño de la transmisión de engranes

Conociendo el par que se debía generar en el tornillo de potencia, se determinó con el uso de catálogos comerciales la fuerza que debía generar el resorte de compresión que fue el parámetro base para su diseño. Se seleccionó el material con base en los ciclos de operación y tipo de trabajo al cual se encontraría sometido.

Se diseñaron las placa móvil y fija, el soporte del motor y placa de montaje, considerando básicamente los esfuerzos, la facilidad de manufactura y ahorro de material.

El material de diseño del freno y los elementos con que interactúa como son el trinquete, eje del trinquete y su soporte, se escogieron con base en las propiedades de materiales aptos para recibir esfuerzos de impactos. Se trató de que el freno fuera lo más liviano posible para evitar pérdidas debido a la inercia de las masas. La geometría quedó determinada por sus funciones y su interrelación con el solenoide, el trinquete y el tornillo de potencia.

A partir de los cálculos de diseño para los engranes, se determinó su tipo, dimensiones, material, número de dientes y el diseño en general.

También se diseño un resorte de torsión cuya función sería tratar de mantener al trinquete en su posición. Para el diseño se consideraron básicamente posición, rango de fuerzas de operación, ciclos de operación, tiempo de respuesta que necesitaba el trinquete y materiales aptos para resortes de torsión.

Se realizaron estudios de los esfuerzos debido a las cargas axiales en los baleros cónicos y a partir de éstos se diseñaron las chumaceras.

4.2. Selección de equipo comercial

Con base en los cálculos anteriores se pudo seleccionar el siguiente equipo comercial de procedencia extranjera:

- ▶ tornillo de bolas recirculantes
- ▶ embrague tipo "Formsprag"
- ▶ clutch
- ▶ motorreductor
- ▶ rodamientos cónicos
- ▶ solenoide

El embrague se seleccionó con base en el par que se aplica a la flecha del MI tomando en cuenta un factor de seguridad debido a esfuerzos por impacto y considerando el diámetro de flecha disponibles.

Como se conocía el par necesario en la flecha del MI, se podía conocer entonces el par que debía existir en el tornillo de bolas. Se seleccionó éste de catálogos, tomando en cuenta dicho par y el paso del tornillo.

Posteriormente se seleccionó el clutch considerando el diámetro del tornillo y el par existente en éste.

Los rodamientos se seleccionaron con base en las cargas axiales, cargas radiales, ciclos de vida y velocidades angulares a las que estarían sometidos.

Por último, con el par y dimensiones disponibles, se seleccionó el motorreductor.

Se seleccionaron también las siguientes partes de procedencia nacional:

- ▶ catarinas
- ▶ cadena de transmisión
- ▶ cuñas
- ▶ tornillos y tuercas

Se seleccionaron las catarinas y la cadena de transmisión tomando en cuenta el par de transmisión y los diámetros de las flechas y se tomó en cuenta el tipo de aplicación para seleccionar la cadena.

Después de haber realizado el diseño del freno, se calculó la fuerza y carrera con que debía actuar el solenoide. Se seleccionó tomando en cuenta lo anterior, así como voltaje, tipo y magnitud de corriente, y tiempo de respuesta.

Se recalca que en la selección del equipo comercial siempre se consideró que fuera lo más compacto posible, que tuviera el mejor costo y que los factores de calidad y seguridad fueran adecuados.

En el anexo 2 se presenta el paquete de información del diseño del módulo de actuación.

5. Conclusiones

Con el presente trabajo concluye una etapa fundamental de aprendizaje en nuestro desarrollo como ingenieros, para pasar a ser prestadores de servicios en favor de la sociedad que nos formó.

Se pretende dar en la tesis una visión general de una herramienta y técnicas auxiliares de gran utilidad durante el desarrollo profesional de ingenieros diseñadores. Se presenta un instrumento útil para la dirección y ejecución de proyectos así como para la administración de los recursos disponibles en la búsqueda de soluciones óptimas, en el cual se fomenta el trabajo en equipos multidisciplinarios y el buen empleo del tiempo y recursos.

Se enfatiza que el proceso de diseño que se sigue en la ingeniería de diseño es en esencia el mismo desde hace décadas, es decir, para diseñar mediante el empleo de conocimientos se han venido llevado al cabo las mismas etapas presentadas. Lo que ocurre en la actualidad es que el ciclo de diseño se ha acortado y las soluciones que se obtienen se han optimizado gracias al descubrimiento y aplicación de nuevos conocimientos y al auge de la computadora y paquetería para la misma. Basta comparar el proceso propuesto por Asimov, con su multitud de etapas y actividades, con las recientes propuestas de Pahl y Beitz y de W. Rodriguez para corroborar lo anterior. Lo que se presenta en esta tesis es el modo de pensar del hombre para resolver problemas y transmitir soluciones. El tiempo y recursos que se requieren para obtener la funcionalidad adecuada de las soluciones depende en gran medida de la audacia del grupo diseñador y de los medios de comunicación e información a su alcance. Se hace incapié en que el iterar no es regresar sin sentido a etapas anteriores, es lo que permite tomar decisiones con nuevas visiones e información. Finalmente, no debe considerarse el proceso presentado como una serie de etapas sistemáticas, sino como un auxilio con el que hay que interactuar durante la realización de proyectos.

La visión de la potencialidad y utilidad del diseño para la creación de dispositivos, máquinas y herramientas se comenzó a forjar durante la estancia en el Centro de Diseño Mecánico de la FI de UNAM como colaboradores en proyectos. La formación comenzó como prestadores de servicio social, continuó como dibujantes y ayudantes de diseñador, para concluir años después como jefes de proyectos. El CDM nos permitió aplicar y visualizar la utilidad de los conocimientos adquiridos durante los años de estudio en la Facultad de Ingeniería. Se aplicaron en proyectos de diseño de máquinas contratados con la industria tanto privada como pública y con Facultades de la UNAM. En el se concibió la noción de diseño de productos únicos que satisfacen necesidades puntuales así como

la correcta administración del tiempo y recursos disponibles, al participar desde las mesas de dibujo, las mesas de negociación de contratos, el taller, los laboratorios y la ejecución del proyecto mismo.

El proyecto "Módulo de Actuación" es un ejemplo de lo anterior y constituye uno de los esfuerzos realizados en el CDM con el objetivo de formar alumnos para prepararlos para la vida profesional.

Nuestro agradecimiento implícito a nuestros padres por su apoyo y cariño durante los austeros años de estudio, pero plenos de vivencias, encuentros, nuevos conocimientos y compañeros, así como a nuestros amigos por su presencia y oído. Nuestra gratitud final a la Universidad Nacional Autónoma de México y a su Facultad de Ingeniería así como a México por habernos permitido estudiar en sus suelos, comenzando a ser desde hoy dignos portadores de su escudo y sus fundamentos.

6. Bibliografía

6.1. Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño

Ackoff, R. L. y E. V. Finnel. A Guide to Controlling your Corporation's Future, primera edición (Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 1984).

Aguirre, Guillermo. Diseño y Construcción de una Máquina Ensambladora de Botes de Cartón: Metodología de Diseño, tesis de maestría (México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 1984).

Aguirre, Guillermo. Evaluation of Technical Systems at The Design Stage, tesis doctoral (Inglaterra: Departamento de Ingeniería, Universidad de Cambridge, 1990).

Asimov, M. Introducción al Proyecto, quinta edición (México: Ed. Herrero Hnos., 1976).

Baumeister y Marks. Manual del Ingeniero Mecánico, reimpresión (México: Mc Graw-Hill, 1986).

Boothroyd G. y P. Dewhurst. Product Design for Assembly, reimpresión corregida (Estados Unidos: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1991).

Boothroyd Dewhurst, Inc. International Forum on Design for Manufacture and Assembly, conferencia anual (Estados Unidos: Boothroyd Dewhurst, Inc., 1991, 1992).

Camp, R.C. Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance, primera edición (Estados Unidos: ASQC Quality Press, 1989).

Corzo, Miguel Angel. Introducción a la Ingeniería de Proyectos, séptima reimpresión (México: Limusa, 1983).

Dieter, G.E. Engineering Design: A Material and Processing Approach, primera edición (Japón: Mc Graw-Hill, 1983).

Dixon, J.R. Design Engineering: Inventiveness, Analysis, and Decision Making, primera edición (Estados Unidos: Mc Graw-Hill, 1966).

Dominguez A., Norberto, et.al. Apuntes del Problema de Ingeniería, reimpresión (México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 1986).

French, M.J. Conceptual Design for Engineers, segunda edición (Inglaterra: The Pitman Press, Universidad de Lancaster, 1985).

- Glegg, G. L. The Design of Design, primera edición (Inglaterra: Cambridge University Press, 1969).
- Hed, S.R. Manual de Planificación y Control de Proyectos, reimpresión corregida (México: Sven R. Hed, 1981).
- King, B. Better Designs in Half the Time: Implementing QFD Quality Function Deployment in America, tercera edición (Estados Unidos: Goal/QPC, 1989).
- King, T.R. Principals of Value Enginnering, primera edición (Estados Unidos, T.R. King, 1979).
- Krick, E.V. Introducción a la Ingeniería y al Proyecto en Ingeniería, primera edición (México: Ed. Limusa, 1970).
- Lopez Parra, Marcelo. Diseño y Fabricación de una Máquina Automática Formadora y Empapeladora de Tapetes de Mosaicos Venecianos, tesis de maestría (México: Facultad de Ingeniería, UNAM).
- Love, S.F. Planning and Creating Successful Engineered Designs, reimpresión (Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold Co., 1980).
- Munro & Associates, Inc. Design for Manufacture, publicación de compañía consultora (Estados Unidos: Munro & Associates, Inc., 1992).
- Ochoa Rosso, Felipe. Método de los Sistemas, tercera edición (México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 1985).
- Pahl , G. y W. Beitz. Engineering Design, primera edición (Londres: Design Council, 1984).
- Park, R.J. and Associates, Inc. Value Control, edición revisada (Estados Unidos: R.J. Park and Associates, Inc., 1978).
- Ramirez R., Alejandro. Método de Diseño y su Realización, tesis de licenciatura (México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 1984).
- Rodriguez, W. "The art of Design: Steps to Realizing Bright Ideas", Machine News, (Marzo, 1991), 44-45.
- Scharer Sauberli, Ulrich. México: Con Eficacia y Eficiencia hacia la Productividad, conferencia (México: Facultad de Ingeniería, UNAM, 1989).
- Shigley, J.E. Diseño en Ingeniería Mecánica, reimpresión (México: Mc Graw-Hill, 1980).

Software Publishing Corporation. Harvard Project Manager 3.0 Reference Manual, segunda edición (Estados Unidos: Software Publishing Corporation, 1990).

Stoll, H.W. Product Design for Efficient Manufacture, seminario (Estados Unidos: Industrial Technology Institute, 1986).

StorageTek. Design Review Process Workbook, seminario (Estados Unidos: Storage Technology Corporation, 1991).

Temblador Pérez, Ma. del Carmen. Diplomado en Productividad-Calidad: Despliegue de la Función de Calidad, reimpresión, (México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey).

Uman, David B. Planeación y Control de Nuevos Proyectos, primera edición (México: Editora Técnica, S.A., 1971).

Whirlpool Corporation. Design Review Course, seminario (México - F.A.M.A., Monterrey: Whirlpool Corporation, 1991).

Whirlpool Corporation. Program Management System, seminario (Estados Unidos: Whirlpool Corporation, 1991).

Wortman, Leon A. Effective Management for Engineers and Scientists, primera edición (Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 1981).

6.2. Proyecto "Módulo de Actuación"

6.2.1. Libros

Aguirre Esponda, Guillermo. Diseño de Elementos de Máquinas, primera edición (México: Editorial Trillas, 1989).

Angeles Alvarez, J. Análisis y síntesis cinemática de sistemas mecánicos, primera edición (México: Editorial Limusa, S.A., 1978).

Askeland, Donald R. La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, primera edición (México: Mc Graw-Hill, 1987).

Baumeister y Marks. Manual del Ingeniero Mecánico, segunda edición (México: Mc Graw-Hill, 1986).

Beer P. Ferdinand y Johnston E. Russell. Mecánica de Materiales, primera edición (Colombia: Mc Graw-Hill, 1982).

- Beer P. Ferdinand y Johnston E. Russell. Mecánica Vectorial para Ingenieros, quinta edición (México: Mc Graw-Hill, 1990).
- Carlson Harold y Dekker Marcel. Spring: Troubleshooting and failure analysis, primera edición (EUA: New York, 1980).
- Carlson Harold y Dekker Marcel. Spring designer Handbook, primera edición (EUA: New York, 1978).
- Casillas, A.L. Máquinas: Cálculos de Taller, reimpresión (España: Ediciones Máquinas, 1982).
- Dighsmen, E.A. Cinemática de mecanismos, primera edición (México: Editorial Limusa, S.A., 1981).
- Faires, Virgil Morning. Diseño de Elementos de Máquinas, primera reimpresión (España: Montaner y Simón S.A. Editores, 1977).
- Gerling, Heinrich. Alrededor de las Máquinas Herramientas, reimpresión (España: Editorial Reverté, 1981).
- Jensen, C.H. Dibujo y Diseño en Ingeniería, reimpresión (México: Mc Gra-Hill, 1988).
- Polak, Herman W. Máquinas, herramientas y manejo de materiales, primera edición (México: Prentice Hall, 1987).
- Shigley, J. E. Diseño en Ingeniería Mecánica, reimpresión (México: McGraw Hill, 1980).
- Shigley, J.E. y J. J. Uicker, Jr. Teoría de Máquinas y Mecanismos, primera edición (México: Mc Graw-Hill, 1982).
- Willems, Nicolas, et.al. Resistencia de Materiales, primera edición (México: Mc Graw-Hill, 1984).

6.2.2. Catálogos

► Warner Electric

- Ball Bearing Screws - P626
- Wrap Spring clutches and brakes - P619
- Beaver precision ball bearing screws - P885
- Industrial clutch and brake guide - IPT501
- Industrial couplings guide - IPT502
- Electrak linear actuator systems - P786
- AT electric clutches and brakes - P860
- Electric clutches and brakes - P785
- Tension control systems - P771
- Frenos de contravuelta - WRN004

- ▶ Mecánica Falk
 - ▶ Reductores de velocidad de flechas paralelas - 141-110E(8/85)
 - ▶ Reductores de velocidad de flechas colineales y de ángulo recto - 121-110E(10/85)

- ▶ Morse Industrial
 - ▶ Power Transmission Products - PT88

- ▶ FAG
 - ▶ Programa standard FAG - WL141510/2SE (88)

- ▶ SKF
 - ▶ Manual de rodamientos - General

- ▶ Baldor
 - ▶ Motors and drives - 1500C-330(1991)

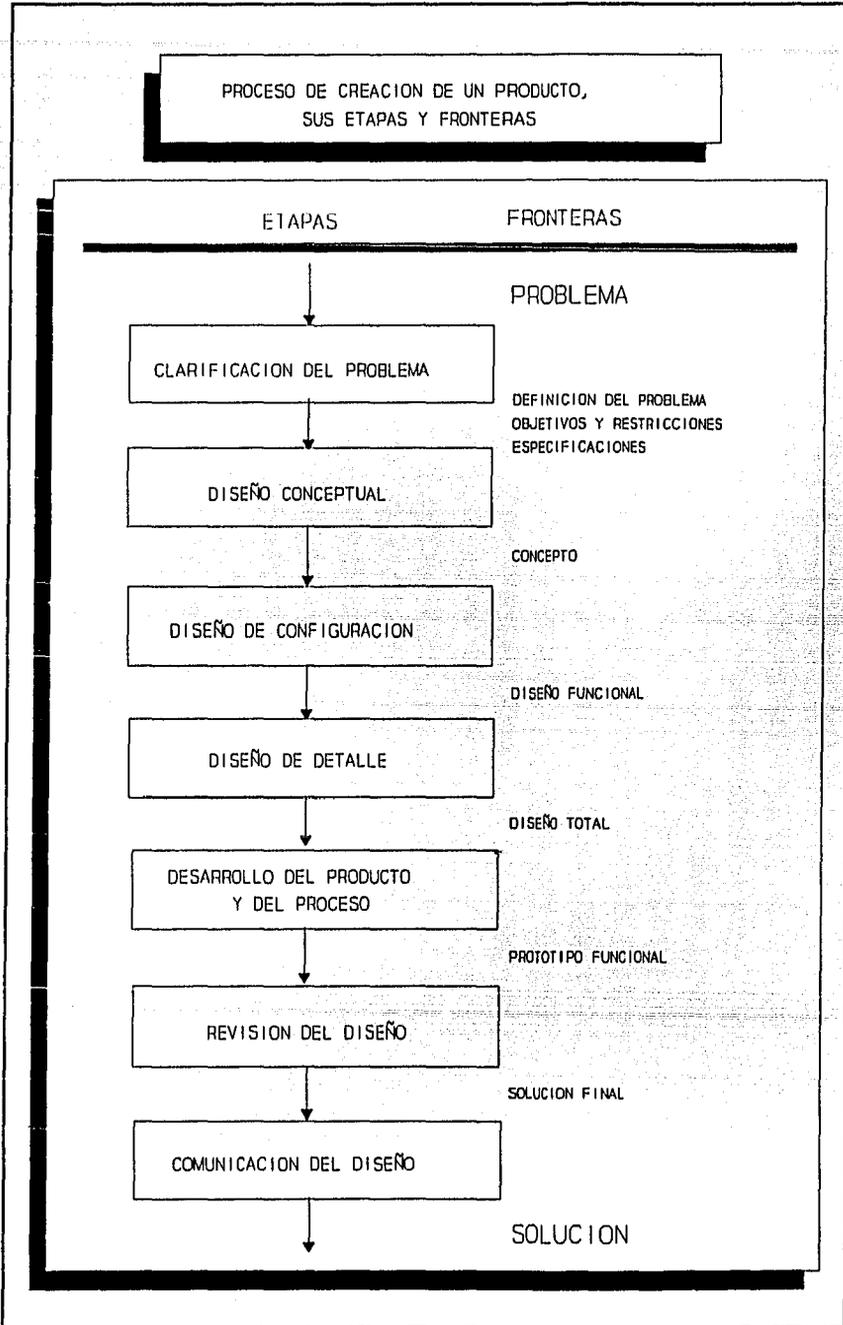
- ▶ General Electric
 - ▶ Industrial strong-box solenoids - CR9500A102(76)

- ▶ Joslyn Power Products
 - ▶ SF6 power fused switches - 2.2
 - ▶ SF6 power fuse typical installation and operation - 2.5
 - ▶ SF6 switches solve 34 KV UG space problem - 9.04
 - ▶ SF6 power fused switches - 2.0
 - ▶ SF6 load break switches - 1.0

- ▶ South Wales Switchgear
 - ▶ Hawkgas 36 36KV outdoor switchgear - M102/84
 - ▶ Comparison of SF6 and vacuum circuit breaker techniques and equipment - M107/85
 - ▶ Oil or SF6 circuit breakers - M105/85
 - ▶ Further developments in SF6 switchgears - M108/85
 - ▶ Hawkgas 12, a rotating arc SF6 circuit breaker - M109/85

Apéndice 1

Proceso de creación de un producto, sus etapas y fronteras



Clarificación del problema

1. *Identificación del problema*
 - a) Reuniones
 - b) Estudios de campo
 - c) Análisis de información
 - d) Elaboración de cuestionarios
 - e) Análisis y síntesis de información
2. *Análisis de necesidades*
 - a) Determinación de necesidades del solicitante
 - b) Determinación de necesidades del usuario
 - c) Determinación de necesidades del diseñador
3. *Manejo de información*
 - a) Ubicación de fuentes de información
 - b) Búsqueda de información
 - c) Análisis y síntesis de información
4. *Definición del problema*
5. *Definición de objetivos y restricciones*
6. *Definición de especificaciones*
7. *Elaboración de plan de trabajo*

Diseño conceptual

1. *Identificación de sistema y subsistemas*
 - a) Análisis del problema
 - b) Detección de las fronteras del sistema
 - c) Detección de las fronteras de los subsistemas
2. *Generación de alternativas*
 - a) Generación de alternativas para solucionar el sistema
 - b) Generación de alternativas para solucionar los subsistemas
3. *Evaluación de alternativas*
 - a) Depuración de alternativas
 - b) Estudios de factibilidad
4. *Selección de alternativas*
 - a) Análisis de alternativas depuradas
Estudios geométricos y físicos
Generación de modelos
Estudios de factibilidad
Análisis de funcionalidad
Análisis de costo
 - b) Selección de alternativa óptima
5. *Establecimiento del concepto*

Diseño de configuración

1. *Estructuración del sistema, subsistemas e interfases*
 - a) Generación de arreglos generales
Concepción de componentes
Concepción de subsistemas
Concepción del sistema
 - b) Arreglo topológico
Estudio de interfases

- c) **Diseño para manufactura**
 - Concepción
 - Técnicas cuantitativas
 - Análisis de costos
 - Elaboración de modelos
- d) **Realización de pruebas**
- 2. **Validación del diseño**
 - a) Elaboración de modelos
 - b) Estudio de modelos
 - c) Verificación del cumplimiento de normas
- 3. **Optimización**

Diseño de detalle

- 1. *Diseño de componentes*
- 2. *Diseño de subsistemas*
- 3. *Diseño de sistema*
- 4. *Elaboración de planos*
- 5. *Elaboración de lista de componentes*
- 6. *Elaboración de reporte de diseño*

Desarrollo del producto y del proceso

- 1. *Fabricación de partes*
- 2. *Compra de partes*
- 3. *Ensamble de componentes*
- 4. *Ensamble de subsistemas*
- 5. *Ensamble de sistema*

Revisión del diseño

- 1. *Realización de pruebas*
- 2. *Detección de fallas*
- 3. *Corrección de fallas*
 - a) Análisis de origen de fallas
 - b) Búsqueda de opciones de corrección
 - c) Evaluación y selección de opciones de corrección
 - d) Corrección de fallas
 - e) Revisión de documentos
- 4. *Manufactura de solución final*
- 5. *Realización de pruebas finales*

Comunicación de la solución

- 1. *Elaboración de presentación escrita*
 - a) Síntesis de la solución
 - Antecedentes
 - Definición del problema
 - Objetivos, restricciones y especificaciones
 - Resultados
 - Síntesis del diseño
 - Memoria de cálculo
 - Criterios de selección y consideraciones
 - b) Elaboración de manuales
 - Manuales de manufactura
 - Manuales de instalación y puesta en marcha

- Manual de operación
- Manual de servicio
- c) **Compilación de planos**
 - Planos de fabricación
 - Planos de ensamble
 - Planos de presentación
- d) **Compilación de listas**
 - Listas de ingeniería
 - Listas de partes manufacturadas
 - Listas de materiales
 - Listas de partes compradas
 - Lista de proveedores
 - Lista de planos
 - Lista de fabricantes
- e) **Factibilidad de patente**
- 2) **Elaboración de presentación oral**
- 3) **Entrega de prototipo funcional**
 - a) Embalaje
 - b) Transporte
 - c) Instalación y puesta en marcha (en su caso)

Apéndice 2

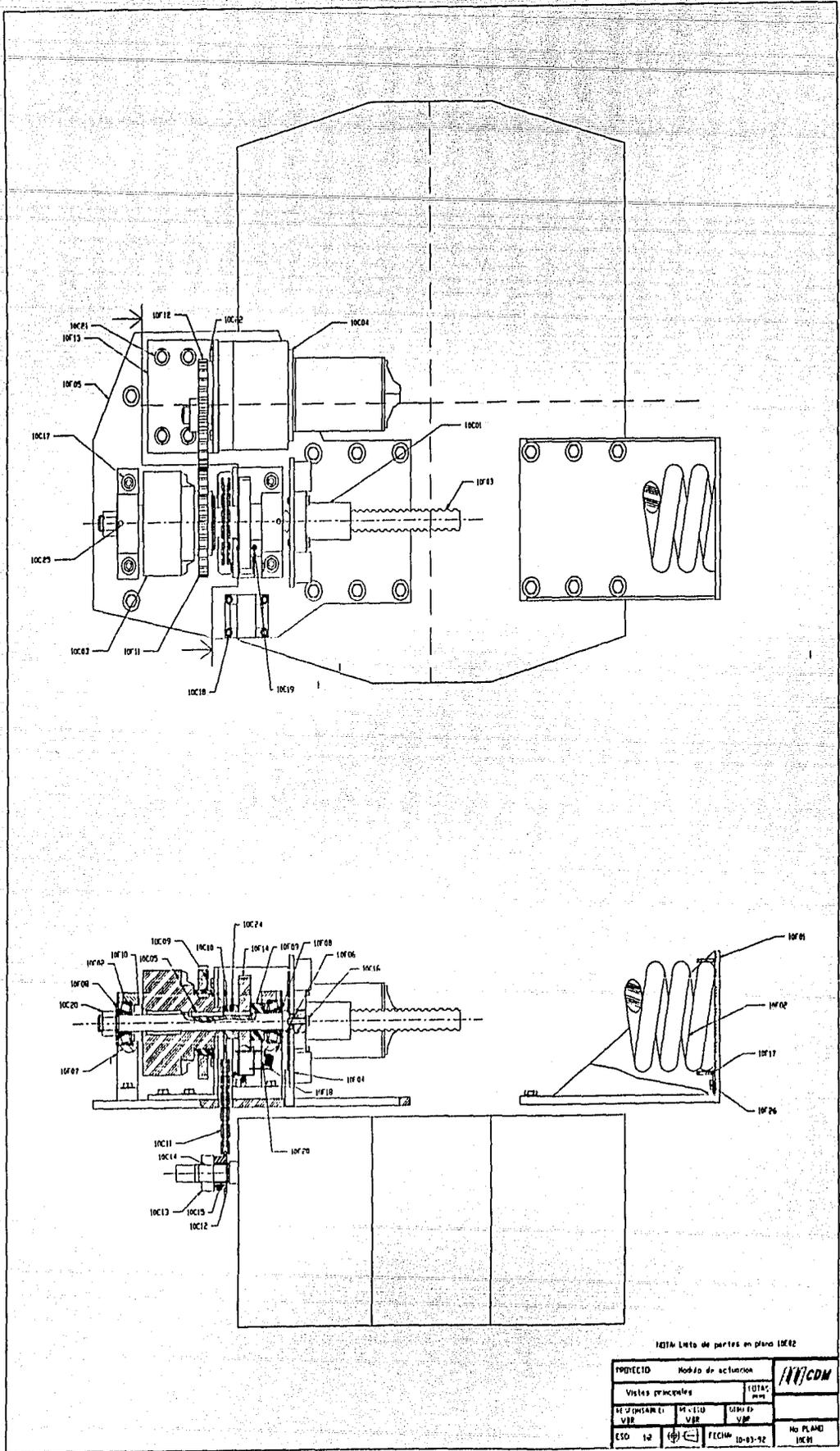
Diseño del "Módulo de Actuación"

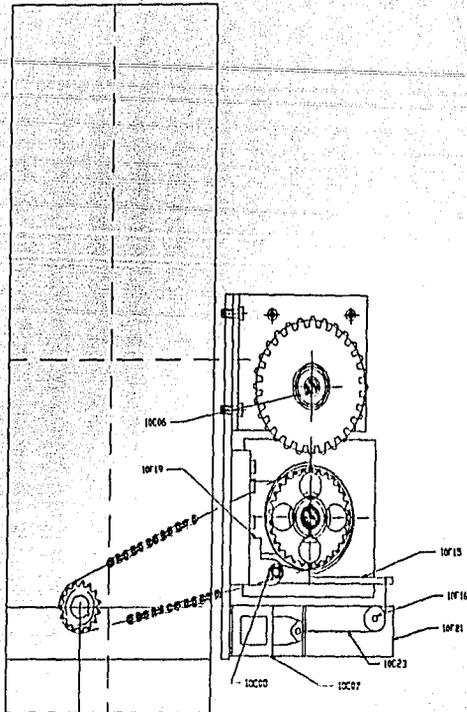
Se presenta el siguiente *paquete de información*:

- 1) Lista de planos
- 2) Planos
- 3) Memoria de cálculo
- 4) Lista de partes manufacturadas
- 5) Lista de partes compradas
- 6) Información comercial de partes compradas
- 7) Lista de proveedores y distribuidores

Lista de planos del "Módulo de Actuación"

No.	Título	Tamaño
10E01	Vistas principales	A1
10E02	Corte	A1
10F01	Placa de apoyo	A2
10F02	Resorte de compresión	A4
10F03	Husillo	A4
10F04	Placa móvil	A4
10F05	Placa de montaje	A4
10F06	Chumacera	A4
10F07	Chumacera	A4
10F08	Separador	A4
10F09	Separador	A4
10F10	Separador	A4
10F11	Engrane de clutch	A4
10F12	Engrane de motor	A4
10F13	Soporte de motor	A4
10F14	Freno	A4
10F15	Trinquete	A4
10F16	Polea	A4
10F17	Angulo	A4
10F18	Resorte de trinquete	A4
10F19	Soporte de trinquete	A4
10F20	Eje de trinquete	A4
10F21	Soporte de polea	A4

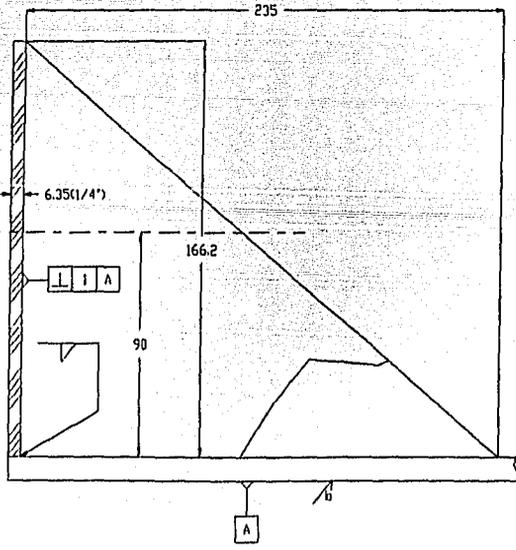
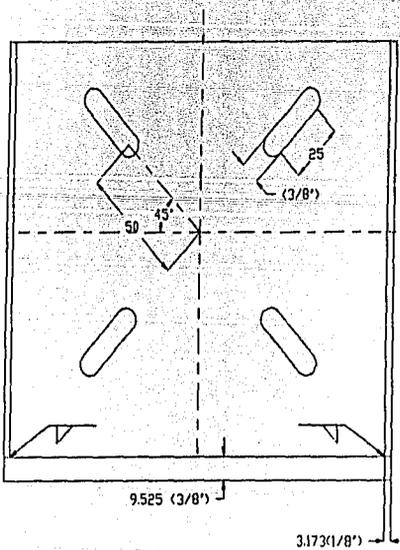
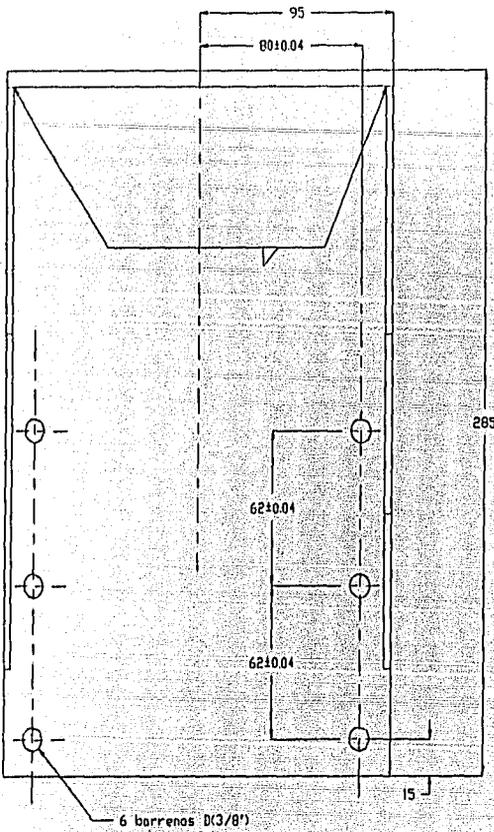




PIA	CAN	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
10F01	1	Pieza de apoyo	Plano 10F01
10F02	1	Resorte de compresion	Plano 10F02
10F03	1	Resorte de compresion	Plano 10F03
10F04	1	Placa movi	Plano 10F04
10F05	1	Placa de montaje	Plano 10F05
10F06	1	Chavetero	Plano 10F06
10F07	1	Chavetero	Plano 10F07
10F08	2	Separador	Plano 10F08
10F09	1	Separador	Plano 10F09
10F10	1	Separador	Plano 10F10
10F11	1	Engrose clutch	Plano 10F11
10F12	1	Engrose motor	Plano 10F12
10F13	1	Soporte motor	Plano 10F13
10F14	1	Freno	Plano 10F14
10F15	1	Trinquete	Plano 10F15
10F16	1	Polea	Plano 10F16
10F17	1	Angulo	Plano 10F17
10F18	1	Resorte de trinquete	Plano 10F18
10F19	1	Soporte de trinquete	Plano 10F19
10F20	1	C/j trinquete	Plano 10F20
10F21	1	Soporte de polea	Plano 10F21
10C01	1	Tuerca para trisillo #1003	Comercial
10C02	2	Batería casaca 55T 10.75V	8-09067X-01953
10C03	1	Clutch Warner ATC-25	Comercial
10C04	1	Motor Baldor Cat66P93W	Comercial
10C05	1	Cuna 3/16"-3/16"-45	Comercial
10C06	1	Cuna 3/16"-3/16"-30	Comercial
10C07	1	Sole. Gen. Elec. Cat C950AH12	Comercial
10C08	2	Seguro "C" exterior 3/8"	Comercial
10C09	1	Cuna 3/16"-3/16"-25	Comercial
10C10	1	Extensometros 0.25mm/100mm/31"	Comercial
10C11	1	Cadena simple Paso 3/8"	Comercial
10C12	1	Extensometros 0.25mm/100mm/31"	Comercial
10C13	1	Clutch Form 5 Half 3/8" Aguja 3/4"	Comercial
10C14	1	Cuna 3/16"-3/16"-33	Comercial
10C15	1	Cuna 1/8"-1/8"-12.7	Comercial
10C16	4	Tor Hex 3/4"-20UNC X1/2 Grad5	Comercial
10C17	6	Tor Hex 3/16"-24UNF X1/2 Grad3	Comercial
10C18	4	Tor Hex 3/8" X1/2"	Comercial
10C19	2	Tor Hex 1/4"-20UNC X5/8"	Comercial
10C20	1	Tuer Hex 2/4"-16UNF Grad5	Comercial
10C21	4	Tor Hex 3/16"-24UNF X3/8 Grad3	Comercial
10C22	4	Tor Hex 1/4"-20UNC X1/2 Grad5	Comercial
10C23	1	Cable de acero B 3/4"	Comercial
10C24	3	Tor Prio 1/4"-20UNC X1/4"	Comercial
10C25	2	Gravera 1/4"	Comercial
10C26	1	Tor Hex 3/4"-20UNC X3/4 Con Tuerc	Comercial

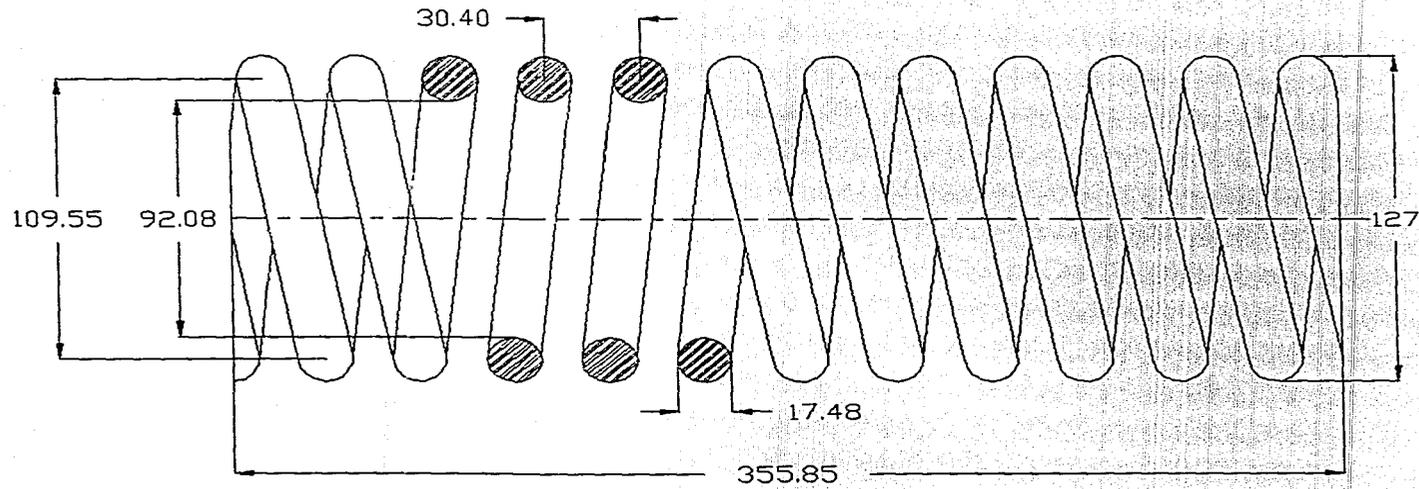
PROYECTO		Módulo de actuación	
EMPIC		FILAS: 14/16	
ESTADISTICA:	48 v/10	DIPLOMA	
ESCALA:	1:1	No. PLANO: 10F02	

ALABRADO			TOLERANCIAS NO INDICADAS				
(Fac. Pugnada en micrometros)			> .02	> .05	> .1	> .20	> .50
MS	AFIN	PICU	.05	.30	.60	1.20	2.50
6.3	16	84	± .01	± .01	± .01	± .02	± .03
			Partes - Chatteras				
			± .01	± .02	± .05	± .1	± .2



Nota 1: Material AISI 1018

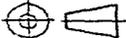
PROYECTO: Módulo de Actuación		CDM
PLACA DE APOYO		
PESQUISADL. VBR	FLVISO	No PIEZA IOFOI
ESC: 1:1.25	FECHA: 20-02-02	No PLANO IOFOI



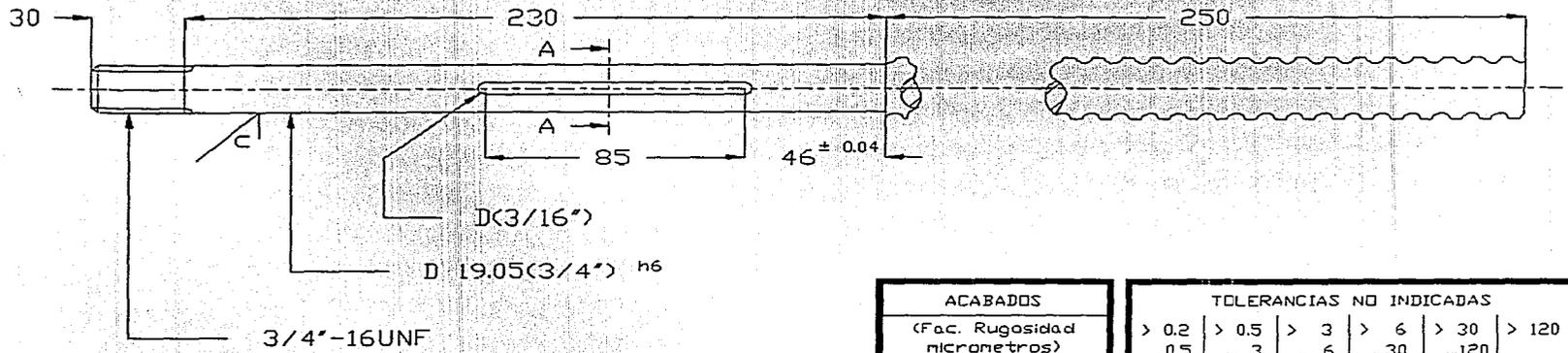
Nota:

12 espiras

Terminales escuadradas y esmeriladas

	PROYECTO: MDAC-9102	SISTEMA: Modulo de Actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Resorte de Compresion	FECHA: 3-07-92	ESCALA: 1:2	No PIEZA: 10F02
	DISEÑO: VBR, DABP, HEGA	DIBUJO: HEGA	MATERIAL: AISI 4140			ACOT: mm

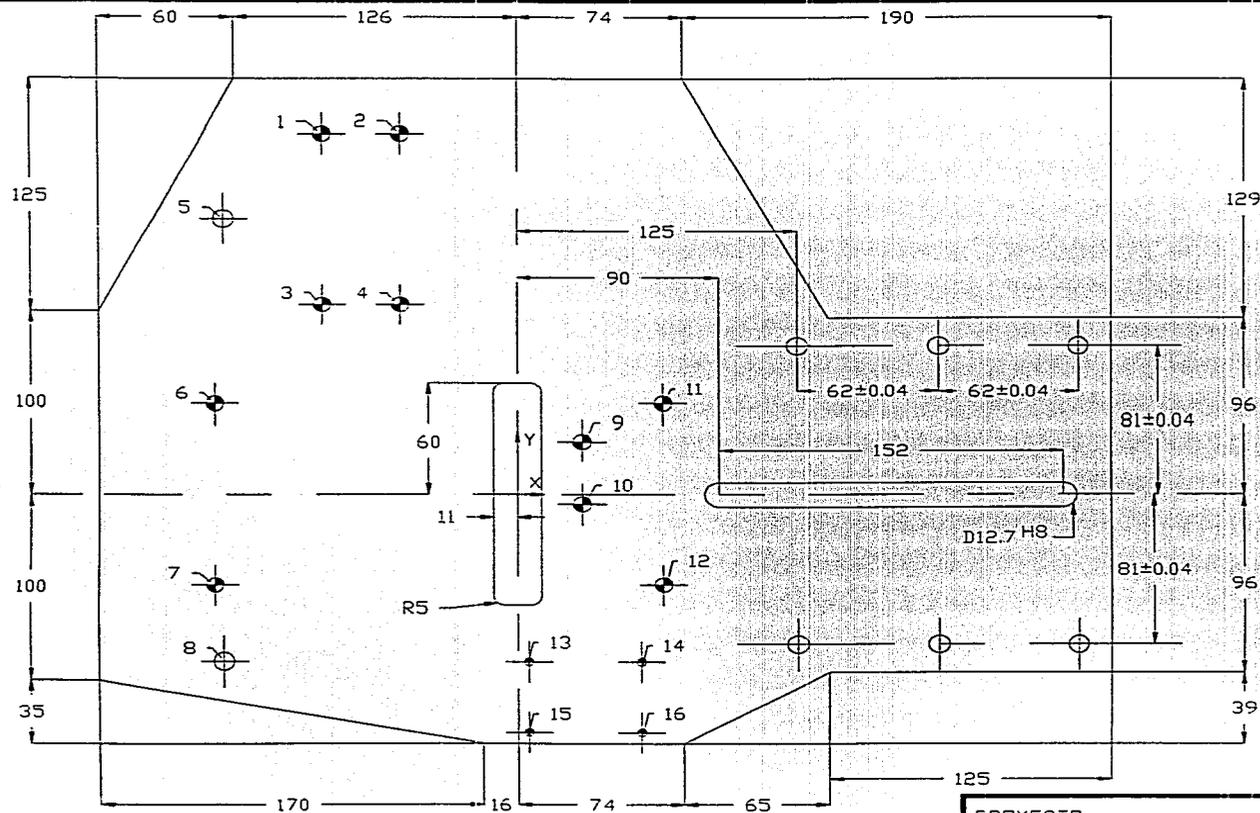
CORTE A-A



ACABADOS		
(Fac. Rugosidad micrometros)		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DES. 6.3	AFIN. 1.6	RECT. 0.4

TOLERANCIAS NO INDICADAS					
> 0.2	> 0.5	> 3	> 6	> 30	> 120
...0.5	... 3	... 6	...30	...120	
± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
Radios - Chafilanes					
± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 4

	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Husillo	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:2	No PIEZA: 10F03
	DISENO VBR	DIBUJO: VBR, OB	MATERIAL: Husillo Warner R-1001 rosca derecha		ACOT: mm	No PLANO: 10F03



TOLERANCIAS NO INDICADAS				
> 0.2	> 0.5	> 3	> 6	> 30
...0.5	... 3	... 6	...30	...120
± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.5
Radios - Chateflanes				
± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2

POSICION	X	Y	TOLENCIA
1	-87.2	195.74	±0.1
2	-52.2	195.74	±0.1
3	-87.2	103.44	±0.1
4	-52.2	103.44	±0.1
5	-131	150	±0.5
6	-135	49	±0.04
7	-135	-49	±0.04
8	-131	-90	±0.5
9	29	30	±0.04
10	29	-5	±0.04
11	65	49	±0.04
12	65	-49	±0.04
13	5	-90.4	±0.1
14	54.8	-90.4	±0.1
15	5	-128.5	±0.1
16	54.8	-128.5	±0.1

Nota 1: Material placa de acero
AISI 1018 3/8"

Nota 2: Rectificar esta cara

- Barreno pasado D(3/8")
- Barrenos roscados 5/16-24UNF
- Barrenos roscados No8-32UNF

PROYECTO: Modulo de Actuacion

Placa de montaje

COTAS:
mm



RESPONSABLE:
VBR

REVISO:

DIBUJO:
VBR

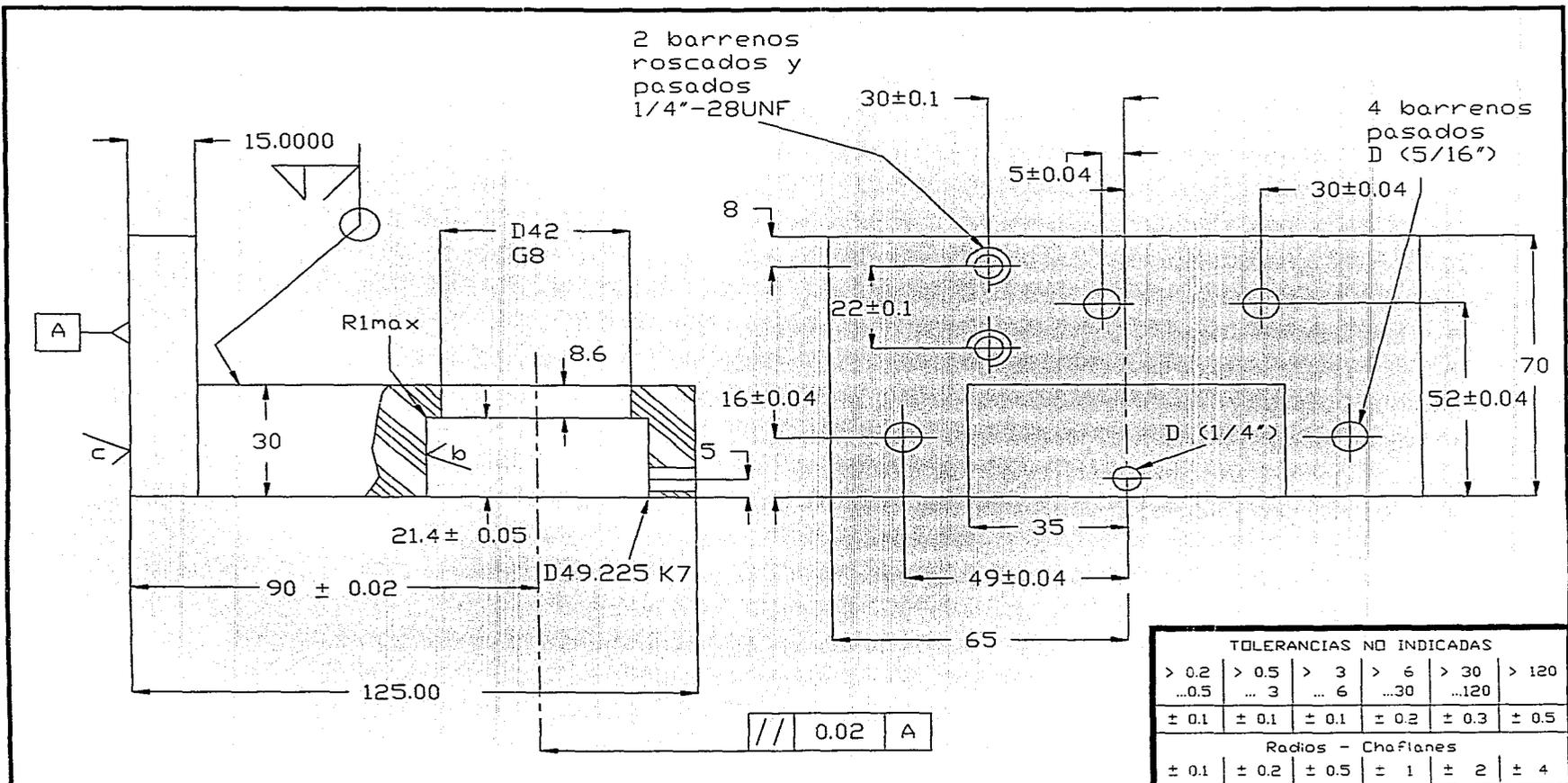
No PIEZA
10F05

ESC: 1:2



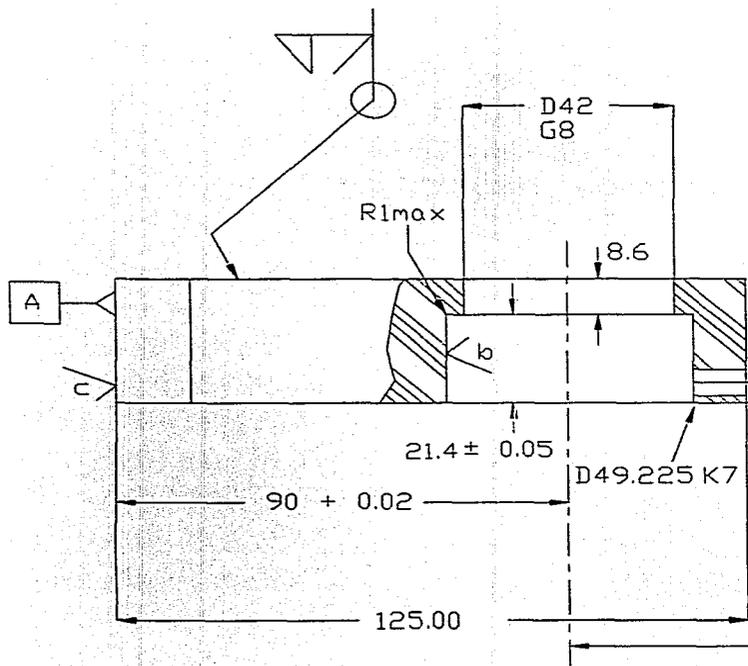
FECHA: 08-03-92

No PLANO
10F05



TOLERANCIAS NO INDICADAS					
> 0.2	> 0.5	> 3	> 6	> 30	> 120
...0.5	... 3	... 6	...30	...120	
± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
Radios - Chiflones					
± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 4

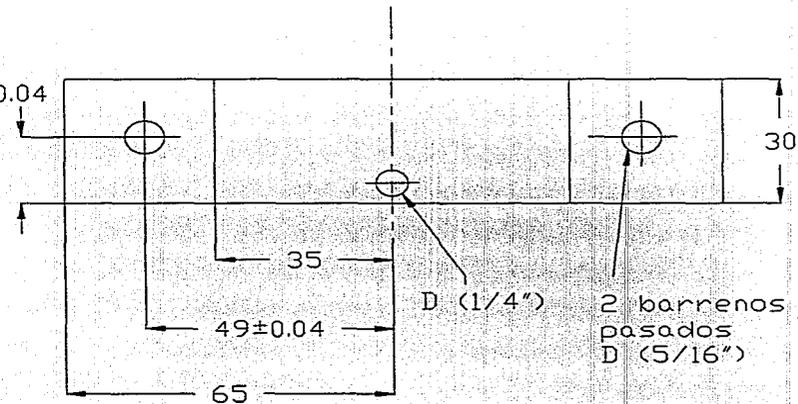
	PROYECTO: MDAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Chumacera	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1.25	No PIEZA: 10F06
	DISEÑO: VBR	DIBUJO: VBR	MATERIAL: AISI 1045		ACOT: mm	No PLANO: 10F06



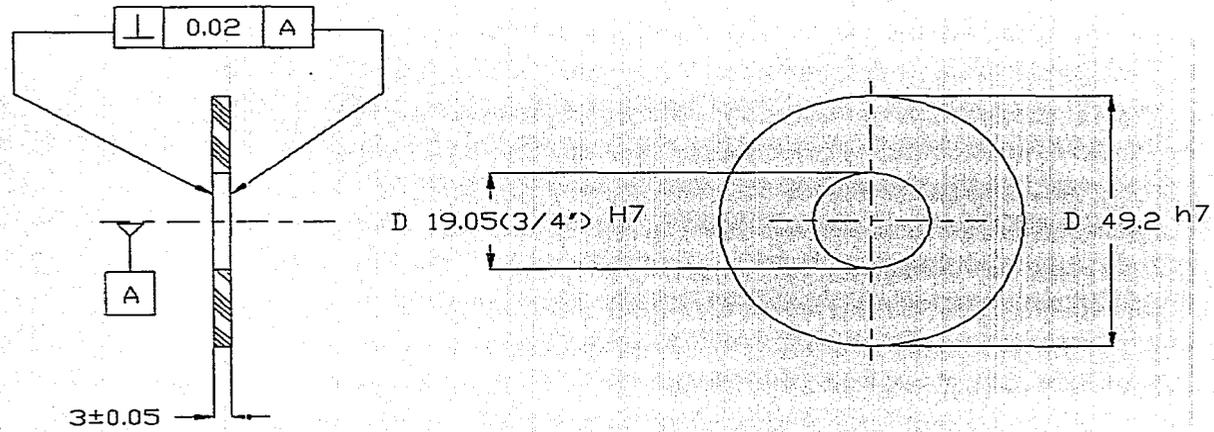
ACABADOS		
(Fac. Rugosidad micrometros)		
a/	b/	c/
DES.	AFIN.	RECT.
6.3	1.6	0.4

TOLERANCIAS NO INDICADAS					
> 0.2	> 0.5	> 3	> 6	> 30	> 120
...0.5	... 3	... 6	...30	...120	
± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
Radios - Chafilanes					
± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 4

// 0.02 A

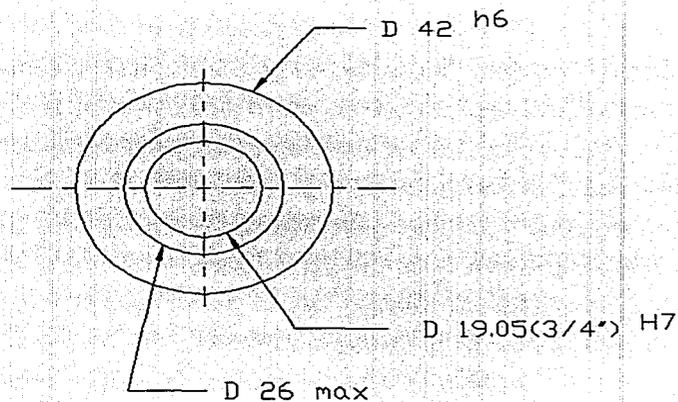
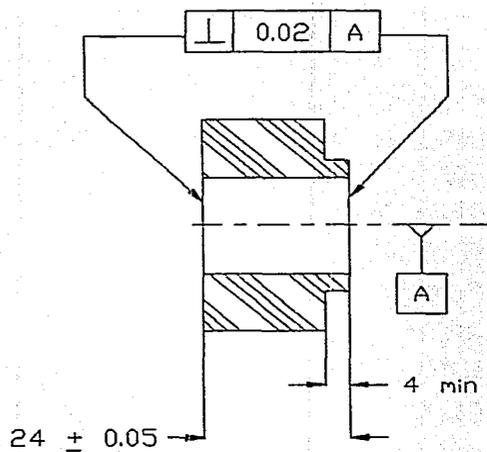


	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Chumacera	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1.25	No PIEZA: 10F07
	DISEÑO VBR	DIBUJO: VBR	MATERIAL: AISI 1045		ACOT: mm	No PLANO: 10F07



ACABADOS		
(Fac. Rugosidad micrometros)		
DES. 6.3	AFIN. 1.6	RECT. 0.4

	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Separador	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F08
	DISEÑO VBR	DIBUJO: VBR	MATERIAL: AISI 1018		ACOT: mm	No PLANO: 10F08



b

ACABADOS		
(Fac. Rugosidad micrometros)		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DES.	AFIN.	RECT.
6.3	1.6	0.4



PROYECTO:
MOAC-9102

SISTEMA:
Modulo de actuacion

NOMBRE DE LA PIEZA:
Separador

FECHA:
20-02-92

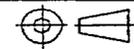
ESCALA:
1:1

No PIEZA:
10F09

DISENO
VBR

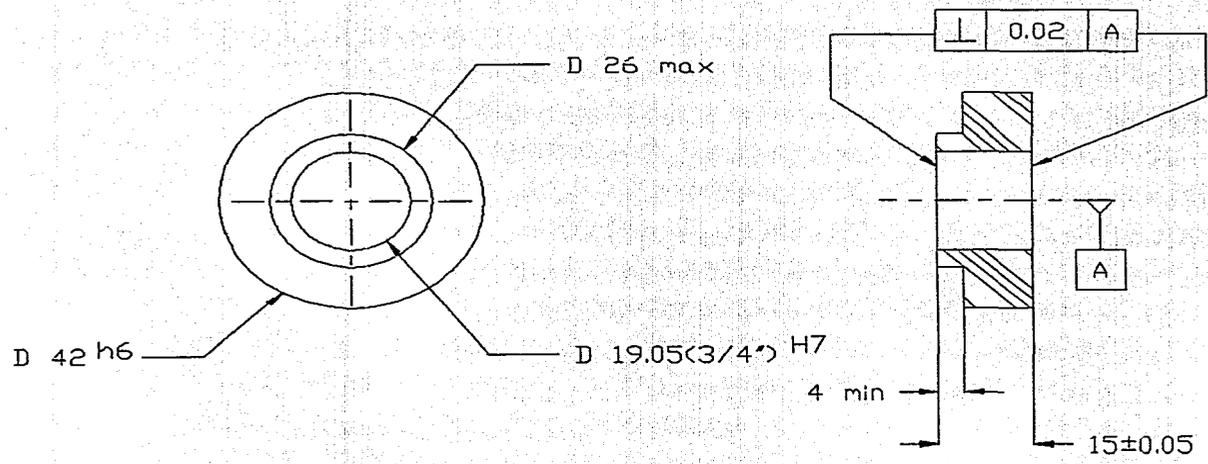
DIBUJO:
VBR

MATERIAL:
AISI 1018



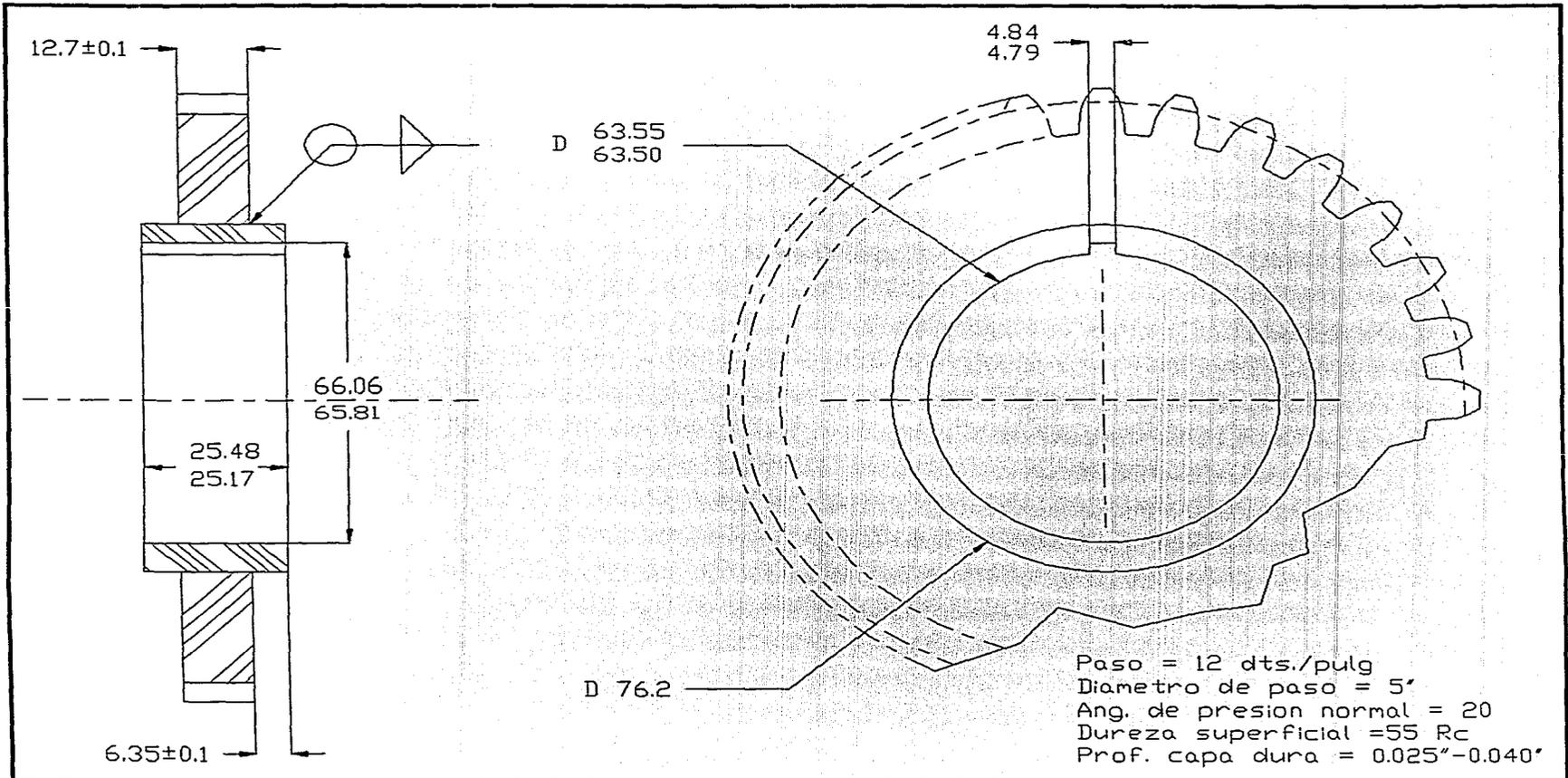
ACOT:
mm

No PLANO:
10F09

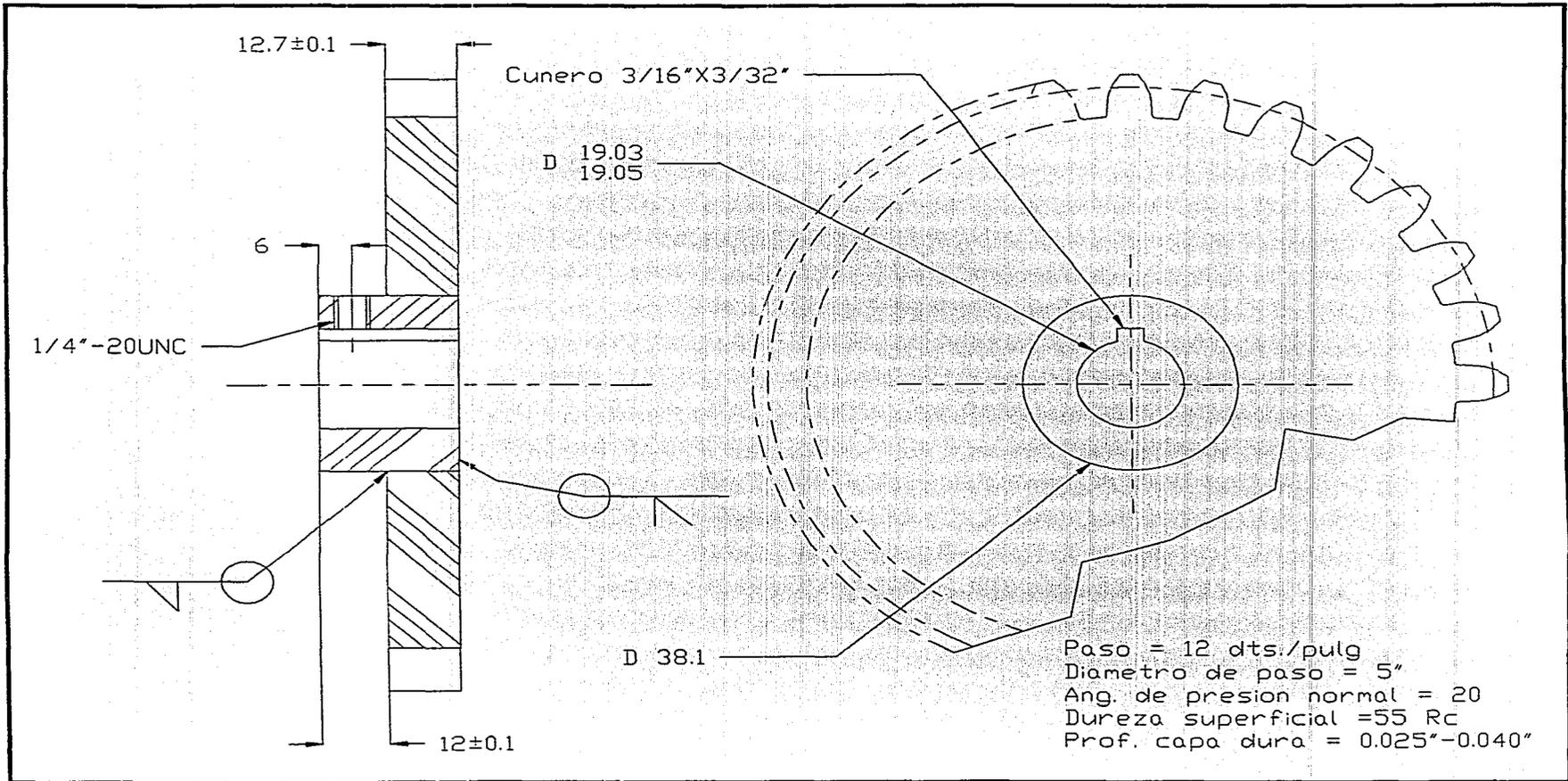


ACABADOS		
(Fac. Rugosidad micrometros)		
\checkmark	\checkmark	\checkmark
DES.	AFIN.	RECT.
6.3	1.6	0.4

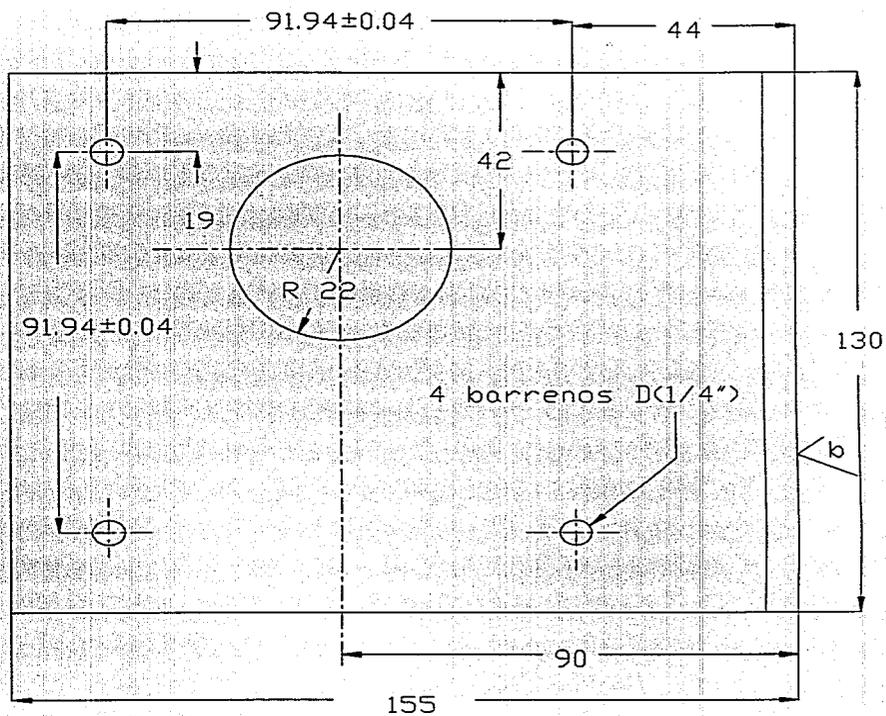
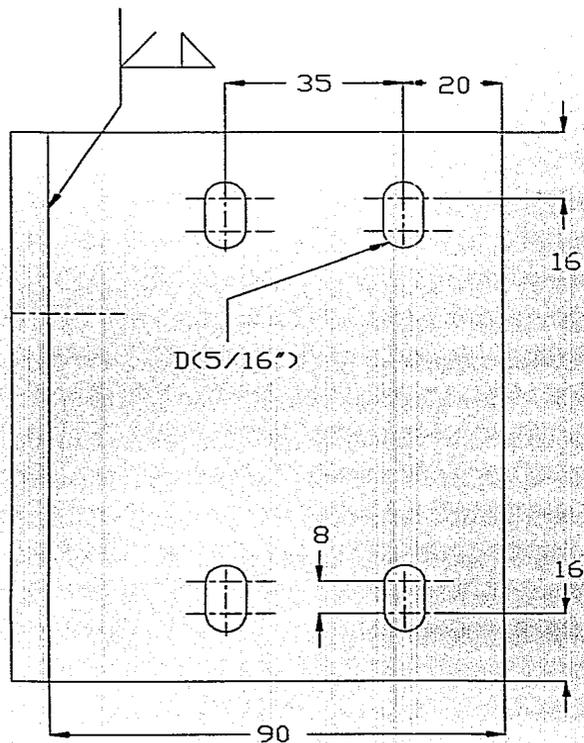
	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Separador	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F10
	DISEÑO: VBR	DIBUJO: VBR	MATERIAL: AISI 1018		ACOT: mm	No PLANO: 10F10

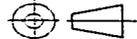


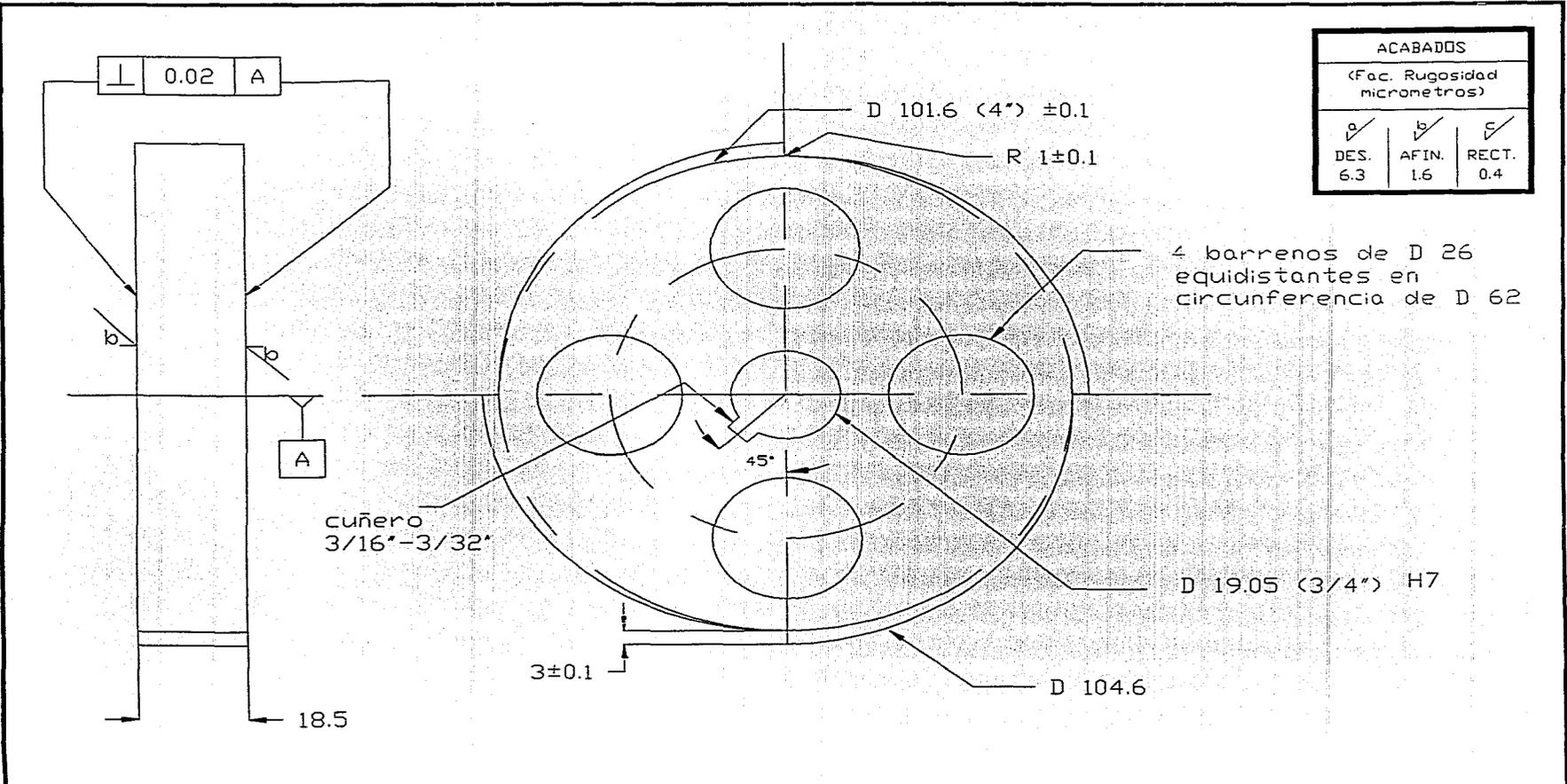
	PROYECTO: MQAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Engrane de clutch	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F11
	DISEÑO VBR	DIBUJO: VBR	MATERIAL: AISI 1045		ACOT: mm	No PLANO: 10F11

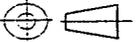


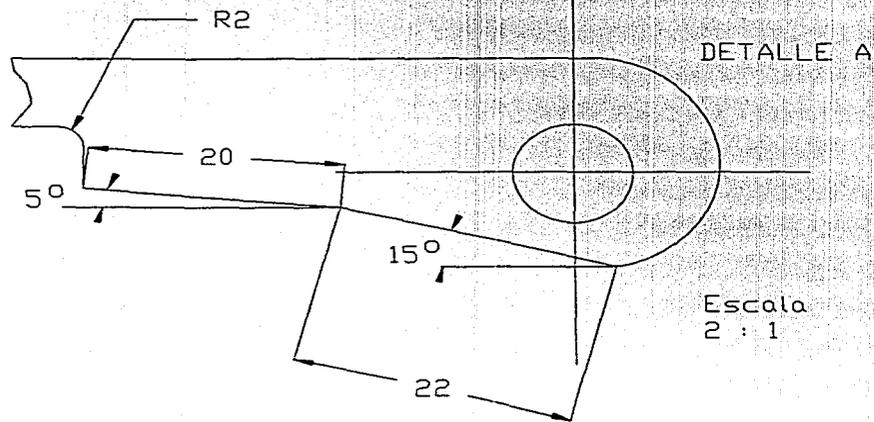
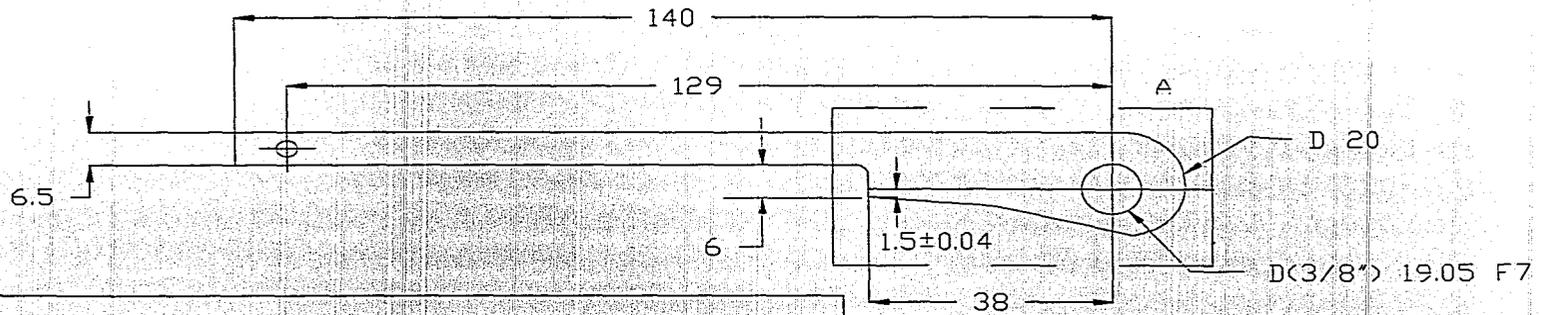
	PROYECTO: MQAC-9102	SISTEMA: MODULO DE ACTUACION	NOMBRE DE LA PIEZA: ENGRANE DE MOTOR	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F12
	DISEÑO: VBR	DIBUJO: VER	MATERIAL: AISI 1045		ACOT: mm	No PLANO: 10F12



	PROYECTO: M0AC-9102		SISTEMA: Modulo de Actuacion		NOMBRE DE LA PIEZA: Soporte de motor		FECHA: 20-02.92		ESCALA: 1:1.25		No PIEZA: 10F13	
	DISEÑO: VBR		DIBUJO: VBR		MATERIAL: AISI 1018				ACOT: mm		No PLANO: 10F13	



	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: Modulo de Actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: FRENO	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F14
	DISEÑO: OABP	DIBUJO: OABP	MATERIAL: AISI 1045		ACOT: mm	No PLANO: 10F14

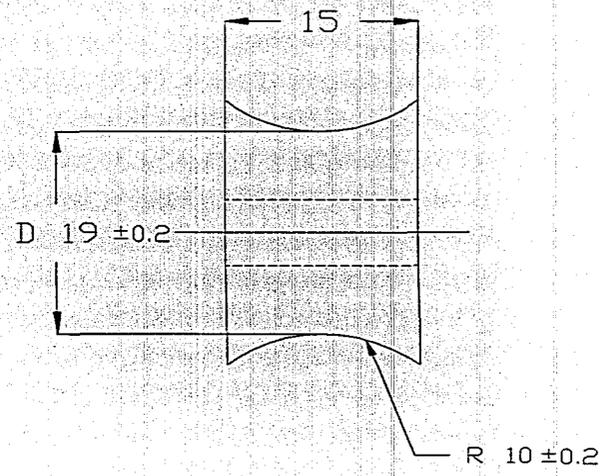
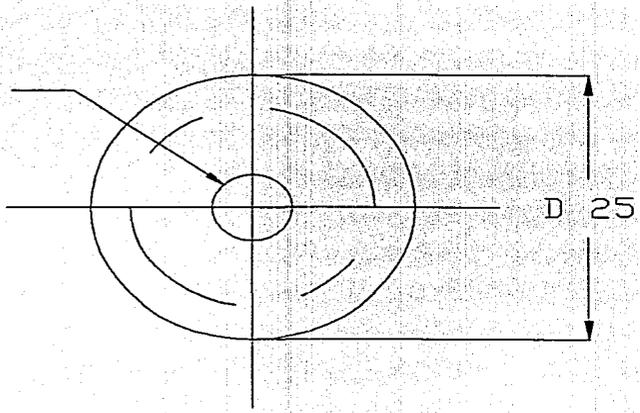


ACABADOS
(Fac. Rugosidad
micrometros)

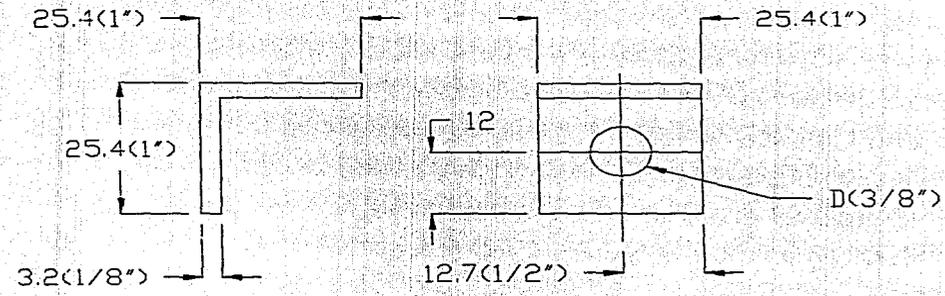
a/	b/	c/
DES. 6.3	AFIN. 1.5	RECT. 0.4

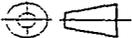
	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: MODULO DE ACTUACION	NOMBRE DE LA PIEZA: TRINQUETE	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F15
	DISEÑO DABP	DIBUJO: DABP	MATERIAL: AISI 1080		ACOT: mm	No PLANO: 10F15

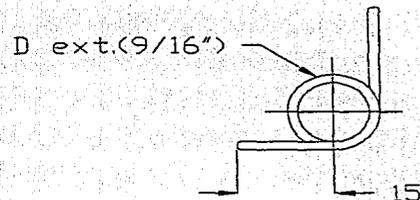
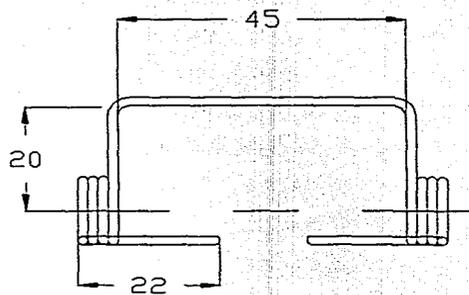
D 6.35 F8



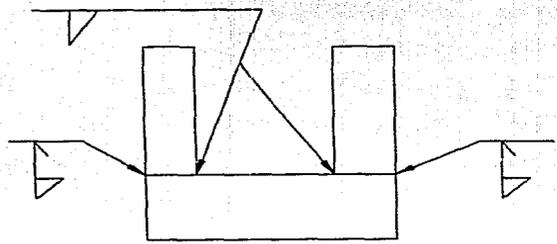
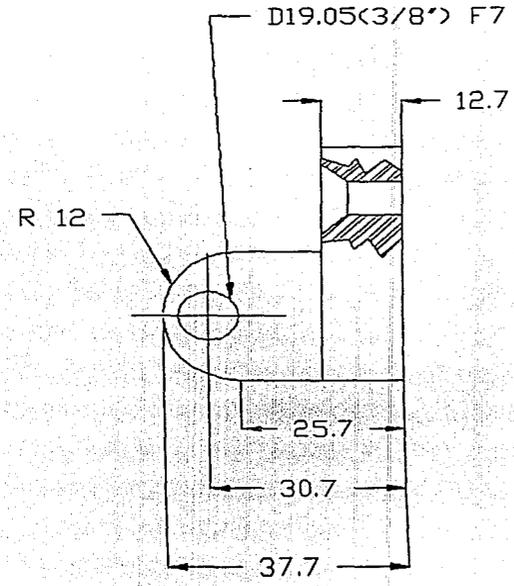
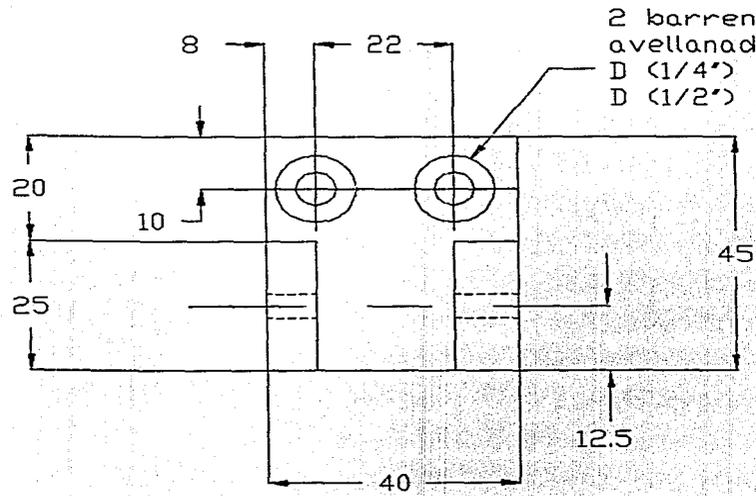
PROYECTO: M0AC-9102	SISTEMA: MODULO DE ACTUACION	NOMBRE DE LA PIEZA: POLEA	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F16
DISENO DABP	DIBUJO: DABP	MATERIAL: AISI 1019		ACOT: mm	No PLANO: 10F16



	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: ANGULO	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1=1	No PIEZA: 10F17
	DISEÑO VER	DIBUJO: VBF,OS,HA	MATERIAL: AISI 1018		ACOT: mm	No PLANO: 10F17



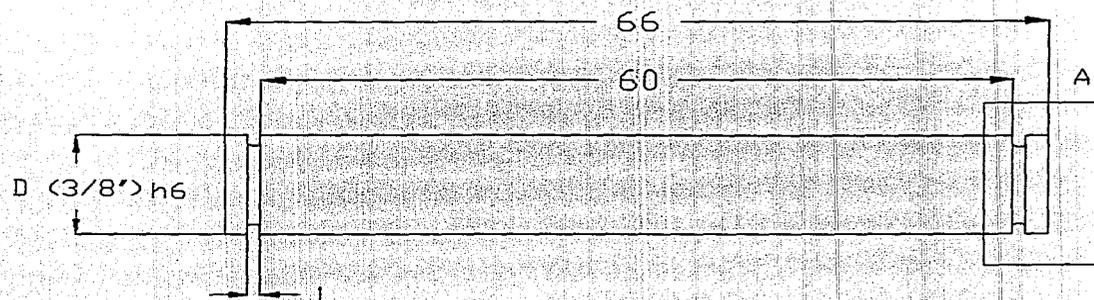
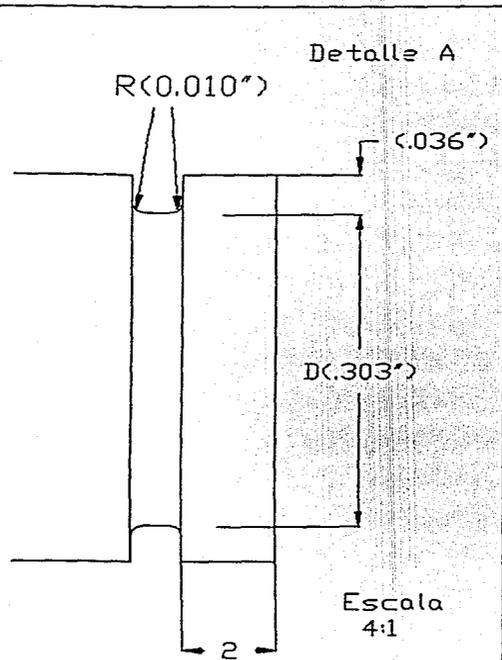
	PROYECTO: MOAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Resorte de trinquete	FECHA: 20-02-92	ESCALA: i:1	No PIEZA: 10F18
	DISEÑO: DABP	DIBUJO: DABP	MATERIAL: Acero templado al aceite (1/16")			ACOT: mm

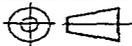


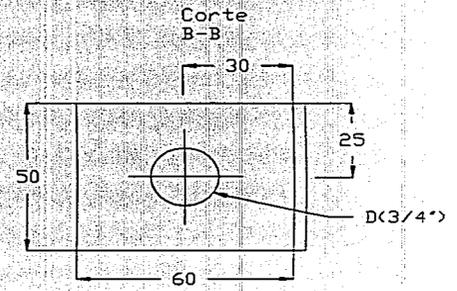
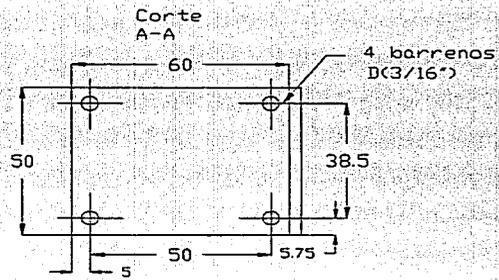
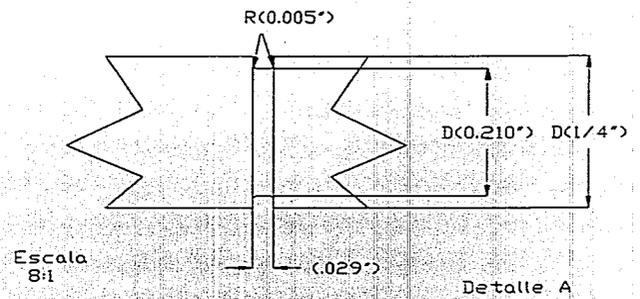
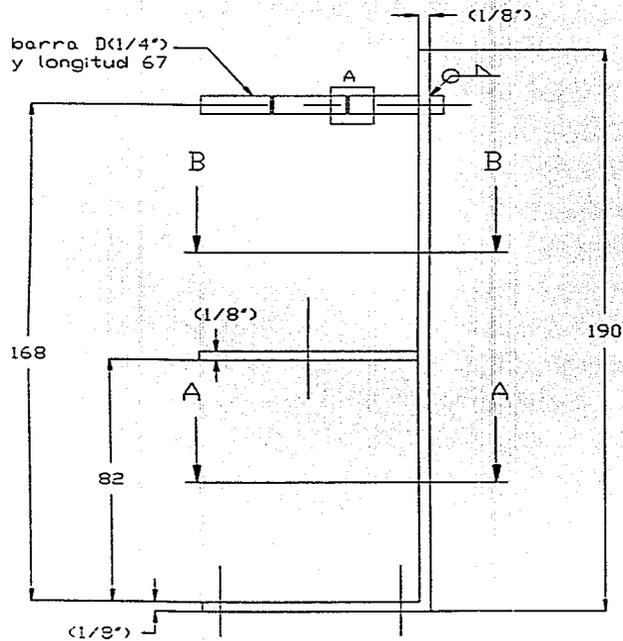
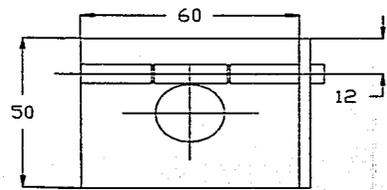
ACABADOS		
(Fac. Rugosidad micrometros)		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DES. 6.3	AFIN. 1.6	RECT. 0.4

b ✓

	PROYECTO: MQAC-9102	SISTEMA: Modulo de Actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Soporte de trinquete	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 1:1	No PIEZA: 10F19
	DISEÑO: DABP	DIBUJO: DABP	MATERIAL: AISI 1045		ACOT: mm	No PLANO: 10F19



	PROYECTO: MQAC-9102	SISTEMA: Modulo de actuacion	NOMBRE DE LA PIEZA: Eje de trinquete	FECHA: 20-02-92	ESCALA: 2:1	No PIEZA: 10F20
	DISEÑO QABP	DIBUJO: QABP	MATERIAL: AISI 1045		ACOT: mm	No PLANO: 10F20



NOTA: Material AISI 1018, placa (1/8")

TOLERANCIAS NO INDICADAS					
> 0.2	> 0.5	> 3	> 6	> 30	> 120
± 0.5	± 3	± 6	± 30	± 120	
± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
Radios - Chiflones					
± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 4

PROYECTO: Modulo de Actuacion		
Soporte de Polea		
RESPONSABLE: OABP	REVISOR: OABP	DIBUJO: OABP
ESC: 1:1.25		FECHA: 20-02-92
		No PIEZA 10F21
		No PLANO 10F21

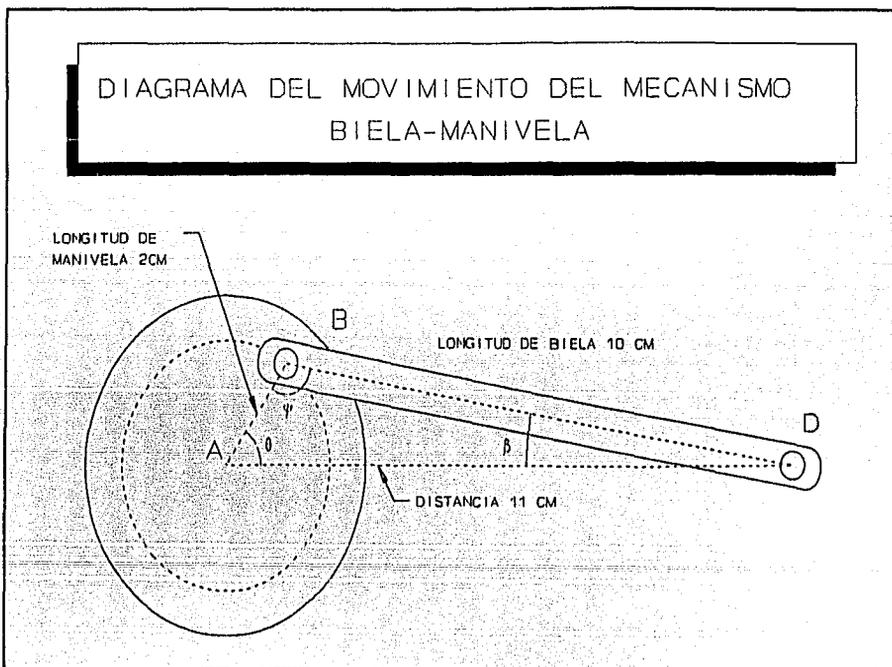
CALCULO DEL PAR NECESARIO QUE DEBE TRANSMITIR EL MODULO DE ACTUACION

Anteriormente se definió que el módulo de actuación transmitiría un par y una velocidad angular al módulo de interrupción.

Para calcular el par se consideró como condición crítica el movimiento de desenchufe o apertura de los contactos del módulo de interrupción, estableciendo que aproximadamente a 1 cm de carrera, partiendo del reposo, se debe alcanzar una velocidad $v=2.5$ m/s.

ANALISIS CINEMATICO

Como las dimensiones del mecanismo actuador del módulo de interrupción (biela y manivela) son de 10 cm y 2 cm, respectivamente, se obtuvieron las relaciones que hacen cumplir esta restricción. En la siguiente figura se observa que :



De teorema de cosenos :

$$2^2 + 11^2 - 2(2)(11)(\cos \theta) = 10^2$$

y despejando $\theta = 55.38^\circ$

De teorema de senos:

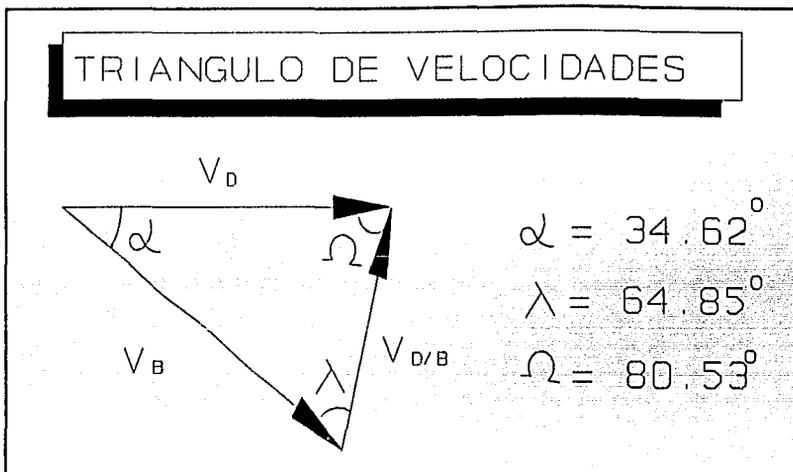
$$\frac{\text{SEN } \theta}{10} = \frac{\text{SEN } \beta}{2} = \frac{\text{SEN } \psi}{11}$$

y despejando:

$$\beta = 9.74^\circ \text{ y } \psi = 114.88^\circ$$

Como se conocen las posiciones críticas de la biela, manivela y corredera, se debe encontrar a que velocidad angular debe de girar la manivela para que en dichas posiciones exista una velocidad lineal en la corredera de 2.5 m/s.

Para lo anterior se forma el siguiente triángulo de velocidades:



Aplicando la ley de senos en el triángulo de velocidades:

$$\frac{V_{D/B}}{\text{SEN } \alpha} = \frac{V_D}{\text{SEN } \lambda} = \frac{V_B}{\text{SEN } \Omega}$$

como $V_D = 2 \text{ m/s}$ se encuentra V_B de la ecuación anterior:

$$V_B = \frac{\text{SEN } 80.52^\circ \times 2.5 \text{ m/s}}{\text{SEN } 64.85^\circ} = 2.724 \text{ m/s}$$

Con lo cual se determina la velocidad angular de la manivela de la siguiente relación:

$$\omega_{AB} = \frac{2.7241 \text{ m/s}}{0.02 \text{ m}} = 136.21 \text{ rad/s} = 1300.66 \text{ RPM}$$

Del análisis se observó que para que la corredera adquiriera los 2.5 m/s cuando su carrera ha sido de aproximadamente 1 cm la manivela debe acelerarse en el intervalo de 0 a 55.38 grados de 0 a 1301 RPM.

Se supuso que las deformaciones en el resorte entre actuaciones son pequeñas, y por lo tanto las variaciones en las fuerzas al inicio y final de un disparo también son pequeñas. Entonces se determinó que el sistema se acelerara en forma uniforme, y por lo tanto se puede hacer uso de las siguientes relaciones para los elementos que poseen movimiento angular:

$$\omega = \omega_o + \alpha t$$

$$\theta = \theta_o + \omega_o t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega^2 = \omega_o^2 + 2\alpha(\theta - \theta_o)$$

Donde:

θ y θ_o = *Angulos final e inicial de posición.*

ω y ω_o = *Velocidades angulares final e inicial.*

α y t = *Aceleración angular y el tiempo.*

Como los elementos parten del reposo, la velocidad angular inicial es cero para los siguientes elementos:

- ▶ Catarina de 15 dientes (10C12)
- ▶ Embrague unidireccional (10C13)
- ▶ Eje motriz del Módulo de Interrupción (MA05)
- ▶ Manivela (MA04)

Se obtuvo su aceleración angular de:

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2(\theta - \theta_o)} = \frac{(136.24 \text{ rad/s})^2}{2(0.9666 \text{ rad})} = 9601.72 \text{ rad/s}^2$$

Se manejó una relación de transmisión de 2 a 1. Ciertos elementos tienen que adquirir la mitad de la velocidad angular en la mitad del desplazamiento angular, por lo que se calculó la aceleración angular de la siguiente forma:

$$\alpha = \frac{(68.12 \text{ rad/s})^2}{2(0.48328 \text{ rad})} = 4800.72 \text{ rad/s}^2$$

Piezas que presentan esta aceleración:

- ▶ Catarina de 30 dientes (10C10)
- ▶ Husillo (10F03)
- ▶ Freno (10F14)

En la siguiente tabla se resume la información de todas los elementos que presentan movimiento angular.

Elemento	Volumen [m ³]	Masa [Kg]	I [Kg.m ²]	α [rad/s ²]	Par [N.m]
Eje motriz	9.12E-5	0.71	3.22E-5	9601.7	0.31
Embrague	2.22E-5	0.50	2.48E-4	9601.7	2.38
Catarina 15	1.78E-5	0.14	4.35E-5	9601.7	0.417
Manivela	5.98E-5	0.46	1.63E-4	9601.7	1.57
Catarina 30	8.13E-5	0.64	7.36E-4	4800.72	3.53
Husillo	2.01E-4	1.57	1.06E-4	4800.72	0.51
Freno	1.17E-4	0.92	5.01E-4	4800.72	2.4

Siguiendo en la suposición de un movimiento uniformemente acelerado y partiendo del reposo se calculó el tiempo en que los elementos alcanzarían la velocidad angular crítica de 136.24 rad/s por la siguiente relación:

$$t = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{136.24}{9601.72} = 0.014189 \text{ seg}$$

Asimismo los elementos que van unidos a la corredera deben alcanzar en este mismo tiempo la velocidad lineal de 2.5 m/s y suponiendo que también se aceleran uniformemente y parten del reposo, se calculó su aceleración de la siguiente forma.

$$a = \frac{V_f - V_i}{t} = \frac{0 - 2.5 \text{ m/s}}{0.014189 \text{ s}} = 176.2 \text{ m/s}^2$$

Piezas que presentan esta aceleración:

- ▶ Barra de actuación (MA01)
- ▶ Extensión (MA02)
- ▶ Vástagos de interruptores (3 de 200 gr. c/uno)
- ▶ Biela (MA02)

Nota: En el movimiento de la biela sólo se consideró su movimiento lineal.

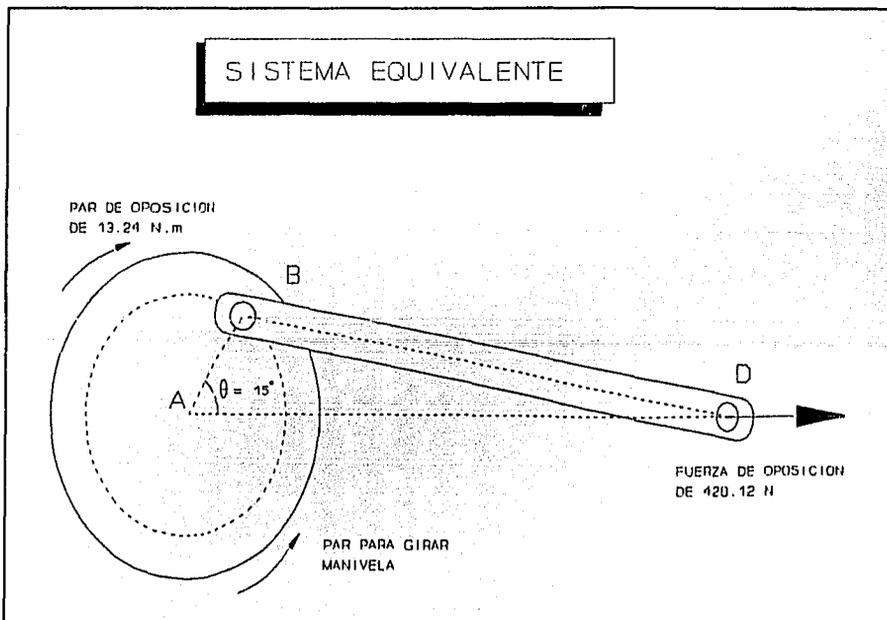
En la siguiente tabla se resume la información de los elementos con movimiento lineal.

Elemento	Volumen [m ³]	Masa [Kg]	Aceleración [m/s ²]	Fuerza [N]
Barra de Actuación	5.98E-5	0.47	176	82.72
Extensión	1.21E-5	0.1	176	17.6
Biela	1.84E-5	0.145	176	25.5

A los pares de oposición mostrados en la primera tabla se sumó el par de oposición de la cadena de transmisión, que fue estimado en 2.12 Nm, con lo cual los pares totales de oposición suman 13.24 Nm.

Las fuerzas de oposición al movimiento de la corredera que se muestran en la segunda tabla suman 125.82 N, y a esto se le tiene que añadir la fuerza de oposición de los vástagos que se pactó con el IIE en 30 Kg, que equivale a 294.3 N; con lo que el total de fuerzas de oposición en la corredera es de 420.12 N.

Con lo que se llegó al siguiente sistema equivalente, en el cual se consideró un ángulo de arranque de la manivela de 15 grados.



De este sistema es posible obtener las siguientes ecuaciones para su solución:

$$420.15 (0.52) - Fx (9.98) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$420.15 (0.5176) + Fx (1.9318) + 1324 - \text{Par} = 0 \dots\dots (2)$$

De la primera ecuación $Fx = 21.89 \text{ N}$ y de la segunda ecuación despejando el $\text{Par} = 1583.76 \text{ N. cm} = 15.83 \text{ N.m} = 139.83 \text{ lb-pulg.}$

CONCLUSIONES

Dado que se hicieron suposiciones, se consideró un factor de seguridad de 1.3. El par calculado debe ser entregado al sistema por el tornillo de bolas aún en el último disparo del resorte, y por tanto se tomó la decisión de sobredimensionar el resorte a una magnitud tal que forzara al tornillo de bolas a entregar un par de 300 lb-pulg en la primera actuación.

DISEÑO DEL RESORTE QUE ALMACENA LA ENERGIA DEL MODULO DE ACTUACION

Con base en consultas con fabricantes de resortes y proveedores de materiales se seleccionó un acero AISI 4140.

Características del acero AISI 4140:

- S_y - Resistencia a la fluencia
= 142 Kpsi
- S_{sy} - Resistencia de fluencia a la tensión
= $0.577 * 142 \text{ kpsi} = 81934 \text{ psi}$

Se requiere que el tornillo de bolas proporcione un par de 300 lb.pulg. De acuerdo al catálogo de proveedores de tornillos de bolas recirculantes se tiene la siguiente relación, con la cual se determinó la fuerza que tiene que brindar el resorte.

$$P = \frac{T}{0.143 \times L}$$

Donde :

- T - Par de diseño para el resorte (300 lb-pulg)
- P - Fuerza
- L - Paso del tornillo (pulg/rev)

Sustituyendo datos:

$$P = \frac{300 \text{ lb-pulg}}{0.143 \times 1 \text{ pulg/rev}} = 2097.9 \text{ lb}$$

Proponiendo un diámetro medio del resorte $D = 5$ pulg y de teoría de resortes:

Donde:

- d - Diámetro de alambre
- P - Fuerza ejercida por el resorte
- D - Diámetro propuesto
- S_{sy} - Resistencia de fluencia a la torsión

$$d = \sqrt[3]{2.55 \times P \times \frac{D}{S}}$$

De lo que resulta: $d = 0.687$ pulg

Aproximando a diámetro comercial (d_c):

$$d_c = 11/16 \text{ pulg} = 0.688 \text{ pulg}$$

Obteniendo el diámetro medio (D_m):

$$D_m = 5 - 0.688 = 4.313 \text{ pulg}$$

De donde el diámetro interior (Dint):

$$D_{int} = 4.313 - 0.688 = 3.625 \text{ pulg}$$

Por lo que el esfuerzo en el material se calcula de:

$$S = \frac{P \times D_m}{0.393 \times d_c^3}$$

Donde :

- S_s - Resistencia de fluencia a torsión del resorte
- F - Fuerza
- D_m - Diámetro medio
- d_c - Diámetro comercial

sustituyendo:

$$S_s = \frac{2097.9 \times 4.313}{0.393 \times 0.688^3} = 70697.9 \text{ lb/pulg}^2$$

De teoría de resortes el número de espiras se define como:

$$N = \frac{G d_c F}{\pi S D_m^2}$$

Donde:

- G - Módulo de elasticidad del material
- d_c - Diámetro comercial
- F - Deflexión
- S_s - Resistencia de fluencia a la torsión del resorte
- D_m - Diámetro medio

Sustituyendo y suponiendo que el resorte se flexionará 5 pulg al flexionarlo totalmente:

$$N = \frac{11.2 (10)^6 \times 0.688 \times 5}{\pi \times 70697.9 \times 4.313^2} = 9.325 \text{ espiras}$$

Como el resorte tendrá terminales escuadradas y esmeriladas el número total de espiras es:

$$N_t = 10 + 2 = 12 \text{ espiras}$$

Longitud sólida:

$$L_s = N_t (d_c) = 12 (0.688) = 8.256 \text{ pulg}$$

Para obtener la constante del resorte:

$$C = \frac{D}{d_c} = \frac{4.313}{0.688} = 6.269$$

La fuerza máxima:

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C} = 1 + \frac{0.5}{6.269} = 1.080$$

$$F_{\max} = \frac{S \pi d^3}{8 K_s D}$$

Sustituyendo:

$$F_{\max} = \frac{81934 \times \pi \times 0.688^3}{8 \times 1.080 \times 4.313} = 2249.5 \text{ lb}$$

El módulo del resorte se obtiene de:

$$K = \frac{d^4 G}{8 D^3 N}$$

Sustituyendo:

$$K = \frac{0.688^4 \times 11.2E10^6}{8 \times 4.313^3 \times 10} = 390.97 \text{ lb/pulg}$$

La deflexión máxima del resorte:

$$Y = \frac{F_{\max}}{K} = \frac{2249.5}{390.97} = 5.754 \text{ pulg}$$

Longitud total del resorte:

$$FL = Y + LS = 5.754 + 8.256 = 14.01 \text{ pulg}$$

El paso del resorte:

$$\text{Paso} = \frac{FL - 3d}{N} = \frac{14.01 - 3(0.688)}{10} = 1.197 \text{ pulg}$$

CALCULO DE TRANSMISION DE ENGRANES

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

La transmisión de engranes proporcionará el par necesario para cargar al resorte. Para asegurar la durabilidad y resistencia de los engranes, estos se diseñaron para conducir el par máximo que puede manejar el motorreductor (componente 10C04), el cual es:

$$T_H = 325 \text{ lb-pulg.}$$

La velocidad angular que proporciona el motorreductor es:

$$n_H = 5.6 \text{ rpm.}$$

Por otro lado, puesto que no se necesita variar la velocidad angular, ni el par, y por cuestiones geométricas, se estableció el diámetro de paso de los engranes $D_p = 5$ pulg, un ángulo de presión de 20° , y un paso $P = 12$ dientes / pulg.

CALCULO DEL ESPESOR DE LOS ENGRANES

De teoría de engranes, el número de dientes N es:

$$N = D_p \times P \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} N - \text{Número de dientes} \\ D_p - \text{Diámetro de paso} \\ P - \text{Paso} \end{array}$$

Sustituyendo datos se calcula que $N = 60$ dientes.

La ecuación de esfuerzos por flexión en los dientes es, según Lewis:

$$\sigma = \frac{W_t P}{F Y}$$

Donde

- σ - Esfuerzo normal
- W_t - Carga tangencial sobre dientes
- F - Ancho de dientes
- Y - Factor de forma de Lewis

A su vez se tiene:

$$W_t = \frac{2 T_H}{D_p}$$

- Donde T_H - Par a transmitir
 D_p - Diámetro de paso del engrane

Sustituyendo valores se obtiene: $W_t = 130 \text{ lb}$

El factor de forma de Lewis obtenido de tablas con los datos que se tienen es de 0.245.

Con la información anterior, considerando como material un hierro colado gris 20 ASTM ($\sigma = 10$ Kpsi) y tomando en cuenta un factor de seguridad por choques $FS = 3$

$$F = \frac{W_t P}{FS \sigma Y} = \frac{130 \times 12}{3(10E10^3) \times 0.245} = 0.21 \text{ pulg}$$

Por cuestiones geométricas se consideró el espesor final del diente $F = 0.5$ pulg.

No se consideraron efectos dinámicos por las bajas revoluciones que se manejan.

Lista de partes manufacturadas del "Módulo de Actuación"

No. de pieza	Cantidad	Nombre	Material	Fabricante	País	No. de Plano
10F01	1	Placa de apoyo	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F01
10F02	1	Resorte de compresión	Acero AISI 4140	Taller IIE	México	10F02
10F03	1	Husillo	Acero con tratamiento térmico	Taller IIE	México	10F03
10F04	1	Placa móvil	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F04
10F05	1	Placa de montaje	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F05
10F06	1	Chumacera	Acero AISI 1045	Taller IIE	México	10F06
10F07	1	Chumacera	Acero AISI 1045	Taller IIE	México	10F07
10F08	2	Separador	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F08
10F09	1	Separador	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F09
10F10	1	Separador	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F10
10F11	1	Engrane de clutch	Acero AISI 1045	Taller IIE	México	10F11
10F12	1	Engrane de motor	Acero AISI 1045	Taller IIE	México	10F12
10F13	1	Soporte motor	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F13
10F14	1	Freno	Acero AISI 1045	Taller IIE	México	10F14
10F15	1	Trinquete	Acero AISI 1080	Taller IIE	México	10F15
10F16	1	Polea	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F16
10F17	1	Angulo	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F17
10F18	1	Resorte de trinquete	Acero templado al aceite	Taller IIE	México	10F18
1019	1	Soporte de trinquete	Acero AISI 1045	Taller IIE	México	10F19

10F20	1	Eje de trinquete	Acero AISI 1045	Taller IIE	México	10F20
10F21	1	Soporte de polea	Acero AISI 1018	Taller IIE	México	10F21

Lista de partes compradas del "Módulo de Actuación"

No. de pieza	Cantidad	Nombre	Proveedor	País
10C01	1	Tornillo de bolas R1001	Warner Electric	EUA
10C02	2	Balero cónico K-09067/K-09195	SKF	EUA
10C03	1	Clutch ATC-25	Warner Electric	EUA
10C04	1	Motorreductor Cat.GCP9302 97-PSL0	Baldor	EUA
10C05	1	Cuña 3/16"-3/16"-45	Ferretería	México
10C06	1	Cuña 3/16"-3/16"-30	Ferretería	México
10C07	1	Solenoides CAT. CRP9500A102	BLIT, S.A.	EUA
10C08	2	Seguro "E" exterior 3/8"	Ferretería	EUA
10C09	1	Cuña 3/16"-3/16"-35	Ferretería	México
10C10	1	Catarina; paso 3/8" 30 dientes; agujero 3/4"	Cadenas y Transmisiones S.A.	México
10C11	1	Cadena simple; paso 3/8"	Cadenas y Transmisiones S.A.	México
10C12	1	Catarina; paso 3/8" 15 dientes; agujero 7/8"	Cadenas y Transmisiones S.A.	México
10C13	1	Clutch "form sprag"	Warner Electric	EUA
10C14	1	Cuña 3/16"-3/16"-33	Ferretería	México
10C15	1	Cuña 1/8"-1/8"-12.7	Ferretería	México
10C16	4	Tornillos hexagonales 1/4" 20 UNC x 1"-grado 5	Casa del Tornillo	México
10C17	6	Tornillos hexagonales 5/16" 24 UNF x 1"-grado 5	Casa del Tornillo	México

10C18	4	Tornillos hexagonales No. 8 x 1/2"	Casa del Tornillo	México
10C19	2	Tornillos planos 1/4" 28 UNF x 5/8" - grado 5	Casa del Tornillo	México
10C20	1	Tuerca hexagonal 3/4" 16 UNF - grado 5	Casa del Tornillo	México
10C21	4	Tornillos hexagonales 5/16" 24 UNF x 5/8" - grado 5	Casa del Tornillo	México
10C22	4	Tornillos hexagonales 1/4" 28 UNF x 1/2" - grado 5	Servicables, S.A. de C.V.	México
10C23	1	Cable de acero D 3/64	Casa del Tornillo	México
10C24	3	Tornillo prisionero 1/4" 20 UNC x 1/4"	Casa del Tornillo	México
10C25	2	Gracera 1/4"	Casa del Tornillo	México
10C26	4	Tornillos hexagonales 1/4" 20 UNC x 3/4" c/tuerca	Casa del Tornillo	México

PARAMETROS CONSIDERADOS PARA LA SELECCION DE EQUIPO COMERCIAL DEL MODULO DE ACTUACION

TORNILLO DE BOLAS RECIRCULANTES

En el catálogo de Warner "Ball Bearing Screws" se apunta que debido a las altas eficiencias (90%) inherentes al diseño de estos productos, es posible actuar el tornillo de dos maneras:

Una es proporcionando un par al tornillo y obtener una fuerza lineal en la tuerca y la segunda, cuya aplicación es la que se utiliza en el proyecto, consiste en proporcionar una fuerza en la tuerca y obtener un par en el tornillo.

Cuando la segunda aplicación es requerida, los fabricantes de Warner recomiendan que el tornillo seleccionado debe de tener un paso al menos de un tercio el diámetro de éste y el caso óptimo es cuando ambos son iguales. Considerando el caso óptimo y tomando en cuenta el par transmitido por el tornillo, de 300 lb-pulg, así como las dimensiones necesarias para poder maquinarse y poder contener otras piezas, se seleccionó el tornillo R-1001 de Warner Electric, cuyas especificaciones se muestran en el anexo de catálogos.

Posteriormente se verificó con la teoría del catálogo que el tornillo operaría sin superar los límites de seguridad en el aspecto de pandeo por cargas, velocidades críticas, etcétera.

MOTORREDUCTOR

Para la selección del motorreductor se tomaron básicamente en cuenta el torque y las revoluciones a la salida de éste. Las revoluciones a la salida afectaban el tiempo de cargado del módulo. Se contempló que podían estar en un rango de 4 a 10 RPM, por lo cual el torque definitivamente tenía que ser un poco superior a los 300 lb-pulg. En la decisión final se consideraron las dimensiones y los costos. El motorreductor seleccionado fue el GCP9302 de marca Baldor, cuyas especificaciones se proporcionan en el anexo de catálogos.

CLUTCH ELECTRICO

Para seleccionar este tipo de clutches es necesario conocer la potencia y las RPM que se desea transmitir o el par transmitido y las RPM. El producto de Warner electric ATC-25, el de menor capacidad en su tipo, cumplía ampliamente con los requerimientos. Para ordenar su compra solo se añadieron las dimensiones de las flechas. Las especificaciones se muestran en el anexo de catálogos.

EMBRAGUE UNIDIRECCIONAL

Se seleccionó en base al torque que va a transmitir así como las RPM, tomando en consideración un factor de seguridad que depende del tipo de servicio a que se someterá el embrague. Para ordenarlo se deben especificar los diámetros de flecha y cuñeros y asimismo asegurarse que éstos resistan el par transmitido. También se debe especificar en la dirección de rotación. Se seleccionó el embrague unidireccional FSR3 de Warner Electric, cuyas especificaciones se muestran en el anexo de catálogos.

BALEROS CONICOS

Los baleros cónicos están diseñados para embalar flechas que están sujetas a grandes fuerzas axiales con relativas pequeñas fuerzas radiales. Para que el desempeño del balero sea el adecuado y alargar su vida útil deben tomarse en cuenta algunos factores de cálculo establecidos por ciertos modelos matemáticos presentados en el catálogo general de SKF, en los cuáles se toman en cuenta la capacidad de las cargas estáticas y dinámicas del balero en forma radial y axial. Los baleros seleccionados fueron los K-09067/k-09195 de SKF para un diámetro de flecha de 3/4". En el anexo de catálogos se muestran sus especificaciones.

SOLENOIDE

La selección del solenoide dependió de la interrelación que tiene su funcionamiento con el trinquete y el freno. Este debía ser un solenoide que ejerciera una fuerza aproximada de 10 libras a la mitad de su carrera con actuación de jalar y dicha carrera no menor a 0.5 pulg. También se tomó en consideración costos y dimensiones en las diferentes marcas, resultando seleccionado el solenoide CR9500 A102 de General Electric, cuyas especificaciones se muestran en el anexo de catálogos.

CADENA DE TRANSMISION

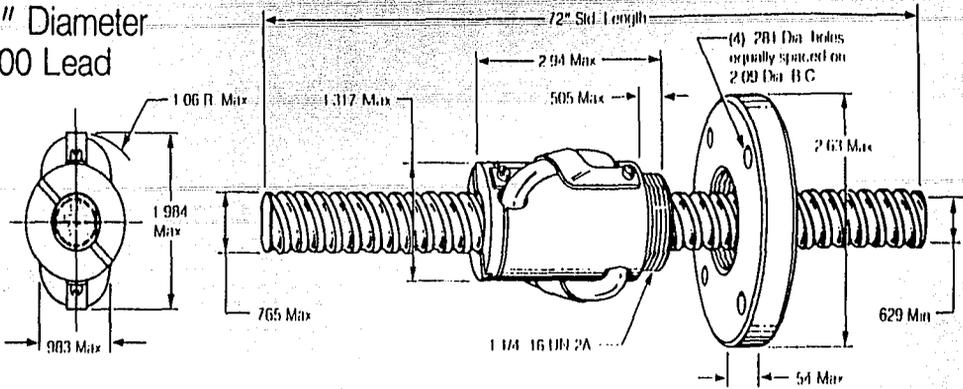
Con el par a transmitir se obtuvo la tensión en la cadena, y considerando un factor de seguridad por el efecto de choque, se seleccionó la cadena simple de una hilera, de paso 3/8" del número de catálogo 35 de Morse que cumple ampliamente con lo requerimientos. Se especifica en el anexo de catálogos.

CATARINAS

Las catarinas se seleccionaron tomando en cuenta, primero la magnitud del par y velocidad angular que transmiten, así como por el tipo de cadena que ya se había seleccionado previamente, con lo cual se estableció que con catarinas simples o de una sola hilera se cubría ampliamente la necesidad. Después se seleccionaron de acuerdo a que existiera una relación de transmisión de 2 a 1 y que la catarina de menor diámetro fuera capaz de acoplarse al embrague por medio de cuñero con un agujero para flecha de 7/8". La catarina de mayor tamaño debería tener también cuñero como medio de acoplamiento, y por último se buscó que ambas fueran lo más pequeño y liviano posible. De lo cual se decidió por las " Roller Chain Sprockets " del No. 35 de Morse con números de catálogos 3515 y 3530 . Se especifican en el anexo de catálogos.

R-0702

3/4" Diameter
.500 Lead



Selection Data

Life (inches of travel)	125,000	1,000,000	8,000,000
Operating Load (lbs.)	6,900	3,450	1,725

Specifications

Static Load	24,200 pounds
Screw Thread	Right hand thread, double start screw
Ball Nut	2 bearing circuits; 7 total effective turns
No. of Bearing Balls	152 average/ 156 dia. nominal
Maximum Axial Lash between Nut and Screw	.009"

Features

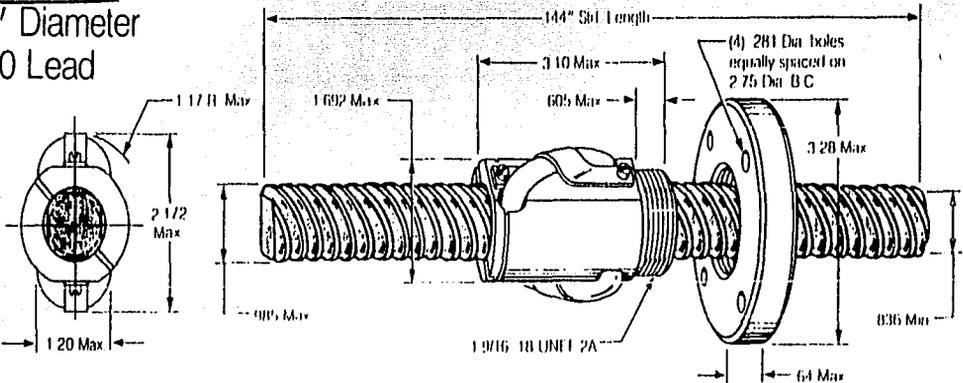
- Load locking spring feature standard
- Tangential ball nut design
- Optional flange
- Optional wiper kit (details page 23)
- Standard end journals/annealed ends (details pages 24 and 25)

Part Numbers

Screw Stock*	190-9100	72" std. length
Ball Nut	8107-448-014	
Flange	8107-448-002	
Wiper Kit	8107-101-002	

R-1001

1" Diameter
1.0 Lead



Selection Data

Life (inches of travel)	125,000	1,000,000	8,000,000
Operating Load (lbs.)	4,500	2,250	1,125

Specifications

Static Load	13,750 pounds
Screw Thread	Right hand thread, four start screw
Ball Nut	2 bearing circuits; 3 total effective turns
No. of Bearing Balls	152 average/ 156 dia. nominal
Maximum Axial Lash between Nut and Screw	.009"

Features

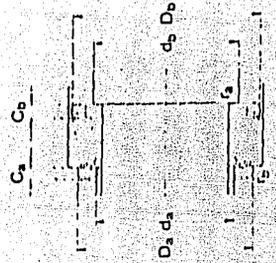
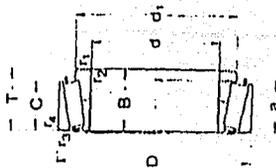
- Load locking spring feature standard
- Tangential ball nut design
- Optional flange
- Optional wiper kit (details page 23)
- Standard end journals/annealed ends (details pages 24 and 25)

Part Numbers

Screw Stock*	190-9102	144" std. length
Ball Nut	8110-448-020	
Flange	8110-448-002	
Wiper Kit	8110-101-002	

* Ball screws may be ordered in any length up to the maximum standard length shown, (for longer lengths, consult factory) To determine a specific length for your application, see How to Order, page 36

Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos,
en pulgadas
d 14,989-21,986 mm



Dimensiones principales	Capacidad de carga estática C ₀ (mm)	Carga límite de fatiga P ₀	Velocidad nominal Lubricación con grasa aceite	Masa C-rod/copa	Designaciones C-rod/copa	Serie	Dimensiones de resaltes		Factores de cálculo										
							N	N	D ₁ min	D ₂ min	D ₁ max	D ₂ max	C ₁ min	C ₂ min	C ₁ max	C ₂ max	e	y	
14.989 ¹⁾	3.558	13 400	11 000	16 000	K-A 4059/K-A 4138	A-5000	6	20	25	29	21	2	2	0.6	1	0.56	1.3	0.7	
0.5801	1.2755	C-330					0.6	1.3	0.6	1.3	0.6	1.3	0.6	1.3	0.6	1.3	0.6	1.3	0.7
15.875	41.275	14 268	9 500	14 000	K-03062/K-03162	03000	9	22	22.5	35	37.3	3	3	1	1.5	0.31	1.9	1.1	
0.6250	1.6250	C-525					0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.8	1.1
	42.662	14 288	8 500	12 000	K-11590/K-11520	11500	13	23	32	36	38	2	4.5	1	1	0.72	0.84	0.5	
	1.6575	C-5625					0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
17.462	35.578	13 543	9 000	13 000	K-LM 11749/K-LM 11710	LM 11700	9	23	24	35	33.5	36	2	3	1	1	0.28	2.1	
0.6675	1.3700	C-5450					0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.1
18.050	45.237	15 484	8 500	12 000	K-LM 11919/K-LM 11910	LM 11900	10	25	25.5	38	38.5	41	3	3	1	1	0.30	2	
0.7200	3.2910	C-5100					1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1
	1.9380	C-1900	39 100	40 000	4 300	K-09067/K-09195	09000	10	26	25.5	41	42.5	44	4	3.5	1	1	0.27	2.2
	49.225	18 845	8 000	11 000	K-09074/K-09195	09000	13	26	26	41	42.5	44	5	5.5	1	1	0.27	2.2	1.3
	49.225	18 845	8 000	11 000	K-09078/K-09195	09000	10	26	25.5	41	42.5	44	5	5.5	1	1	0.27	2.2	1.3
	49.225	17 913	8 000	11 000	K-09067/K-09196	09000	13	26	25.5	40	42	44	3	3.5	1	1	0.27	2.2	1.3
	1.9380	C-8350	39 100	40 000	4 300	K-09074/K-09196	09000	10	26	26	40	42	4	4	3	3.5	1	0.27	2.2
	49.225	23 020	8 000	11 000	K-09074/K-09196	09000	13	26	26	40	42	44	3	3.5	1	1	0.27	2.2	1.3
	1.9380	C-9053	39 100	40 000	4 300	K-09078/K-09196	09000	10	26	25.5	40	42	44	3	3.5	1	1	0.27	2.2
	1.9380	C-3050	39 100	40 000	4 300	K-21075/K-21212	21000	16	26	26	40	45	50	3	6	2	0.60	1	0.6
	53.975	22 225	7 500	10 000			0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.6
	2.1250	C-8750	39 600	39 000	4 250														0.6
20.625	49.225	18 845	8 000	11 000	K-09081/K-09195	09000	10	26	27.5	41	42.5	44	5	5.5	1	1	0.27	2.2	1.3
0.8120	1.9380	C-7100	39 100	40 000	4 300	K-09081/K-09195	09000	10	26	27.5	40	42	44	3	5.5	1	1	0.27	2.2
	49.225	23 020	8 000	11 000	K-09081/K-09195	09000	13	26	27.5	40	42	44	3	5.5	1	1	0.27	2.2	1.3
	1.9380	C-9063	39 100	40 000	4 300														1.3
21.430	50.005	17 526	8 000	11 000	K-LM 12749/K-LM 12710	M 12600	11	28	28	43	43.5	46	3	3.5	1	1	0.28	2.1	1.1
0.8437	1.9687	C-8900	36 900	38 000			0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	1.1
	45.237	15 484	8 000	11 000	K-LM 12749/K-LM 12710	LM 12700	10	28	28.5	39	39.5	42	3	3	1	1	0.31	1.9	1.1
21.986 ¹⁾	1.7810	C-6100	27 500	31 000	3 200		0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	1.1
0.8656	45.974 ¹⁾	15 484	27 500	31 000	3 200	6 000	11 000	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	1.1
	1.8100	C-6100	27 500	31 000	3 200	6 000	11 000	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	1.1

¹⁾ Para rodamientos con tolerancias normales, el valor métrico número es la dimensión mayor en milímetros enteros que más se

How to order

1. Select correct size AT clutch or brake from page 8.
2. From chart on page 8, select bore size needed in required voltage and unit size from 1 above. Order part number shown.
3. When ordering a clutch, see AT Clutch/Pulley Chart below to choose an optional Warner Electric standard pulley or obtain information for fitting other pulley or sprocket.
4. Select other options needed from exploded views and parts lists on pages 10 and 11 for clutches or 12 and 13 for brakes.
5. Complete control information starts on page 18. Selection is by required function.

AT Clutch pulleys—optional

For customer convenience, the pulleys shown below are available from Warner Electric. They are finished bored and ready for mounting.

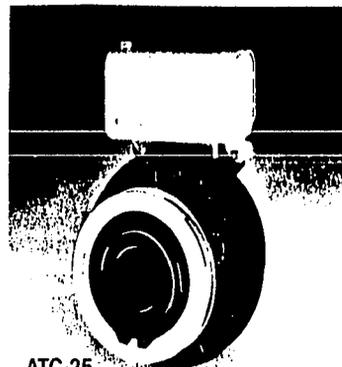
Other sheaves, pulleys and sprockets

The unique AT Clutch design permits the installation of any customer provided sheave, pulley or sprocket that can be bored out and key seated to the "Bore-to-Size" dimensions shown on page 10

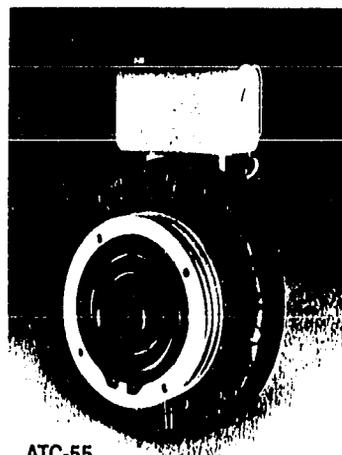
Sprockets

The AT clutch design permits installation of customer supplied sprockets. Minimum size sprocket requirements found in the second chart below can be bored out and drilled to the dimensions in that chart.

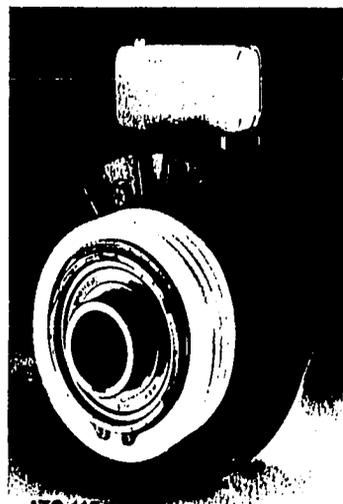
AT Clutches



ATC-25



ATC-55



ATC-115

Standard Sheaves and Pulleys

Sheave/ Pulley Type	Clutch Size	No. of Grooves No. Teeth	Part Number	Dimensions		
				Pitch Diameter	Width	O.D.
Timing Belt	ATC-25	26H100	689-025G	4.138" (105.11)	1.312" (33.32)	4.244" (107.80)
	ATC-55	30H100	689-0278	4.775" (121.29)	1.312" (33.32)	4.881" (123.98)
	ATC-115	40H150	689-0257	6.366" (161.70)	1.812" (46.02)	6.472" (164.39)
"A" Section	ATC-25	1G3.60	689-0267	3.600" (91.44)	.750" (19.05)	3.850" (97.79)
	ATC-55	2G4.80	689-0308	4.800" (121.92)	1.445" (36.70)	5.050" (128.27)
	ATC-115	3G6.00	689-0271	6.000" (152.40)	2.000" (50.80)	6.250" (158.75)
"3V" Section	ATC-25	1G3.65	689-0259	3.600" (91.44)	.695" (17.65)	3.650" (92.71)
	ATC-55	2G4.12	689-0315	4.070" (103.38)	1.094" (27.79)	4.120" (104.65)
	ATC-115	3G5.30	689-0263	5.250" (133.35)	1.515" (38.48)	5.300" (134.62)
"B" Section	ATC-115	2G6.00	689-0275	6.000" (152.40)	1.750" (44.45)	6.350" (161.29)

() denotes metric dimensions

Minimum size sprockets for pilot mount

Clutch Size	Chain Size						Bore Size	Bolt Circle	No. Holes and Size
	25	35	41/40	50	60	80			
25	54T	35T	28T	22T			2.500/2.502 (63.500/63.551)	3000 (76.200)	{3} 281 {(3)} 7.144
55	—	40T	30T	24T	20T	—	3.000/3.002 (76.200/76.251)	3500 (88.900)	{4} 281 {(4)} 7.144
115	—	—	40T	30T	26T	20T	4.000/4.002 (101.600/101.651)	4.750 (120.650)	{4} 344 {(4)} 8.731

*Spacer may be required to avoid chain interference with clutch.

AT Electric Clutch Dimensions

Shaft Bore and Keyway Dimensions

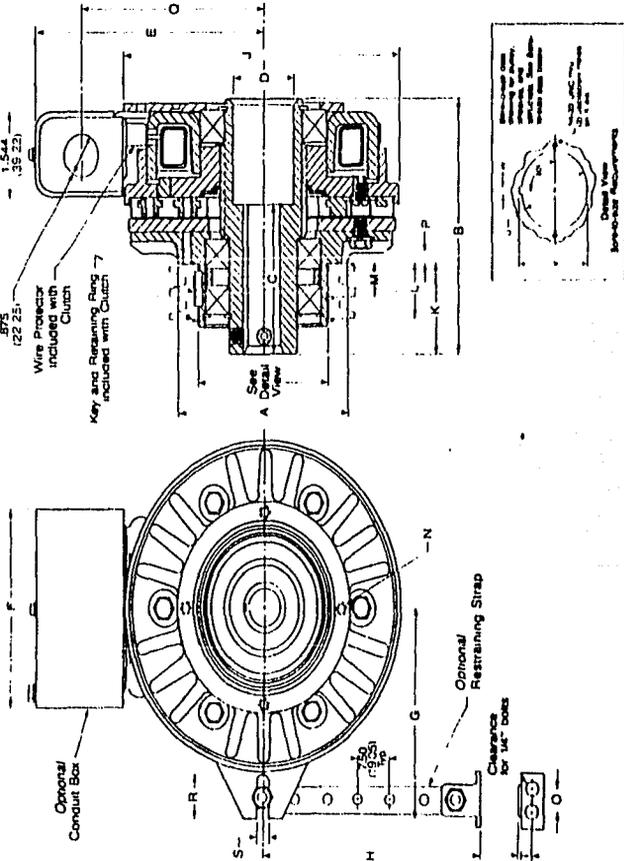
Model	Unit Bore	Key	Model	Unit Bore	Key	Unit Bore	Key
ATC-25	5005 1.925 (13.25)	1/8 Sq. (13.71)	ATC-35	1.0035 1.0005 (25.54)	1/4 Sq. (31.51)	1.5005 1.5005 (38.11)	3/8 Sq. (38.11)
ATC-25	6272 (156.2)	3/16 Sq. (13.95)	ATC-35	1.2775 1.2725 (32.54)	1/4 Sq. (31.51)	1.6275 1.6275 (41.31)	3/8 Sq. (38.11)
ATC-25	7523 (192.5)	3/16 Sq. (13.95)	ATC-115	1.2525 1.2505 (31.81)	1/4 Sq. (31.51)	1.7525 1.7505 (44.51)	3/8 Sq. (38.11)
ATC-25	8775 (222.2)	3/16 Sq. (13.95)	ATC-205	1.3775 1.3755 (34.94)	5/16 Sq. (34.94)	1.8775 1.8755 (47.64)	1/2 Sq. (47.64)

() denotes millimeters

Model	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	T
	Max. Dia.	Max. Dia.	Norm. Dia.	Norm. Dia.	Max. Dia.	Max. Dia.	Max. Dia.	Max. Dia.	Max. Dia.	Max. Dia.	Max. Dia.	Max. Dia.	Norm.
ATC-25	3.60 (91.44)	4.39 (111.51)	2.375 (60.33)	1.200 (30.48)	4.748 (120.60)	3.767 (95.68)	3.262 (83.26)	5.117 (129.79)	4.922 (124.99)	1.68 (42.57)	1.002 (25.48)	1.002 (25.48)	715.703 (18,167.86)
ATC-35	3.95 (100.33)	4.935 (125.35)	2.925 (74.30)	1.40 (35.56)	5.182 (131.62)	3.767 (95.58)	4.022 (102.41)	5.117 (129.79)	5.275 (134.00)	1.917 (48.65)	1.131 (28.72)	1.131 (28.72)	375 (9.53)
ATC-115	5.254 (133.45)	5.977 (151.82)	3.102 (78.79)	1.86 (47.24)	6.089 (154.68)	3.767 (95.58)	4.245 (107.83)	10.11 (256.79)	10.11 (256.79)	2.487 (62.91)	1.539 (39.08)	1.539 (39.08)	375 (9.53)
ATC-205	6.368 (161.75)	7.295 (185.29)	3.970 (100.94)	2.125 (53.98)	7.287 (185.1)	3.767 (95.68)	5.575 (141.6)	17.02 (432.31)	17.02 (432.31)	3.020 (76.71)	1.866 (47.39)	1.866 (47.39)	5.35 (13.59)
ATC-305	7.300 (185.41)	8.559 (217.94)	4.645 (117.98)	2.500 (63.5)	8.134 (206.60)	3.767 (95.68)	6.291 (160.0)	17.062 (433.4)	17.062 (433.4)	3.531 (89.71)	2.317 (58.86)	2.317 (58.86)	310 (7.87)

Bore-to-Size Data

Model	N	O	P	Q	R	S	U	V	W	X
	No. of Thread Holes	Thread Size	Max. Depth	Bolt Circle	Norm. Min.	Norm. Min.	Bore Dia.	Keyway Height	Keyway Width	Bolt Circle
ATC-25	3	1/4-20	.50	3.00	3.96	.752	2.79	2.602 (66.15)	2.591 (65.85)	3.00
ATC-35	4	1/4-20	.635	3.50	500	.81	19.00	3.099 (78.17)	3.089 (78.17)	3.50
ATC-115	4	5/16-18	.830	4.75	500	2.37	16.73	4.024 (102.3)	4.024 (102.3)	4.50
ATC-205	4	3/8-18	.990	5.5	1.500	2.43	12.80	4.942 (125.5)	4.942 (125.5)	5.5
ATC-305	4	1/2-13	—	6.5	1.500	3.05	240	5.895 (149.8)	5.895 (149.8)	6.50





PARALLEL SHAFT AC GEAR MOTORS PERMANENT SPLIT CAPACITOR — TENV

1/50 THRU 1/6 H.P.

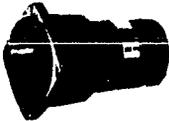
Applications: Conveyors, packaging, machines, machine tools and laboratory equipment requiring constant speed.

Features: Suitable for horizontal or vertical mounting, reversible, continuous duty, baked enamel finish.

SINGLE PHASE - 115 VAC 50/60 HZ

INPUT MOTOR H.P.	OUTPUT R.P.M.	GEAR RATIO TO 1	MAXIMUM SAFE TORQUE IN LBS.	CATALOG NO.	LIST PRICE	MULT. SYM.	MOTOR TYPE & GEAR STYLE	AP'X. SHPG. WGT.	CAPACITOR RATING
1/50	8.9	192.0	50.0	GCP9202	\$203	DK	95-PSS-0	9	6 MFD ⁽¹⁾
1/50	25	60.0	40.0	GCP9102	203	DK	91-PSS-0	10	4 MFD ⁽¹⁾
1/50	28	60.0	40.0	GCP9204	203	DK	95-PSS-0	9	6 MFD ⁽¹⁾
1/50	57	30.0	21.0	GCP9206	195	DK	95-PSS-0	10	6 MFD ⁽¹⁾
1/50	117	14.1	9.0	GCP9208	195	DK	95-PSS-0	10	6 MFD ⁽¹⁾
1/25	5.6	300.0	325.0	GCP9302	361	DK	97-PSL-0	17	7.5 MFD ⁽¹⁾
1/25	9.3	180.0	235.0	GCP9304	361	DK	97-PSL-0	17	7.5 MFD ⁽¹⁾
1/25	19	87.0	80.0	GCP9306	218	DK	97-PSS-0	10	7.5 MFD ⁽¹⁾
1/25	29	60.0	60.0	GCP9308	218	DK	97-PSS-0	10	7.5 MFD ⁽¹⁾
1/25	56	30.0	40.0	GCP9310	210	DK	97-PSS-0	10	7.5 MFD ⁽¹⁾
1/25	118	14.1	20.0	GCP9312	210	DK	97-PSS-0	10	7.5 MFD ⁽¹⁾
1/12	14	120.0	330.0	GCP9320	374	DK	97-PSL-0	16	15 MFD ⁽¹⁾
1/12	18.5	90.0	250.0	GCP9322	374	DK	97-PSL-0	16	15 MFD ⁽¹⁾
1/8	27	60.0	270.0	GCP9402	364	DK	87-PSL-0	17	20 MFD ⁽¹⁾
1/8	54	30.0	135.0	GCP9404	364	DK	87-PSL-0	17	20 MFD ⁽¹⁾
1/8	81	20.0	92.0	GCP9406	351	DK	87-PSL-0	17	20 MFD ⁽¹⁾
1/8	162	10.0	46.0	GCP9408	351	DK	87-PSL-0	17	20 MFD ⁽¹⁾
1/8	324	5.0	23.0	GCP9410	351	DK	87-PSL-0	17	20 MFD ⁽¹⁾
1/6	58	30.0	164.0	GCP3305	368	DK	316C-PSL-0	25	∅
1/6	86	20.0	112.0	GCP3310	355	DK	316C-PSL-0	25	∅
1/6	173	10.0	56.0	GCP3315	355	DK	316C-PSL-0	25	∅
1/6	345	5.0	28.0	GCP3320	355	DK	316C-PSL-0	25	∅

NOTES: (1) MOLDED CASE POLYPROPYLENE CAPACITORS SUPPLIED LOOSE FOR CUSTOMER MOUNTING. REFER TO PAGE 84 FOR OPTIONAL MOUNTING KITS.
∅ CAPACITORS MOUNTED ON MOTOR



PARALLEL SHAFT DC GEAR MOTORS PERMANENT MAGNET — TENV

1/50 THRU 1/4 H.P.

INPUT MOTOR H.P.	OUTPUT BASE SPEED	GEAR RATIO TO 1	MAX. SAFE TORQUE IN LBS.	VOLTAGE DIRECT CURRENT		FULL LOAD AMPERAGE		CATALOG NO.	LIST PRICE	MULT. SYM.	MOTOR TYPE & GEAR STYLE	AP'X. SHPG. WGT.
				ARM.	F.L.D.	ARM.	F.L.D.					
1/50	9	192.0	80.0	90	PM	0.24	PM	GPP1008	\$207	DK	10-PSS-0	6
1/50	29	60.0	40.0	90	PM	0.3	PM	GPP1009	207	DK	10-PSS-0	6
1/50	120	14.1	10.0	90	PM	0.3	PM	GPP1010	207	DK	10-PSS-0	6
1/25	19	87.0	80.0	90	PM	0.6	PM	GPP2010	220	DK	20-PSS-0	7
1/25	19	87.0	80.0	180	PM	0.3	PM	GPP3020	229	DK	30-PSS-0	8
1/25	57	30.0	40.0	90	PM	0.6	PM	GPP2011	220	DK	20-PSS-0	7
1/25	57	30.0	40.0	180	PM	0.3	PM	GPP3021	229	DK	30-PSS-0	8
1/8	8.3	300.0	330.0	90	PM	0.76	PM	GPP7459	365	DK	74-PSL-0	18
1/8	8.3	300.0	330.0	180	PM	0.38	PM	GPP7479	365	DK	74-PSL-0	18
1/8	10	240.0	330.0	90	PM	0.71	PM	GPP7462	365	DK	74-PSL-0	18
1/4	14	180.0	340.0	90	PM	1.0	PM	GPP7458	365	DK	74-PSL-0	18
1/4	14	180.0	340.0	180	PM	0.5	PM	GPP7478	365	DK	74-PSL-0	18
1/4	21	120.0	315.0	90	PM	1.2	PM	GPP7457	365	DK	74-PSL-0	18
1/4	21	120.0	315.0	180	PM	0.6	PM	GPP7477	365	DK	74-PSL-0	18
1/4	28	90.0	305.0	90	PM	1.5	PM	GPP7461	365	DK	74-PSL-0	18
1/4	42	60.0	280.0	90	PM	2.3	PM	GPP7456	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	42	60.0	280.0	180	PM	1.15	PM	GPP7476	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	50	50.0	250.0	90	PM	2.2	PM	GPP7460	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	62	40.0	220.0	90	PM	2.4	PM	GPP7455	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	62	40.0	220.0	180	PM	1.2	PM	GPP7475	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	83	30.0	155.0	90	PM	2.4	PM	GPP7454	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	83	30.0	155.0	180	PM	1.2	PM	GPP7474	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	125	20.0	100.0	90	PM	2.4	PM	GPP7453	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	125	20.0	100.0	180	PM	1.2	PM	GPP7473	351	DK	74-PSL-0	17
1/4	165	15.0	70.0	90	PM	2.4	PM	GPP7452	322	DK	74-PSL-0	16
1/4	165	15.0	70.0	180	PM	1.2	PM	GPP7472	322	DK	74-PSL-0	16
1/4	250	10.0	45.0	90	PM	2.4	PM	GPP7451	322	DK	74-PSL-0	16
1/4	250	10.0	45.0	180	PM	1.2	PM	GPP7471	322	DK	74-PSL-0	16
1/4	500	5.0	25.0	90	PM	2.4	PM	GPP7450	322	DK	74-PSL-0	16
1/4	500	5.0	25.0	180	PM	1.2	PM	GPP7470	322	DK	74-PSL-0	16

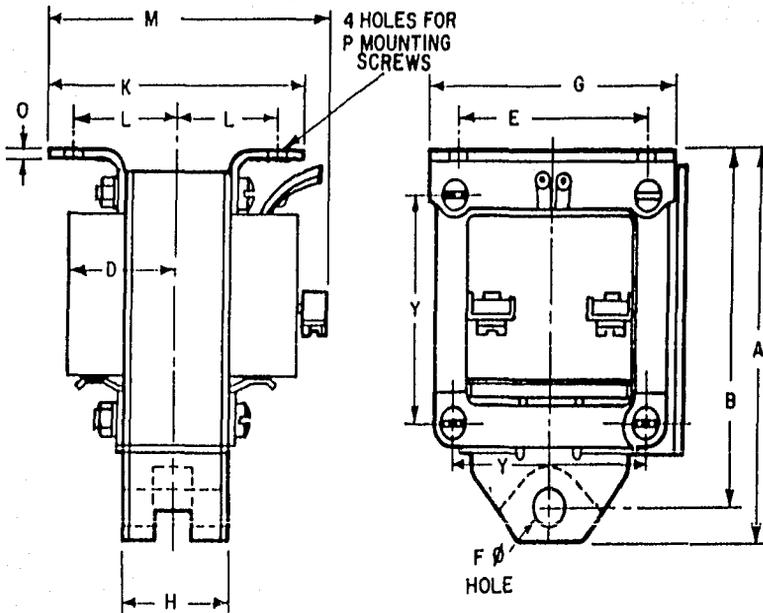
NOTE: SUPPLIED WITH TYPE SJO, THREE FOOT, 18/3 AWG. GROUNDED CORD.
PSL GEAR STYLES USE STEEL GEARS ON ALL STAGES.

CR9500

INDUSTRIAL STRONG-BOX SOLENOIDS

600 Volts Max.

DUAL DIMENSIONS $\frac{\text{INCHES}}{\text{MILLIMETERS}}$ AND WEIGHTS (For Estimating Only)



Catalog Number	Dimensions—1-Inch Maximum Stroke, Pull Type, 60 Hertz													
	Base Mounted													
	A		B		D		E		F		G		H	
	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm
CR9500 A100	2.73	69.3	2.52	64.0	.72	18.3	1.50	38.1	0.25	6.4	1.94	49.3	0.62	15.7
CR9500 A101	2.73	69.3	2.52	64.0	.83	21.1	1.50	38.1	0.25	6.4	1.94	49.3	0.81	20.6
CR9500 A102	2.73	69.3	2.52	64.0	.91	23.1	1.50	38.1	0.25	6.4	1.94	49.3	1.00	25.4
CR9500 B100	3.44	87.4	3.12	79.2	.96	24.4	1.81	46.0	0.38	9.6	2.38	60.4	0.88	22.4
CR9500 B101	3.44	87.4	3.12	79.2	1.09	26.5	1.81	46.0	0.38	9.6	2.38	60.4	1.12	28.4
CR9500 B102	3.44	87.4	3.12	79.2	1.28	32.5	1.81	46.0	0.38	9.6	2.38	60.4	1.50	38.1
CR9500 C100	4.33	110.0	3.98	101.1	1.25	31.8	2.25	57.2	0.44	11.2	3.06	77.7	1.06	26.9
CR9500 C101	4.33	110.0	3.98	101.1	1.44	36.6	2.25	57.2	0.44	11.2	3.06	77.7	1.44	36.6
CR9500 C102	4.33	110.0	3.98	101.1	1.66	42.2	2.25	57.2	0.44	11.2	3.06	77.7	1.88	47.8

Catalog Number	Dimensions—1-Inch Maximum Stroke, Pull Type, 60 Hertz												Shipping Wt., Lbs.
	Base Mounted												
	K		L		M		O		P		Y		
	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	In.	Mm	
CR9500 A100	2.00	50.8	0.80	20.3	2.48	63.0	0.09	2.3	#8	—	1.56	40.0	1 1/4
CR9500 A101	2.19	55.6	0.89	22.6	2.67	67.8	0.09	2.3	#8	—	1.56	40.0	1 1/2
CR9500 A102	2.38	60.4	0.98	24.9	2.86	72.6	0.09	2.3	#8	—	1.56	40.0	1 3/4
CR9500 B100	2.56	65.0	1.62	41.1	2.91	73.9	0.12	3.0	#10	—	1.88	47.8	2 1/4
CR9500 B101	2.81	71.4	1.19	30.2	3.16	80.3	0.12	3.0	#10	—	1.88	47.8	2 1/2
CR9500 B102	3.19	81.0	1.38	35.0	3.55	90.2	0.12	3.0	#10	—	1.88	47.8	3 1/4
CR9500 C100	3.19	81.0	1.27	32.2	3.50	88.9	0.16	4.1	1/4	—	2.38	60.4	4
CR9500 C101	3.56	90.4	1.45	36.8	3.86	98.0	0.16	4.1	1/4	—	2.38	60.4	5
CR9500 C102	4.00	101.6	1.67	42.4	4.30	109.2	0.16	4.1	1/4	—	2.38	60.4	5 3/4

D-5, D-5H,
D-5K

INDUSTRIAL STRONG-BOX SOLENOIDS

600 Volts Max

CR9500

PRICING INFORMATION

Ac Forms

Type of Operation	Max. Stroke in Inches	Net Pounds Pull or Push at Max. Stroke ⁽¹⁾						Quiet Seated Force in Lb.		60 Hertz Coll Volt Amps ⁽²⁾		Catalog Number	List Price, GO-10G
		With Gravity		Horizontal		Against Gravity		At 100% Volt	At 85% Volt	At Max. Stroke	Seated		
		Force at 100% Volt	Recommended Load	Force at 100% Volt	Recommended Load	Force at 100% Volt	Recommended Load						
Pull	1	1.60	1.20	1.40	1.00	1.20	0.80	9	7	300	40	CR9500 A100A*A A101A*A A102A*A	\$20.00 27.00 34.00
Pull	1	2.70	2.00	2.40	1.70	2.10	1.40	12	9	400	50		
Pull	1	3.50	2.60	3.20	2.30	2.90	2.00	15	11	500	50		
Pull	1	5.50	4.30	5.10	3.90	4.70	3.50	15	11	800	60	CR9500 B100A*A B101A*A B102A*A	38.00 45.50 54.50
Pull	1	8.30	6.00	7.00	5.50	7.30	5.00	10	13	1050	70		
Pull	1	13.2	10.0	12.5	9.30	11.8	8.60	25	18	1570	100		
Pull	1	16.2	11.8	15.4	11.0	14.6	10.2	35	25	1880	100	CR9500 C100A*A C101A*A C102A*A	64.00 80.00 94.00
Pull	1	26.1	18.6	25.0	17.5	23.9	16.4	45	33	2700	130		
Pull	1	37.5	28.5	36.0	27.0	34.5	25.5	60	43	3900	160		
Push	1/2	2.80	2.10	2.50	1.80	2.20	1.50	6	5	180	40	CR9500 A103A*A A104A*A A105A*A	22.00 29.00 38.00
Push	1/2	5.00	3.70	4.70	3.40	4.40	3.10	11	8	280	50		
Push	1/2	7.00	4.50	6.60	4.10	6.20	3.70	15	11	340	50		
Push	1/2	8.30	6.20	7.00	5.70	7.30	5.20	9	7	450	52	CR9500 B103A*A B104A*A B105A*A	42.00 49.50 58.50
Push	1/2	12.7	9.40	12.0	8.70	11.3	8.00	15	11	680	76		
Push	1/2	17.2	12.6	16.4	11.8	15.6	11.0	22	16	890	80		
Push	1/2	17.0	12.8	16.0	11.8	15.0	10.8	30	22	970	100	CR9500 C103A*A C104A*A C105A*A	70.00 85.00 100.00
Push	1/2	28.1	20.7	26.6	19.2	25.1	17.7	40	29	1450	150		
Push	1/2	35.0	26.0	33.0	24.0	31.0	22.0	50	36	2050	190		
Push	1	4.80	3.50	4.30	3.00	3.80	2.50	9	7	600	52	CR9500 B106A*A B107A*A B108A*A	42.00 49.50 58.50
Push	1	9.00	6.70	8.30	6.00	7.60	5.30	15	11	990	76		
Push	1	10.3	7.80	9.50	7.00	8.70	6.20	22	16	1300	80		
Push	1	12.7	9.50	11.7	8.50	10.7	7.50	30	22	1450	100	CR9500 C106A*A C107A*A C108A*A	70.00 86.00 100.00
Push	1	21.5	16.7	19.5	15.2	18.0	13.7	40	29	2300	150		
Push	1	30.0	21.0	28.0	19.0	26.0	17.0	50	36	3450	190		

Dc Continuously Rated

Type of Operation	Max. Stroke in Inches	Plunger Weight in Lbs.	Horizontal Force at Max. Stroke ⁽¹⁾				Coll Volt Amps at 115-volts		Catalog Number	List Price, GO-10G
			115V		125V		At Max. Stroke	Seated		
			Force at 100% Voltage	Recommended Load	Force at 100% Voltage	Recommended Load				
Pull	1/2	0.2	3.0	2.2	3.6	2.6	143	34	CR9500 A200A1A A201A1A A202A1A	\$38.00 45.00 52.00
Pull	1/2	.3	4.5	3.3	5.4	4.0	176	36		
Pull	1/2	.3	7.4	5.5	8.9	6.6	262	39		
Pull	1	.4	4.9	3.6	5.9	4.3	530	40	CR9500 B200A1A B201A1A B202A1A	58.00 65.50 74.50
Pull	1	.5	9.6	7.1	11.5	8.5	770	53		
Pull	1	.7	11.4	8.4	13.7	10.1	1080	76		
Pull	1	.8	18.3	13.0	22.0	15.6	1220	66	CR9500 C200A1A C201A1A C202A1A	86.00 102.00 116.00
Pull	1	1.1	25.0	18.0	30.0	21.6	1670	88		
Pull	1	1.5	36.2	27.0	43.5	32.4	2580	95		
Push	1/2	.3	3.0	2.2	3.6	2.6	143	34	CR9500 A203A1A A204A1A A205A1A	40.00 47.00 54.00
Push	1/2	.3	4.5	3.3	5.4	4.0	176	36		
Push	1/2	.4	7.4	5.5	8.9	6.6	262	39		
Push	1/2	.5	17.5	13.0	21.0	15.6	530	40	CR9500 B203A1A B204A1A B205A1A	62.00 69.50 78.50
Push	1/2	.7	31.0	23.0	37.2	27.6	770	53		
Push	1/2	.8	40.0	30.0	48.0	36.0	1080	76		
Push	1/2	1.0	50.0	37.0	60.0	44.4	1220	66	CR9500 C203A1A C204A1A C205A1A	92.00 108.00 122.00
Push	1/2	1.5	78.0	58.0	93.6	69.6	1670	88		
Push	1/2	2.0	110.0	81.0	132.0	97.3	2580	95		
Push	1	.5	4.9	3.6	5.9	4.3	530	40	CR9500 B206A1A B207A1A B208A1A	62.00 69.50 78.50
Push	1	.7	9.6	7.1	11.5	8.5	770	53		
Push	1	.8	11.4	8.4	13.7	10.1	1080	76		
Push	1	1.0	18.3	13.0	22.0	15.6	1220	66	CR9500 C206A1A C207A1A C208A1A	92.00 108.00 122.00
Push	1	1.5	25.0	18.0	30.0	21.6	1670	88		
Push	1	2.0	36.2	27.0	43.5	32.4	2580	95		

¹ See Bulletin GEA-6215 for force and current curves

² VA = 60 Hz volt amps - 50 Hz volt amps

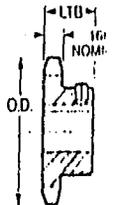
³ To obtain force of solenoid operating WITH GRAVITY ADD plunger weight in horizontal force. To obtain force of solenoid operating AGAINST GRAVITY SUBTRACT weight of plunger from horizontal force.

⁴ Add col number from ac suffix table, page 364

⁵ Add col number from dc suffix table, page 364

No. 35 single/finished bore steel sprockets

No. Teeth	Catalog No.	Outside Diam.	LTD	Wt. Lbs.	Finished Bores (Inches) Includes Keyway and Setscrew						
stock sprockets—hardened teeth with extra setscrew at 90°											
10	H3510	1.37*	3/4"	.1		1/2"	5/8"				
11	H3511	1.50	3/4"	.2			5/8"				
12	H3512	1.62	3/4"	.2		1/2"	5/8"	3/4"			
13	H3513	1.75	3/4"	.2			5/8"	3/4"			
14	H3514	1.87	3/4"	.3			5/8"	3/4"			
15	H3515	1.99	3/4"	.3			5/8"	3/4"		1	
16	H3516	2.10	3/4"	.4			5/8"	3/4"		1	
17	H3517	2.23	3/4"	.4			5/8"	3/4"			
18	H3518	2.35	3/4"	.5			5/8"	3/4"			
20	H3520	2.59	3/4"	.7			5/8"	3/4"			
24	H3524	3.07	7/16"	1.1			5/8"	3/4"		1	
25	H3525	3.19	7/16"	1.2				3/4"			
30	H3530	3.79	7/16"	1.4				3/4"			
stock sprockets											
9	359	1.25	3/4"	.1	3/8"						
10	3510	1.37	3/4"	.1	3/8"	1/2"	5/8"				
11	3511	1.50	3/4"	.2	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"			
12	3512	1.62	3/4"	.2		1/2"	5/8"	3/4"			
13	3513	1.75	3/4"	.3		1/2"	5/8"	3/4"			
14	3514	1.87	3/4"	.3		1/2"	5/8"	3/4"			
15	3515	1.99	3/4"	.3		1/2"	5/8"	3/4"	3/8"	1	
16	3516	2.10	3/4"	.4		1/2"	5/8"	3/4"	3/8"	1	
17	3517	2.23	3/4"	.4		1/2"	5/8"	3/4"	3/8"	1	
18	3518	2.35	3/4"	.5		1/2"	5/8"	3/4"	3/8"	1	
19	3519	2.47	3/4"	.5			5/8"	3/4"		1	
20	3520	2.59	3/4"	.7			5/8"	3/4"		1	
21	3521	2.70	7/16"	.8			5/8"	3/4"		1	
22	3522	2.83	7/16"	.9			5/8"	3/4"		1	
23	3523	2.95	7/16"	.9			5/8"	3/4"		1	
24	3524	3.07	7/16"	1.1			5/8"	3/4"		1	
25	3525	3.19	7/16"	1.2			5/8"	3/4"		1	
26	3526	3.31	7/16"	1.3			5/8"	3/4"		1	
28	3528	3.55	7/16"	1.3			5/8"	3/4"		1	
30	3530	3.79	7/16"	1.4			5/8"	3/4"		1	
32	3532	4.03	7/16"	1.5			5/8"	3/4"		1	
35	3535	4.39	7/16"	1.6			5/8"	3/4"		1	
36	3536	4.51	7/16"	1.8			5/8"	3/4"		1	
40	3540	4.99	7/16"	2.0			5/8"	3/4"		1	
42	3542	5.23	7/16"	2.2				3/4"		1	
45	3545	5.59	7/16"	2.4			5/8"	3/4"		1	
48	3548	5.95	7/16"	2.6				3/4"		1	
60	3560	7.38	7/16"	3.4			5/8"	3/4"		1	1/4



Type B
(Finished Bore)

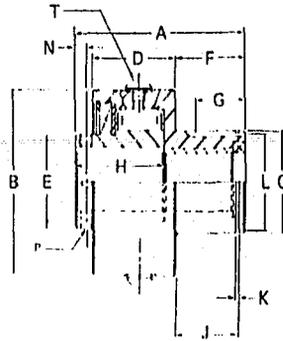
* No Keyways

When ordering Finished Bore indicate required bore diameter following Catalog No: H35 10-1/2 or 35 10-1/2.

GENERAL PURPOSE CLUTCHES FSR SERIES, MODELS 3 thru 16



Right Hand Rotation Shown
(Left Hand Opposite)



		SELECTION DATA					
MODEL NUMBER		3		5		6	
		English	Metric	English	Metric	English	Metric
Torque capacity lb ft (Nm)		40	54	85	115	275	373
Over-running speed	Maximum RPM	1950		1950		1950	
	Inner Race						
	Outer Race	900		900		750	
Resistance after run-in lb ft (Nm)		.20	.27	.50	.68	1.68	2.28
Keyseat in hub (output)—Standard in. (mm)		.125 x .06	3.18 x 1.58	.187 x .09	4.76 x 2.38	.187 x .09	4.76 x 2.38
Standard bore size and keyseat in. (mm)	English	.375	.500	.500	.625	.750	.875
	Metric	9.52	12.70	12.70	15.88	19.05	22.22
Bore range available in. (mm)	Minimum	.375	9.52	.500	12.70	.750	19.05
	Maximum	.500	12.70	.687	17.45	.875	22.22
Maximum bore keyseat (in.) (mm)				.187 x .09	4.76 x 2.38	.187 x .06	4.76 x 1.58

All dimensions given below are: in. (mm)

DIMENSIONAL DATA

A	Overall length of clutch	A	1.88	47.62	2.75	69.85	3.19	80.95	A
B	Outer diameter	B	1.63	41.27	2.00	50.80	2.88	73.00	B
C	Mounting hub diameter	C	.875/.874	22.23/22.20	1.250/1.249	31.75/31.72	1.375/1.374	34.93/34.90	C
D	Length of outer race	D	.69	17.46	1.25	31.75	1.56	39.67	D
E	O.D. inner race extension	E	.80	20.24	1.00	25.40	1.38	34.92	E
F	Length of clutch hub	F	.81	20.64	1.00	25.40	1.31	33.32	F
G	Length of keyseat on hub	G	.500	12.70	.562	14.27	.937	23.80	G
H	Length of inner race	H	.94	33.32	1.63	41.27	1.69	42.85	H
J	Location of snap ring groove	J	.715/.720	18.16/18.29	.900/.905	22.86/22.99	1.215/1.220	30.86/30.99	J
K	Snap ring groove width	K	.036/.056	.91/1.42	.048/.068	1.22/1.73	.048/.068	1.22/1.73	K
L	Snap ring groove diameter	L	.841/.835	21.36/21.21	1.206/1.198	30.63/30.43	1.327/1.319	33.70/33.50	L
	Suggested snap ring		Spirolox RS 87		Spirolox RS 125		Spirolox RS 137		
	Shaft mounting provisions		.500 Bore—Rollpin .375 Bore—See Detail		Set Screws (2) No. 8-36 Holes @ 90°		Set Screws (2) No. 10-32 Holes @ 90°		
N	Inner race hub—roll pin location —set screw location	N	.22 .22	5.54 5.54	.25	6.35	.18	4.75	N
P	Roll pin hole diameter (pin furnished)	P	.187	4.76					P
T	Size of oil holes	T	None		#10-32		.250-28		T
	Number of oil holes		None		3 @ 120°		3 @ 120°		
	Oil lubrication and amount required		Grease	Grease	.25 oz.	7.4 ml	.375 oz.	11.1 ml	
	Shipping weight lbs. (kg)		1	0.5	2	0.9	3	1.4	

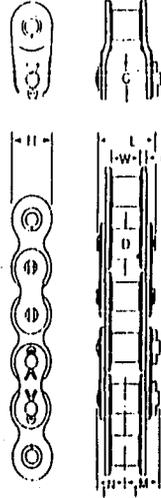
standard series—single strand

Catalog No.	Dimensions (Inches)										Average Tensile Strength	Weight Per Foot
	Pitch	W. Roller Width	D. Roller Dia.	C. Pin Dia.	F. Plate Thickness	L. Width Over Pins	H. Inside Plate Height	IN	IM			
125	3/4	3/4	1.50	.892	.890	.312	2.24	1.56	1.08		875	.61
130	3/4	3/4	2.00	1.41	.920	.406	3.20	2.31	2.67		2,100	.71
41	3/2	3/4	3.00	1.41	1.040	.512	3.83	2.56	3.22		2,900	.75
40	3/2	3/4	3.12	1.56	1.040	.630	4.66	3.15	3.90		3,700	.82
50	3/2	3/4	4.00	2.00	1.000	.750	5.64	3.95	4.60		6,100	.91
100	1	1/2	4.00	2.14	1.011	.990	7.00	4.95	5.96		8,500	1.00
101	1	1/2	4.25	2.12	1.011	1.274	9.34	6.37	7.41		14,500	1.71
106	1 1/2	1/2	7.00	3.75	1.011	1.555	11.66	7.78	9.23		24,000	2.58
120	1 1/2	1	8.75	4.37	1.017	1.960	14.00	9.90	11.50		31,000	3.67
140	1 1/2	1	10.00	5.00	2.119	2.117	16.31	10.59	12.15		46,000	4.89
160	2	1 1/2	11.25	5.62	2.50	2.522	18.65	12.61	14.51		50,000	6.61
200	2 1/2	1 1/2	15.62	7.81	3.12	3.120	27.50	15.60	17.72		95,000	10.96
240	3	1 1/2	18.75	9.37	3.75	3.750	26.00	18.95	21.87		130,000	16.50

heavy series—single strand

6011	1 1/2	1 1/2	4.60	2.11	1.25	1.115	7.00	5.58	6.27		8,500	1.22
6011	1	3/4	6.25	3.12	1.56	1.400	9.34	7.00	8.04		14,500	2.03
10011	1 1/2	1	7.50	3.75	1.87	1.601	11.66	8.42	9.60		24,000	3.04
12011	1 1/2	1	8.75	4.17	2.19	2.080	14.00	10.45	12.14		34,000	4.30
14011	1 1/2	1	10.00	5.00	2.50	2.241	16.31	11.21	12.76		46,000	5.50
16011	2	1 1/2	11.25	5.62	2.81	2.616	18.66	13.21	15.13		50,000	7.20
20011	2 1/2	1 1/2	15.62	7.81	3.75	3.374	23.34	16.67	19.04		95,000	12.30

*Holesless



standard series—double strand

Catalog No.	Dimensions (Inches)										Average Tensile Strength	Weight Per Foot
	Pitch	W. Roller Width	D. Roller Dia.	C. Pin Dia.	F. Plate Thickness	L. Width Over Pins	H. Inside Plate Height	IN	IM			
15-2	3/4	3/4	2.00	1.41	.950	.866	3.20	4.31	4.67		4,200	.48
10-2	3/4	3/4	3.12	1.56	1.040	1.215	4.66	5.97	6.62		7,400	.82
50-2	3/4	3/4	4.00	2.00	1.000	1.507	5.81	7.53	8.72		12,200	1.36
60-2	1	1/2	5.00	2.31	1.014	1.811	7.00	9.47	11.08		17,000	1.99
80-2	1	1/2	6.25	2.12	1.25	2.442	9.34	12.16	13.70		29,000	2.40
100-2	1 1/2	1/2	7.00	3.75	1.56	2.961	11.66	14.62	16.25		40,000	5.10
120-2	1 1/2	1	8.75	4.17	1.87	3.749	14.00	18.74	20.12		60,000	7.15
140-2	1 1/2	1	10.00	5.00	2.19	4.044	16.31	20.60	21.87		92,000	9.80
160-2	2	1 1/2	11.25	5.62	2.50	4.827	18.66	24.14	26.25		116,000	13.10
200-2	2 1/2	1 1/2	15.62	7.81	3.12	5.917	27.50	29.68	32.81		180,000	21.50
240-2	3	1 1/2	18.75	9.37	3.75	7.240	26.00	33.24	39.16		260,000	33.20

heavy series—double strand

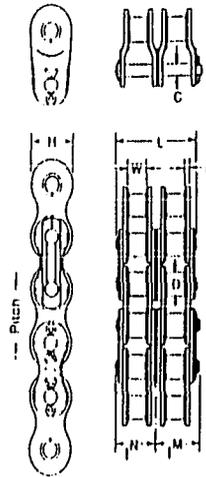
60211	1 1/2	1 1/2	4.60	2.11	1.25	2.140	7.00	10.74	11.66		17,000	2.41
80211	1	3/4	6.25	3.12	1.56	2.600	9.34	13.14	14.40		29,000	4.00
100211	1 1/2	1	7.50	3.75	1.87	3.220	11.66	16.14	17.50		48,000	5.70
120211	1 1/2	1	8.75	4.17	2.20	4.019	14.00	20.60	21.79		68,000	8.40
140211	1 1/2	1	10.00	5.00	2.50	4.303	16.31	23.50	24.70		92,000	10.80
160211	2	1 1/2	11.25	5.62	2.81	5.102	18.66	25.83	26.81		116,000	14.20
200211	2 1/2	1 1/2	15.62	7.81	3.75	6.462	23.34	32.51	34.48		190,000	24.30

*Holesless

All sizes available in hoisted construction. Sizes 60 and above available in roller construction. Please specify desired construction when ordering.

Standard multiple strand rollers are supplied with loose fit center plates. Loose pass fit center plates are available on special order.

Chains on this page should not be used for hoisting applications. Consult Morse for hoist application recommendations.



For roller chain and connector link clearance.

Lista de proveedores y distribuidores

- ▶ Distribuidores de equipo Warner
 - ▶ Industrial Magza S.A. de C.V.
Dr. Gustavo Baz 281, C.P. 53300, Hda. Echegaray,
Edo. de Mexico.
560-00-55 560-66-00 373-29-46 373-39-16
Fax 560-07-56
 - ▶ Warner Electric
446 Gardner Street, South Beloit, Illinois 61080
(815) 389-3771
Telex 210-189
 - ▶ (1) Precision ball bearing screws
Warner Precision ball Screws-Walterboro
Walterboro, South Carolina (803) 538-5040
 - ▶ (2) Electric clutches and brakes
Electric and Clutch Division
Roscoe, Illinois (815) 389-3771
 - ▶ (3) Overrunning Clutches
Formsprag-Warren Plant
Warren Michigan (313)758-5000
- ▶ Distribuidor de baleros SKF
 - ▶ Baleros y Suministros Industriales, S.A. de C.V.
Francisco Perez 11, C.P. 07780, México, D.F.
355-55-09 355-46-40 355-51-80 355-74-48
Fax 556-32-15
- ▶ Distribuidor de motorreductores Baldor
 - ▶ Reductores y Maquinaria Electromecánica, S.A. de C.V.
Xola 114, Col. Alamos, C.P. 03400, México D.F.
579-21-06 579-09-60 579-09-86
Fax 579-88-88
- ▶ Ferretería
 - ▶ Ferretería Monoalco, S.A. de C.V.
Insurgentes Norte 554, México, D.F.
541-68-47
- ▶ Distribuidor de solenoides
 - ▶ BLIT, S.A.
Bahía de Santa Bárbara 110, Col. Verónica Anzures,
México, D.F.
45-11-64 531-26-33 531-26-44
- ▶ Distribuidor de catarinas y cadenas
 - ▶ Cadenas y Transmisiones S.A.
Bucareli 188-B y C, C.P. 06040, México D.F.
512-91-14 512-91-15 518-45-77 521-22-31
- ▶ Distribuidor de tornillería
 - ▶ Casa del Tornillo S.A.
Patriotismo 165-A, C.P. 11800, México D.F.
- ▶ Distribuidor de cables de acero
 - ▶ Servicables S.A. de C.V.
Dr. Balmis 91-B, Col. Doctores, C.P. 06720, México D.F.
588-96-55 588-98-23 588-9098
Fax 578-04-11

Apéndice 3

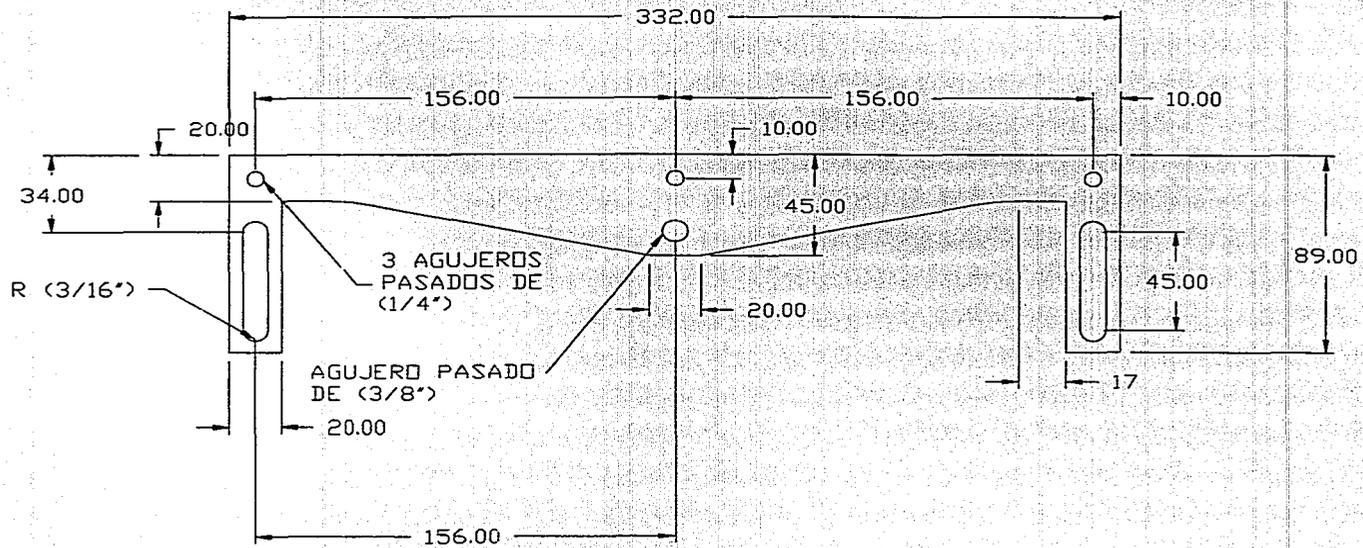
Diseño del Mecanismo Actuador del "Módulo de Interrupción"

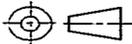
Se presenta el siguiente *paquete de información*:

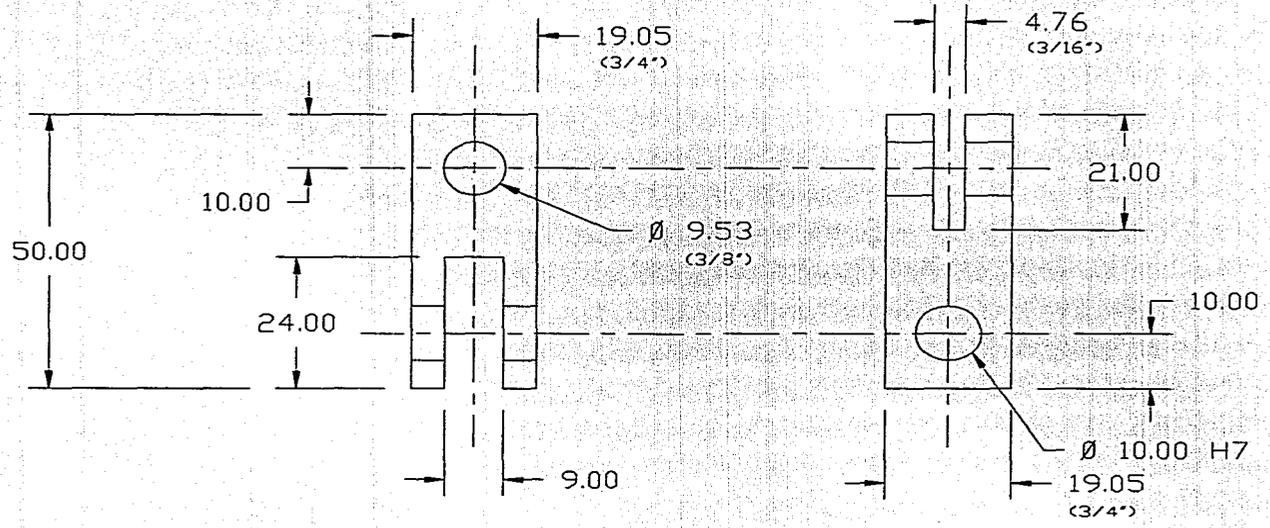
- 1) Lista de planos**
- 2) Planos**
- 3) Lista de partes manufacturadas**
- 4) Lista de partes compradas**

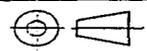
**Lista de planos del Mecanismo Actuador
del "Módulo de Interrupción"**

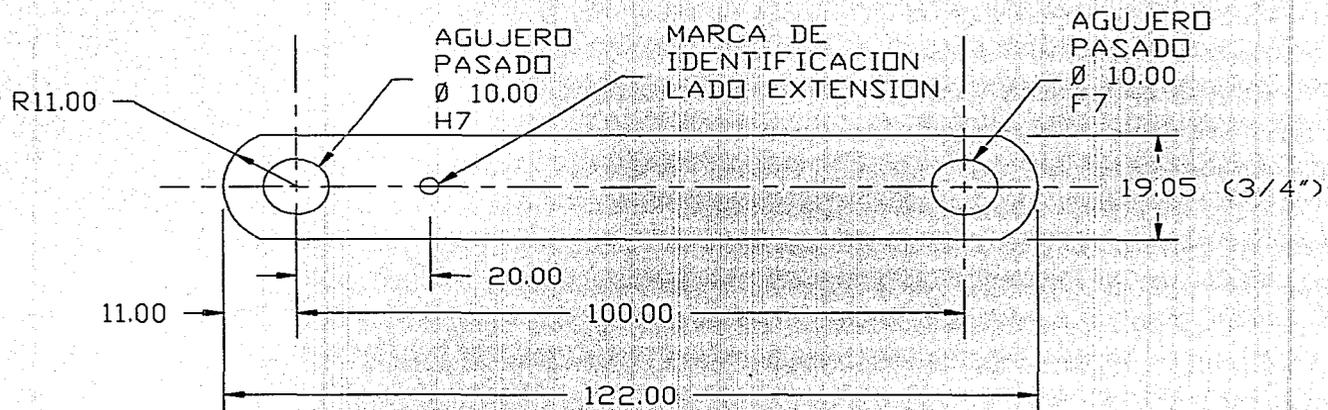
No.	Título	Tamaño
MA01	Barra de actuacion	A4
MA02	Extension	A4
MA03	Biela	A4
MA04	Manivela	A4
MA05	Eje motriz	A4
MA06	Bujes	A4
MA07	Pernos	A4
MA08	Seguro E (E-Ring 5133-37)	A4
MA10	Ensamble	A4

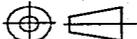


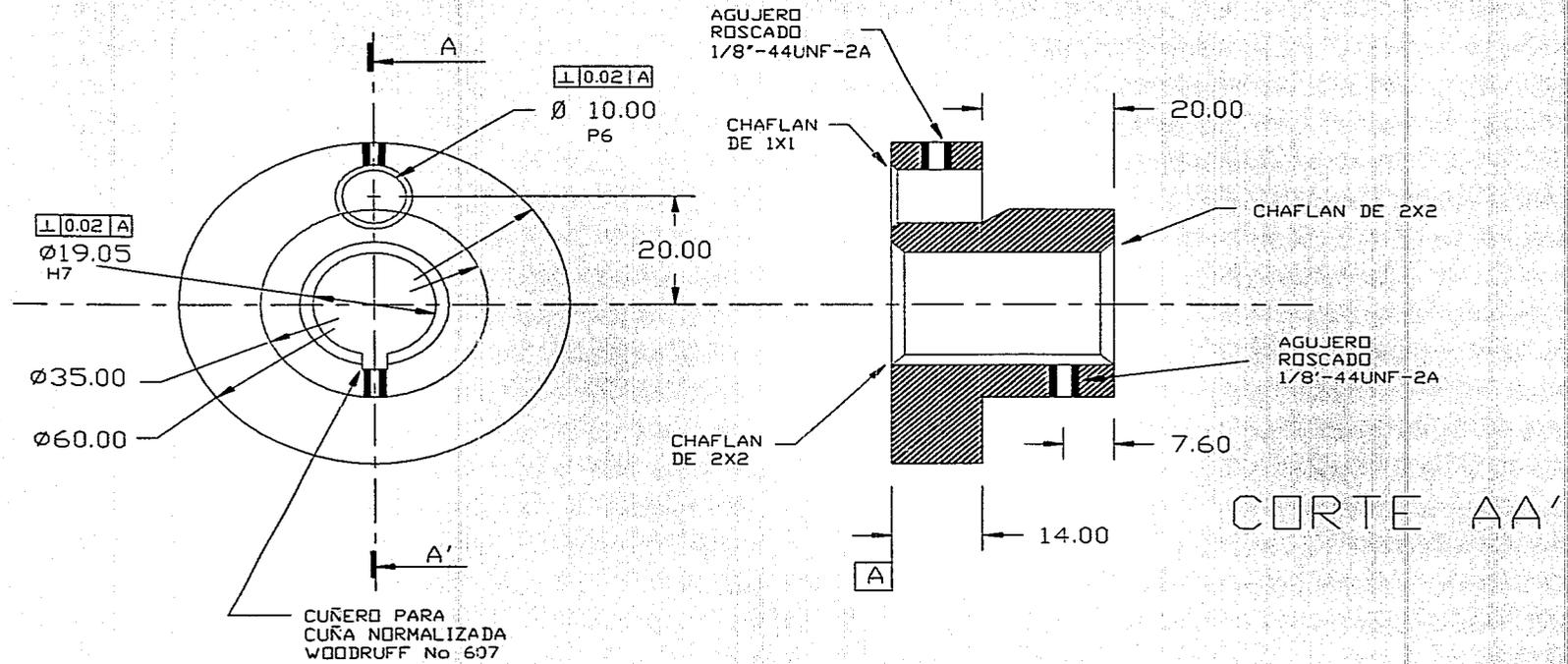
	PROYECTO: MODULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: BARRA DE ACTUACION	FECHA: 17/11/91	ESCALA: 1:2.5	No PIEZA: MA01
	DISEÑO: JML	DIBUJO: JML, DABP	MATERIAL: PLACA (3/16") ACERO INOXIDABLE AISI 316		ACOT: mm	No PLANO: MA01



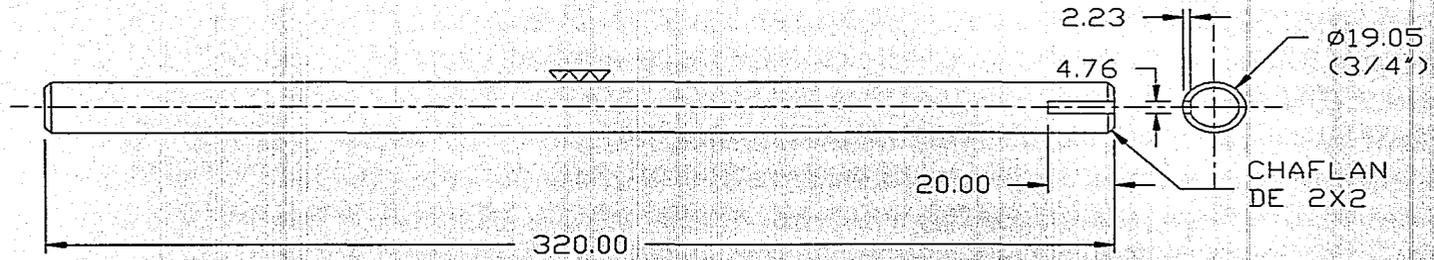
	PROYECTO: MÓDULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: EXTENSION	FECHA: 17/11/91	ESCALA: 1:1	No PIEZA: MA02
	DISEÑO GABP	DIBUJO: GABP	MATERIAL: CUADRADO DE (3/4") ACERO INOXIDABLE AISI 316		ACOT: mm	No PLANO: MA02

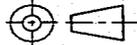


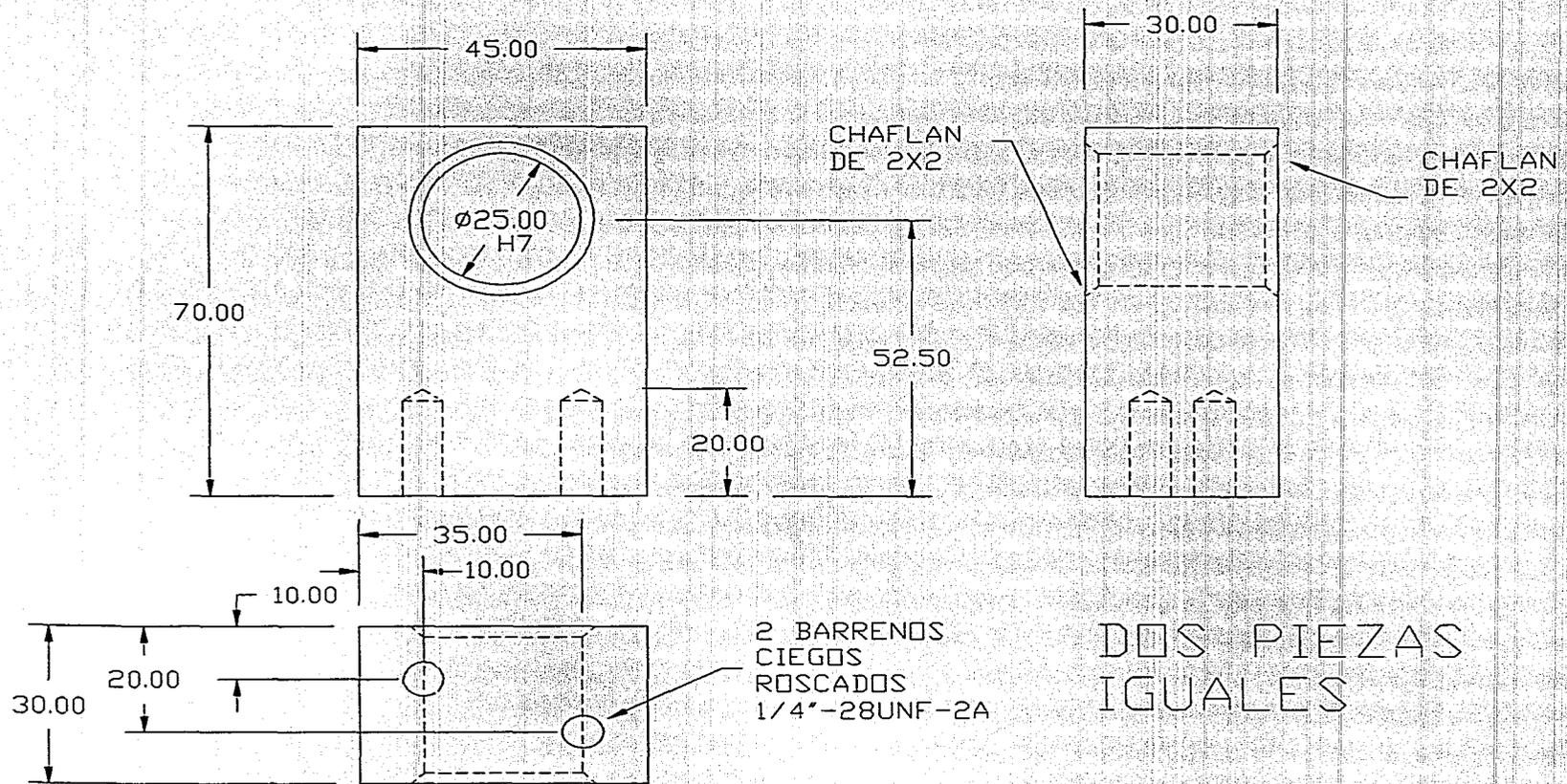
	PROYECTO: MODULO DE ACTUACION		SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR		NOMBRE DE LA PIEZA: BIELA		FECHA: 17/11/91		ESCALA: 1:1		No PIEZA: MA03	
	DISEÑO: JML		DIBUJO: DABP		MATERIAL: PLACA (5/16") ACERO INOXIDABLE AISI 316				ACOT: mm		No PLANO: MA03	



	PROYECTO: MODULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: MANIVELA	FECHA: 17/11/91	ESCALA: 1:1	No PIEZA: MA04
	DISEÑO JML	DIBUJO: DABP	MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AISI 316		ACOT: mm	No PLANO: MA04

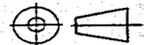


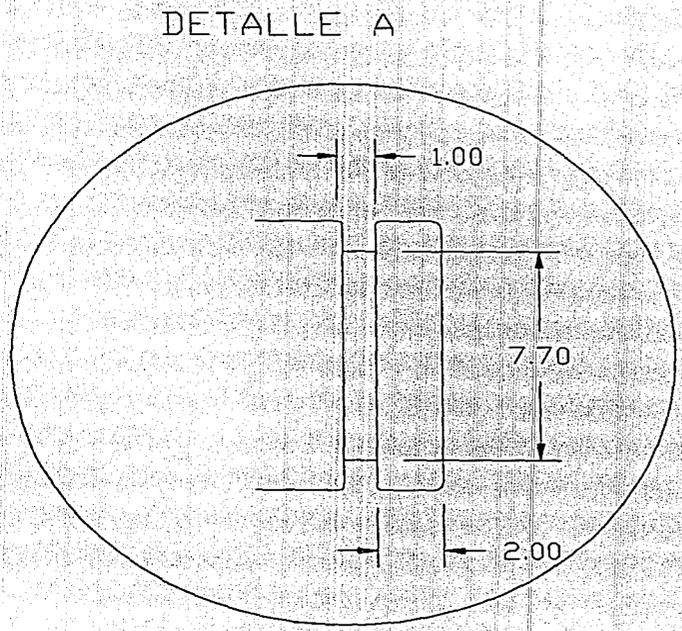
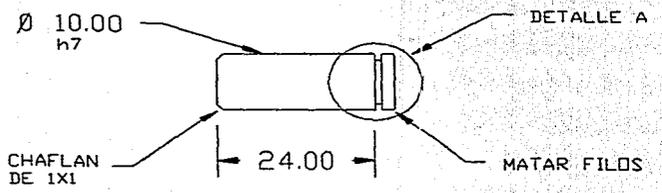
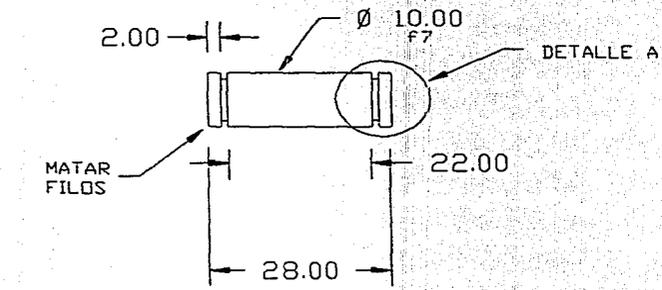
	PROYECTO: MODULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: EJE MOTRIZ	FECHA: 17/11/91	ESCALA: 1:2	No PIEZA: MA05
	DISENO JML	DIBUJO: QABP	MATERIAL: REDONDO ACERO INOXIDABLE AISI 316		ACOT: mm	No PLANO: MA05



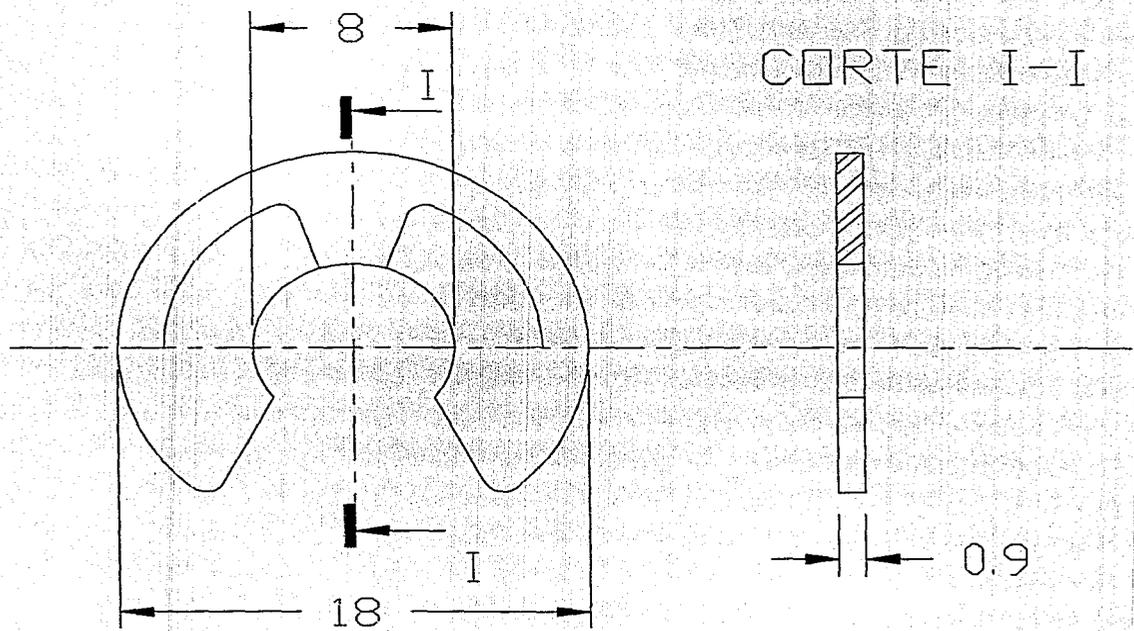
DOS PIEZAS
IGUALES

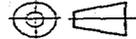
2 BARRENOS
CIEGOS
ROSCADOS
1/4"-28UNF-2A

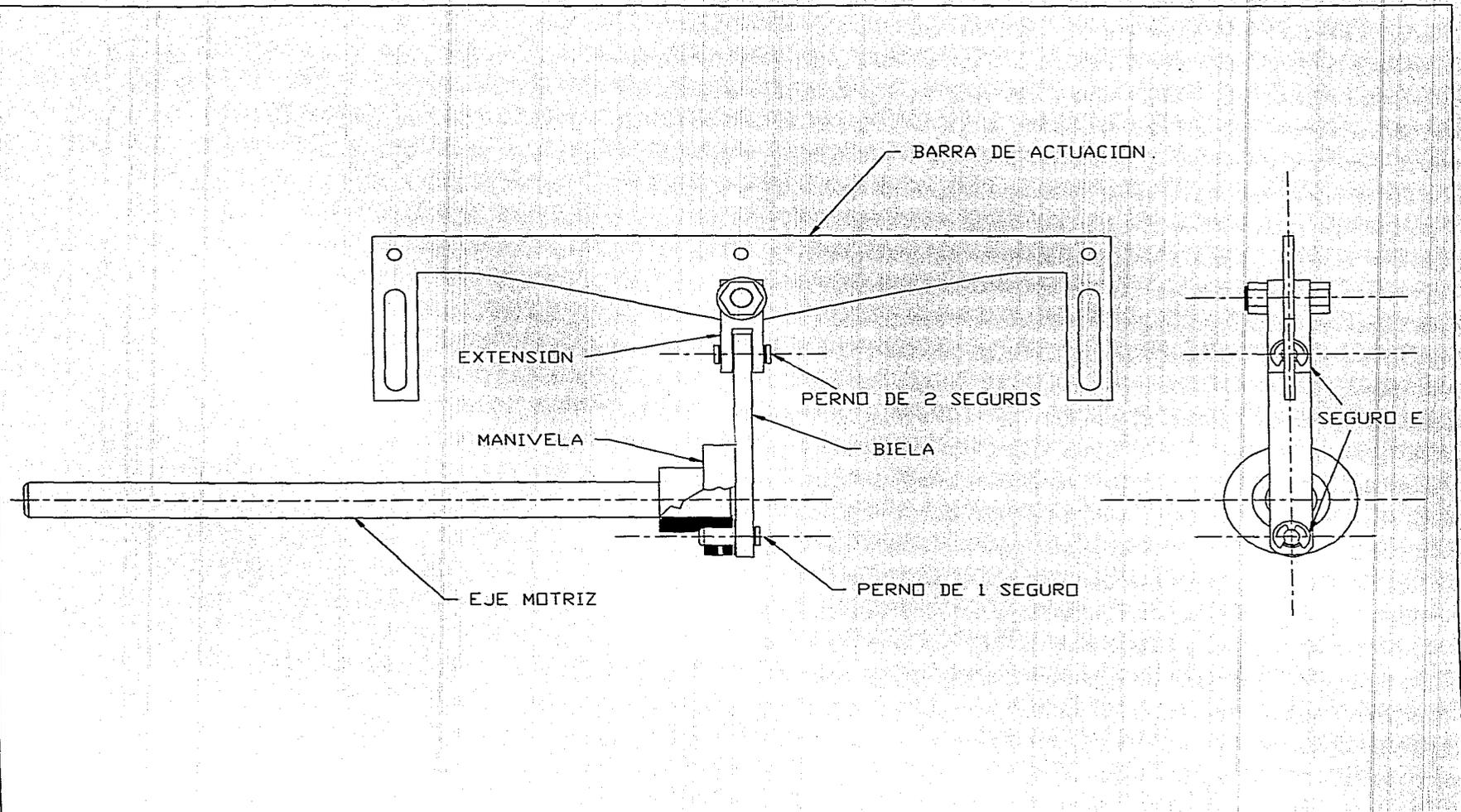
	PROYECTO: MÓDULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: BUJES	FECHA: 17/11/91	ESCALA: 1:1	No. PIEZA: MA06
	DISEÑO JML	DIBUJADO: GABP	MATERIAL: BRONCE FOSFORADO		ACOT: mm	No. PLANO: MA06



	PROYECTO: MODULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: PERNOS	FECHA: 17/11/91	ESCALA: 1:1	No PIEZA: MA07
	DISEÑO JML	DIBUJO: DABP	MATERIAL: ACERO INOXIDABLE AISI 316		ACOT: mm	No PLANO: MA07



	PROYECTO: MODULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: Seguro E (5133-37)	FECHA: 17/11/91	ESCALA: S/E	No PIEZA: MA08
	DISEÑO: CABP	DIBUJO: CABP	MATERIAL: SAE 1075 DE VALDES KOHLDOOR. INC. TRUARC RETAINING RINGS DIV.	NOTA: CONSULTAR CATALOGO		ACOT: mm



	PROYECTO: MÓDULO DE ACTUACION	SISTEMA: MECANISMO ACTUADOR	NOMBRE DE LA PIEZA: ENSAMBLE	FECHA: 17/11/91	ESCALA: 1:1	No PIEZA: MA10
	DISEÑO JML	DIBUJO: <input type="checkbox"/> ABP	MATERIAL:		ACOT: 	No PLANO: MA10

**Lista de partes manufacturadas del Mecanismo Actuador
del "Módulo de Interrupción"**

No. de pieza	Cantidad	Nombre	Material	Fabricante	País	No. de Plano
MA01	1	Barra de actuación	Acero inox. AISI 316	Taller IIE	México	MA01
MA02	1	Extensión	Acero inox. AISI 316	Taller IIE	México	MA02
MA03	1	Biela	Acero inox. AISI 316	Taller IIE	México	MA03
MA04	1	Manivela	Acero inox. AISI 316	Taller IIE	México	MA04
MA05	1	Eje motriz	Acero inox. AISI 316	Taller IIE	México	MA05
MA06	2	Bujes	Bronce fosforado	Taller IIE	México	MA06
MA07	2	Pernos	Acero inox. AISI 316	Taller IIE	México	MA07

**Lista de partes compradas del Mecanismo Actuador
del "Módulo de Interrupción"**

No. de pieza	Cantidad	Nombre	Material	Proveedor	País	No. de plano
MA08	2	Seguros E	SAE 1075	Waldes Kohlnoor	EUA	MA08
MA09	1	Tornillo y tuerca 3/8"	Acero inox. AISI 316	Casa del tornillo	México	—

Apéndice 4

Índice de ilustraciones

Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño

- Ilustración 1 ... Dimensiones del diseño
- Ilustración 2 ... Costo del cambio durante el ciclo del producto
- Ilustración 3 ... Costo e influencia de la etapa de Diseño
- Ilustración 4 ... Ciclo de producto único
- Ilustración 5 ... Ciclo de producto en serie
- Ilustración 6 ... Diseño del producto
- Ilustración 7 ... Diseño progresivo o lineal
- Ilustración 8 ... Diseño por soluciones validadas
- Ilustración 9 ... Diseño con aplicación de conocimientos
- Ilustración 10 .. Proceso de Solución de Problemas en la Ingeniería de Diseño
- Ilustración 11 .. Espectro de las funciones ingenieriles
- Ilustración 12 .. Etapas, subetapas y actividades
- Ilustración 13 .. Concepto de iteración
- Ilustración 14 .. Proceso de creación de un producto, sus etapas y fronteras
- Ilustración 15 .. Estructura de las etapas
- Ilustración 16 .. Clarificación del problema
- Ilustración 17 .. Métodos de planeación
- Ilustración 18 .. Diseño conceptual
- Ilustración 19 .. Sistema, subsistemas y componentes
- Ilustración 20 .. Herramientas para toma de decisiones
- Ilustración 21 .. Generación y selección de alternativas
- Ilustración 22 .. Diseño de configuración
- Ilustración 23 .. Elementos del costo
- Ilustración 24 .. Ley de Pareto de la distribución de costo
- Ilustración 25 .. Diseño de detalle
- Ilustración 26 .. Desarrollo del producto y del proceso
- Ilustración 27 .. Revisión del diseño
- Ilustración 28 .. Comunicación de la solución

**Índice de ilustraciones
(continuación)**

Proyecto "Módulo de Actuación"

- Ilustración 29 .. Módulos del seccionador automático inteligente
- Ilustración 30 .. Calendario de actividades
- Ilustración 31 .. Fronteras del sistema (módulo de actuación)
- Ilustración 32 .. Subsistemas del módulo de actuación
- Ilustración 33 .. Subsistema convertidor
- Ilustración 34 .. Subsistema de almacenamiento
- Ilustración 35 .. Subsistema disparador
- Ilustración 36 .. Subsistema de transmisión
- Ilustración 37 .. Subsistema estructural
- Ilustración 38 .. Opción con resorte de compresión
- Ilustración 39 .. Opción con resorte de torsión
- Ilustración 40 .. Botella del módulo de interrupción
- Ilustración 41 .. Gráfica mecanismo de barras (velocidad)
- Ilustración 42 .. Gráfica mecanismo de barras (grados)
- Ilustración 43 .. Gráfica biela-manivela-corredera (velocidad)
- Ilustración 44 .. Gráfica biela-manivela-corredera (grados)
- Ilustración 45 .. Módulo de interrupción
- Ilustración 46 .. Comportamiento de mecanismo biela-manivela
- Ilustración 47 .. Comportamiento de mecanismo biela-manivela
- Ilustración 48 .. Comportamiento de mecanismo biela-manivela
- Ilustración 49 .. Interruptor y mecanismo
- Ilustración 50 .. Primera configuración
- Ilustración 51 .. Segunda configuración
- Ilustración 52 .. Tercera configuración
- Ilustración 53 .. Cuarta configuración