



24.4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

MODELO EXPERIMENTAL PARA LA TRANSFORMACION DE ENERGIA SOLAR EN ENERGIA MECANICA

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a n

CARLOS ANTONIO ACUÑA NAVARRETE
MANUEL JOSE MACGREGOR GARCIA
CARLOS ROJAS GUTIERREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
1. MARCO GENERAL Y OBJETIVOS	5
2. EL ENFOQUE DE SISTEMAS	13
2.1. La situación Real y su Conceptualización	17
2.2. El Marco Conceptual	21
2.3. El Modelo Formal	22
3. UNIDAD DE REFLEXION - RECEPCION	23
3.1. La Subunidad de Reflexión	25
3.1.1. Colectores de Energía Solar	26
3.1.2. Colector Focal Parabólico	36
3.2. La Subunidad de Recepción	46
3.2.1. La Transferencia de Calor por Radiación	47
3.2.2. Absorción, Reflexión y la Transmisión de la Radiación	49
3.2.3. El Cuerpo Negro y la Ley de Kirchoff	51
3.3. Análisis de la Unidad de Reflexión Recepción	54
3.3.1. Balance de Energía	54

4. UNIDAD DE TRANSFORMACION	61
4.1. Antecedentes	61
4.2. Ciclo Termodinámico Ideal	65
4.3. Ciclo Termodinámico Real	81
5. EL MODELO REAL	88
5.1. La Unidad de Reflexión - Recepción	90
5.1.1. Subunidad de Reflexión	90
5.1.2. Subunidad de Recepción	92
5.2. Unidad de Transformación	92
5.2.1. Modelo Beta de Diafragma	93
5.2.2. Modelo Gama de Pistón	94
5.2.3. Modelo Gama de Diafragma	95
5.3. Vistas Generales y Planos de Fabricación	97
5.4. Memoria Fotográfica	118
6. CONCLUSIONES	126
BIBLIOGRAFIA	133

INTRODUCCION

Los países económicamente avanzados y los subdesarrollados poseen tecnologías diferentes que obedecen a su propia evolución histórica. Por una parte, como resultado de la Revolución Industrial del Siglo XIX y como expresión del desarrollo económico generado por la misma, la tecnología moderna fué creada básicamente en los Estados Unidos e Inglaterra. Por otro lado, los países del tercer mundo sirvieron como exportadores de materias primas, - con tecnologías y métodos de extracción simples que rara vez generaban un producto de Manufactura.

Al tratar de incrementar el volumen de extracción de materias primas en los países subdesarrollados, se inició un proceso de "modernización tecnológica" que consistió en la aplicación de técnicas elaboradas en los países industrializados y que consecuentemente obedecían a las relaciones de producción de estos países. Algunas de estas técnicas pretendían mejorar factores de producción tales como la irrigación y la explotación de las minas, mientras otras se enfocaban a aumentar la capacidad de producción agrícola mediante la introducción de semillas mejoradas y la utilización de fertilizantes y pesticidas.

La introducción de tecnologías ajenas al ámbito de los países subdesarrollados originó una serie de problemas de diversa índole debido a que:

1. Los modos de producción y la organización social es diferente.
2. El medio ambiente característico de los países industrializados y el de los países del tercer mundo es diferente y obedece a diversas cualidades tanto como a limitaciones y necesidades.
3. Las condiciones iniciales en ambos grupos de países, - abundancia de capital y alto costo y escasez de la mano de obra en los industrializados contra escasez de capital y bajo costo y abundancia de mano de obra en los países del tercer mundo, propician un diferente tipo de desarrollo tecnológico.

Reconocida y aceptada esta tesis, algunos científicos originarios de países industrializados (principalmente el grupo encabezado por el Prof. Schumacher), han propuesto como solución para abatir el problema de innovación tecnológica en los países subdesarrollados un retorno puro y simple al pasado y han elaborado toda una teoría que preconiza la utilización de tecnologías intermedias o suaves. Este tipo de tecnologías, aunque se basa en el conocimiento tecnológico tradicional de las comunidades no aportan más que soluciones extremadamente simplistas escondiendo en el fondo su propósito neocolonizador.

En el presente trabajo se propone un estilo de desarrollo tecnológico autónomo e independiente en el cual los centros de investigación especializados o incluso empíricos desarrollen conjuntamente con las comunidades rurales innovaciones tecnológicas. La tecnología autogenerada por la comunidad y apoyada ésta por grupos de técnicos y científicos requiere una investigación profunda de los posibles usos eficientes de la tecnología, sistematiza los conocimientos y da solución a problemas técnicos a partir de los conocimientos adquiridos con el paso del tiempo por la propia comunidad contando con el apoyo de los técnicos externos a ésta.

Con base en el planteamiento anterior, en el Capítulo 1 se presenta el Marco General que conceptualiza y sirve como "hilo conductor" de la investigación. Además se definen explícitamente los objetivos de la misma.

En el Capítulo 2, se describe la metodología aportada por la Teoría de Sistemas, incluyendo también el análisis de la -- situación real en la que se pretende incidir, la conceptualización técnica y el modelo formal.

En los Capítulos 3 y 4, se resumen brevemente los -- principales elementos teóricos utilizados para el desarrollo de la investigación técnica.

Dentro del Capítulo 5 se muestra el modelo real, sus variantes así como los resultados prácticos del modelo. En el -- mismo capítulo se incluyen los diseños técnicos y una memoria fotográfica de los trabajos.

Finalmente, se presentan las conclusiones y bibliografía. Resulta obvio señalar que los errores y omisiones son -- responsabilidad única de los autores.

1. MARCO GENERAL Y OBJETIVOS

México es un país atrasado y dependiente. Inserto en el marco de la economía mundial, su ubicación subordinada le asigna una función específica, de tal manera que su desarrollo está condicionado no solo por situaciones internas, sino también por procesos de carácter internacional.

Reconociendo nuestra economía como subordinada y dependiente, el problema del atraso de la sociedad mexicana no se nos presenta exclusivamente como una cuestión conceptualizable en términos puramente cuantitativos, sino una cuestión que está directamente relacionada con la naturaleza y direccionalidad de nuestro desarrollo.

Creemos válida la aplicación a México del concepto --

de subdesarrollo por cuanto hace referencia no solo al grado, sino particularmente al tipo y calidad de su proceso socio-económico. Como país subdesarrollado, México padece tanto los problemas de su atraso relativo como las distorsiones y desequilibrios de su articulación subordinada al sistema capitalista mundial.

El subdesarrollo de nuestro país se manifiesta bajo las formas de franco atraso tecnológico, dependencia creciente de la tecnología extranjera y distorsión de la base tecnológica nacional. Precisamente porque su proceso económico no es autocentrado, el desarrollo tecnológico de México no se estructura exclusivamente en función de variables internas, sino como efecto de factores externos distorsionantes y desequilibrados. Las transferencias por concepto de importación de tecnologías constituyen un renglón vital en el desequilibrio de la balanza comercial y de pagos, además de que la adopción de tecnologías diseñadas en países avanzados son fuente de ineficiencias que agravan paulatinamente el desequilibrio existente ¹.

1

Las tecnologías originarias de los países desarrollados son diseñadas para ser aplicadas en sus particulares contextos socioeconómicos, es decir, en condiciones de abundancia relativa de capital y escasez y alto costo de la mano de obra, situación diametralmente opuesta a la que prevalece en México.

Indisolublemente articulada al mercado mundial, la base productiva de nuestro país tiene que adaptarse, por lo menos parcialmente, a las condiciones que le impone el medio externo. En consecuencia, debe adoptar tecnologías competitivas, independientemente de que su generalización resulte extralógica.

Rasgo peculiar de México y, en general, de los países subdesarrollados es la profunda desigualdad de niveles que presenta su compleja problemática tecnológica. Esta coexistencia, a veces contradictoria y casi siempre conflictiva de las soluciones tecnológicas, se muestra de manera particular en el medio rural nacional.

Sustento de la economía nacional por muchos años, actualmente el sector agropecuario nacional se caracteriza por la supervivencia de una masa cuantitativamente abrumadora de pequeños productores directos, imposibilitados para satisfacer los requerimientos de materias primas que demanda la sociedad en general. No siendo más que un sector subordinado dentro de una economía que lo refuncionaliza y le asigna un papel de acuerdo con las necesidades de desarrollo, de la misma forma provoca que el sector agropecuario adolezca de los mismos desequilibrios que se presentan dentro de toda la economía nacional.

Ancestralmente, el pequeño productor rural ha gene

rado su propia tecnología adecuándola a su condición de existencia, a pesar de ésto, el desarrollo tecnológico independiente y, en cierta medida, autogenerado, se ha visto progresivamente bloqueado por sucesivos intentos de aplicar un proceso tecnológico extrovertido que se basa en la importación de soluciones alternativas que en todos los casos tienden a suplir y nunca a complementar las tecnologías tradicionales. Asimismo, al continuar importando soluciones tecnológicas diseñadas en otros contextos -- socioeconómicos estas conllevan a profundizar aún más la brecha tecnológica que nos separa de las naciones avanzadas, además de seguir afectando seriamente nuestra balanza comercial y de pagos. En este mismo sentido, el mantener una política indiscriminada -- en lo que a la transferencia de tecnología se refiere implica el bloqueo permanente y sistemático a los intentos de algunos -- científicos mexicanos que promueven el desarrollo de nuestra propia tecnología a partir de un proceso tecnológico autónomo, tomando como punto de partida las condiciones tanto técnicas como socioeconómicas que prevalecen en nuestro país ².

² Cabe señalar que esa corriente de científicos es minoritaria -- en México. A diferencia de los países adelantados, donde la mayor parte de la investigación científico-tecnológica se realiza sobre temas que directa o indirectamente están orientados a resolver sus necesidades y cumplir con sus objetivos nacionales, en México, la mayor parte de la investigación que se efectúa guarda muy poca relación con las necesidades más apremiantes de los sectores mayoritarios de la población.

Si bien la situación en el medio rural es una especie de "continuo", donde las unidades productivas a la vez consumen diversas cantidades de su propio producto, están tecnificadas - en mayor o menor grado, y tienen posibilidades de acumular capital con disímiles ritmos, resulta innegable distinguir en uno de los extremos de este "continuo" a un sector de la producción rural, el cual se ha configurado con base en tecnologías modernas de importación (naturalmente a costa de dismantelar por completo la unidad campesina tradicional), mientras que en el otro extremo, otro sector, socialmente mayoritario, se ha mostrado - renuente a la asimilación tecnológica, solo que su racionalidad tecnológica propia se ha ido estancando e incluso degradando.

El desarrollo logrado por el sector "moderno" o capitalista solo ha sido posible gracias a un exagerado costo social y, de manera muy importante, ha dependido en gran medida del -- proteccionismo oficial, mientras que el sector atrasado se ha - limitado a sobrevivir; sin embargo, su existencia no es en modo alguno marginal, su aportación de productos agropecuarios sigue siendo importante y su condición de fuente de mano de obra abundante, barata y parcialmente autosostenida, es una de las ventajas importantes de las que goza la economía en su conjunto. Aún cuando ambos sectores están en crisis, la alternativa de desarrollo agropecuario mediante la importación indiscriminada y la sustitución no complementaria de tecnología no parece, en pers-

pectiva, el camino viable para México.

Por otra parte, en los últimos años en algunas áreas de la investigación científico-tecnológica que se realiza en México, se han obtenido logros importantes que han contribuido a resolver algunos problemas específicos y, aunque esos logros permiten augurar un futuro promisorio en lo que a ese tipo de investigaciones se refiere ³, es innegable que esos esfuerzos no han sido encauzados a proporcionar elementos que contribuyan sustancialmente al desarrollo económico y social de las grandes mayorías, sino que han sido ceñidas a resolver problemas de índole particular, propios de intereses minoritarios, que de ninguna manera corresponden a los que afrontan los sectores mayoritarios de la población. Asimismo, es necesario señalar que la investigación en nuestro país es en muchos sentidos muy limitada, principalmente en lo referente a los recursos de los que se dispone para su realización ⁴.

3

Los logros obtenidos en ingeniería civil, hidráulica, petroquímica, etc., han puesto de manifiesto la potencialidad de las investigaciones que se podrían realizar en México.

4

El monto de los recursos que destina el Estado mexicano para la investigación, evidencia la poca preocupación de éste por impulsar este tipo de actividades.

Mientras que en México, en el año de 1971, se destinaba el 0.2 por ciento del producto nacional bruto (PNB) a investigación y desarrollo, en los países más evolucionados ese porcentaje era siempre superior al 1.5 por ciento del PNB.

Pero si bien la falta de recursos de la que adolecen nuestras investigaciones es un factor importante, resulta desalentador que la gran mayoría estén severamente distanciadas -- de las necesidades propias de nuestra organización social; Esto se evidencia analizando la amplia brecha que existe entre el contenido de las investigaciones y las necesidades más apremiantes de los sectores mayoritarios de la población.

Ahora bien, no es propósito de este capítulo analizar exhaustivamente el tipo, los recursos, las condiciones ni las limitaciones de la investigación que se realiza en México. Fundamentalmente, el objetivo de este capítulo se ha circunscrito a formular el marco general y señalar los objetivos que persigue el presente trabajo ya que, aun considerando todas sus carencias y defectos, el enfoque con el cual se planteó la investigación e incluso los objetivos mismos difieren sensiblemente (en sentido cualitativo) de los elementos primordiales que es tradicional definan el contenido de las investigaciones que se llevan a cabo en México.

Así pues, el planteamiento de este trabajo obedece principalmente a dos razones fundamentales: por un lado, tratar de colaborar -aunque modestamente- en la solución de problemas específicos que atañan directamente a sectores mayoritarios de la población. En este mismo sentido, se señala la necesidad que existe en nuestro país por la realización de -

este tipo de investigaciones, es decir, alejándose de las fórmulas tradicionales que pregonan la realización de la "investigación por la investigación misma", ubicando ésta al margen del contexto socioeconómico del país. Anteriormente se señaló la necesidad de que las investigaciones a realizar tomen como punto de partida las condiciones tanto técnicas como socioeconómicas que prevalecen en nuestro país, y que como objetivo fundamental se dirijan a resolver problemas que afecten directa o indirectamente a sectores mayoritarios de la población.

Por otro lado, nos proponemos patentizar la capacidad para diseñar nuestra propia tecnología a partir de un contexto social definido - en este caso, el medio rural-, pretendiéndose, en última instancia, que la innovación tecnológica que se presenta pueda ponerse al servicio del sector mayoritario del campo mexicano.

Por último, resulta evidente que aun cuando el sistema se presenta en la etapa de experimentación y, estando conscientes de que el proceso de implantación es largo y difícil, - resulta innegable que cualquier progreso que se realice en el sentido de fortalecer el sistema científico-tecnológico de México, partiendo del enfoque que aquí se le da, conllevará a que el desarrollo de este tipo de trabajos ocupe un papel vital - cuando se den las condiciones propicias para el proceso de cambio.

2. EL ENFOQUE DE SISTEMAS

A partir de la década de los cuarenta, el enfoque de sistemas se ha utilizado para la solución de problemas de diversos campos científicos y tecnológicos, problemas en los que incluso este tipo de enfoque se ha vuelto indispensable. Esta característica y el hecho de que represente un nuevo paradigma en el pensamiento científico ha tenido por consecuencia que el concepto de sistema pueda ser definido y abordado en diferentes formas, según lo requieran los objetivos de la investigación -- que se esté llevando a cabo. Pero esto no implica que lo que de ba definirse como sistema tenga respuesta sencilla o trivial, -- sino todo lo contrario. Por una parte resulta evidente que una galaxia, una célula o un átomo constituyen sistemas reales, -- esto es, entidades percibidas mediante la observación y que --

existen independientemente del observador; por otra parte, - están los sistemas conceptuales como la lógica y las matemáticas que son ante todo construcciones simbólicas, es decir, sistemas conceptuales correspondientes a la realidad.

Así pues, la existencia de gran variedad de sistemas y el hecho de que la concepción sistémica haya sido -- utilizada en áreas tan disímiles, han tenido como consecuencia que los científicos especialistas en esta área no hayan_ logrado definir con precisión los campos que corresponden a_ la teoría general de sistemas.

A pesar de lo anterior, el punto de vista proporcionado por la teoría mencionada se ha compenetrado de tal ma_ nera en el ánimo de los científicos que hoy en día, por ejem_ plo, como señala Von Bertalanffy, en el caso de la tecnolo-- gía se ha terminado pensando no ya en términos de máquinas -- aisladas, sino de sistemas. En efecto, una máquina de vapor, - un automóvil o un receptor de radio caían dentro de la compe_ tencia de un ingeniero adiestrado en la respectiva especiali_ dad; actualmente, los proyectos tecnológicos han avanzado a - tal grado que para llevarlos a cabo es necesario utilizar com_ ponentes que proceden de ciencias y tecnologías heterogéneas: ingeniería mecánica, estadística, sociología, economía, etc.

Así una de las ideas básicas del enfoque de siste_ mas es, evidentemente, el concepto de sistema. En su acepción

más general, un sistema se define como un grupo de entidades y actividades con vínculos significativos y límites bien señalados que se interrelacionan entre sí para el logro de metas - - específicas. Las diversas entidades y actividades que se encuentran estrechamente relacionadas entre sí, si los requisitos de la investigación lo requieren, pueden a su vez considerarse como subsistemas.

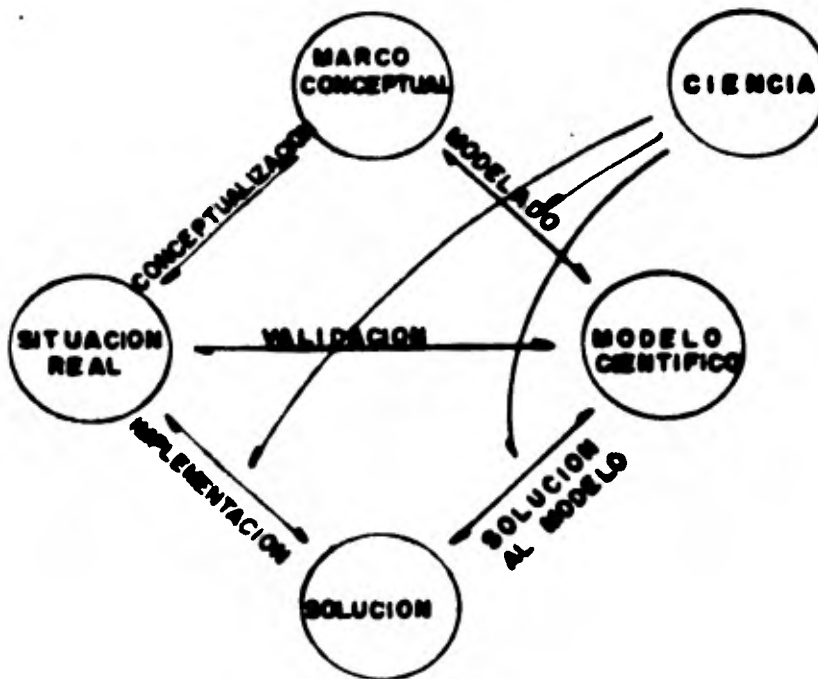
La conexión entre los objetos o actividades tiene carácter diverso: unos procesos están vinculados directamente y otros a través de una serie de eslabones intermedios, pero lo que es importante señalar es que la conexión implica siempre interdependencia, interrelación.

Todos los sistemas se forman únicamente como resultado de la acción recíproca de los elementos que lo integran. Cada proceso y el mundo en su conjunto constituyen un complejo sistema de relaciones, cuyo aspecto esencial es la conexión e interacción de las causas y los efectos.

Otro de los aspectos importantes de la teoría general de sistemas es que todo sistema puede ser elemento de uno mayor del que forma parte. De igual forma, un elemento del sistema inicial será un sistema si se considera su estructura interna, sus nexos internos. Pero esta relatividad, de la cual depende el objetivo del análisis, de ninguna manera convierte al concepto de sistema en algo subjetivo, inventado por el - -

hombre para clasificar los fenómenos con mayor comodidad, pues los sistemas existen objetivamente, como entes íntegros ordenados.

Una premisa fundamental del enfoque sistémico es - que el análisis debe realizarse siguiendo un cierto orden, un método determinado, aún cuando cada etapa metodológica pueda - derivar en un proceso complejo. La siguiente figura es una representación simplificada de dicho método, a través de los subsistemas que lo integran y las relaciones existentes entre cada uno de ellos.



Aunque la parte medular de este trabajo se refiere al desarrollo del denominado "modelo científico", resulta obvio que antes de llegar a él fue necesario estudiar la situación real -- que nos interesa, conceptualizándola; por ello, a continuación se presenta una descripción aunque general, de dos de las etapas del método representado en la figura: la "situación real" y su conceptualización, así como el "marco conceptual".

2.1 La situación real y su conceptualización

Quien se enfrenta a una "situación real" o "situación problemática" construye una imagen mental de ésta que puede denominarse "modelo conceptual" de la situación, la cual constituye la base para el desarrollo de una representación formalizada de la realidad. A esta representación formalizada de la realidad se le denomina "modelo científico" (o formal) de la situación problemática inicial.

El subsistema denominado "situación real" consiste en el análisis y consideración de todos los aspectos del mundo real que tienen que ver con la situación problemática en estudio. Es obvio que diferentes observadores definirán diferentes "realidades" con base en los elementos de que dispongan, así como de los juicios de valor que guíen su análisis. En efecto, una misma situación podrá ser conceptualizada de diferente manera por un ingeniero, un sociólogo o un filósofo. Lo anterior evidencia la necesidad --principalmente en el caso de situaciones con un alto

grado de complejidad y con elementos sociales relevantes- del trabajo interdisciplinario para una eficaz conceptualización de la realidad.

En la mayoría de los casos, el estudio de la realidad tiene por objeto resolver problemas de muy diversa índole. Es por esto que el entender claramente las diferentes características de una situación problemática es de suma importancia, ya que de su análisis dependerá que las soluciones -- que se aporten sean lo más correctas posibles.

A partir del marco general expuesto en el capítulo 1, resulta evidente que el contexto social en el que pensamos incidir se presenta con un alto grado de complejidad. En efecto, como sucede en cualquier sector de la sociedad, en el medio rural se desarrollan en todo momento una serie de procesos técnicos y socioeconómicos, con actores sociales específicos que como grupos actúan en vista a "intencionalidades" determinadas ¹. En consecuencia, la identificación y valoración de los procesos, así como la consideración de todos los elementos que intervienen directa o indirectamente en la problemática rural, constituirá la base para definir con mayor precisión y objetividad un marco conceptual correcto. En caso --

¹ La identificación de "actores" o "sujetos sociales", en términos de la "intencionalidad" (o propósito de actuar) -- que le es común y que los identifica como grupos, es un elemento metodológico de la teoría general de sistemas, -- cuyo uso es fundamental para este tipo de análisis.

contrario, el no considerar como elementos primordiales del análisis a los procesos que se efectúan y descartar elementos que podrían ser importantes o influir dentro del medio rural, significaría partir de supuestos e hipótesis que en la mayor parte de los casos conducirían al planteamiento de un marco conceptual -- erróneo, por lo que las soluciones que se obtuvieran tendrían -- un carácter simplista y poco efectivo.

Como se señaló anteriormente, son el conjunto de procesos técnicos y socioeconómicos, tanto los que tienen lugar en el ámbito de la economía nacional como los que exclusivamente se desarrollan dentro del medio rural, los que en última instancia determinan la situación prevaleciente. Ahora bien, si se considera que toda la gama de procesos tienen carácter diverso, interrelacionados o no, pero que tienen lugar merced a la intervención de múltiples factores, el reducir la problemática rural a un simple problema tecnológico, situando éste independientemente de los procesos socioeconómicos y de las relaciones sociales de producción, dista mucho de ser una tesis verdadera ².

² Dada la función importantísima que la tecnología ha desempeñado en el proceso de desarrollo del capitalismo, no debe -- extrañar el hecho de que el "atraso tecnológico" sea uno de los factores que con mayor frecuencia se toma como causa de prácticamente todos los problemas que aquejan a los países subdesarrollados, pero al analizar esta concepción se observa que ella pretende esconder el problema real. En efecto, los países económicamente avanzados y los del tercer mundo poseen tecnologías que obedecen a su propia evolución histórica y al sitio que han ocupado y ocupan en el contexto mundial.

Así pues, el tratar de darle solución a los problemas que afectan al sector mayoritario campesino por medio de la creación y diseño de innovaciones tecnológicas -aun considerando que este proceso fuera autónomo- sin tomar en cuenta la organización social existente, a lo único que conduciría sería a polarizar aún más a las unidades productivas rurales. La innovación tecnológica que aquí presentamos, surge tanto del análisis teórico como de una serie de visitas de campo, donde fueron detectados diferentes problemas técnicos que de una manera u otra afectaban a las comunidades visitadas, y aunque esos problemas no son del todo determinantes para las condiciones de vida locales, si representan obstáculos para su sano desarrollo social y económico.

De esta manera, los problemas locales de carácter técnico observados fueron de diversa índole, destacándose los secadores de granos y madera, y la ausencia o insuficiencia de energía eléctrica, la escasez de agua por la falta de equipos de bombeo, etc.

Por ello, los planteamientos surgidos de las visitas de campo provocaron que la conceptualización original surgida del análisis teórico sufriera modificaciones sustanciales, de tal manera que hubo necesidad de plantear una conceptualización diferente en vista de la amplia gama de problemas técnicos detectados.

2.2 El Marco conceptual

Como se apuntó en el subapartado anterior, el marco conceptual tiene su origen en una abstracción mental formada -- con base en el análisis de una situación problemática.

Cabe señalar que para que un marco conceptual tenga validez, es necesario que la situación problemática en la que se planea incidir sea analizada de la manera más objetiva y -- veraz posible, de tal modo que los planteamientos que resulten -- estén fundamentados correctamente, ya que esto se traducirá en -- una gama de soluciones más apegadas a la realidad y presumible- -- mente factibles. Es obvio que el grado de concreción que tenga -- la situación problemática redundará en soluciones igualmente -- concretas, aunque cabe señalar que la objetividad y el sesgo -- del análisis estarán influenciados en gran medida por los -- juicios de valor de los autores, ya que finalmente son éstos -- los que guían el desarrollo del análisis.

Ahora bien, el cuestionamiento que sufrió el proyec- to inicial debido a las observaciones realizadas durante las vi- sitas de campo, hizo necesaria su modificación, llegando a con- cluir que dada la amplia gama de problemas detectados, la inno- vación tecnológica que se propusiera debería tender a resolver -- la mayor parte posible de ellos. Fue así como, a partir de los -- requerimientos de las comunidades visitadas, se concluyó que -- gran parte de sus problemas podrían resolverlos si dispusieran --

de energía mecánica en forma costeable, de poco o nulo mantenimiento, así como acorde y accesible a su racionalidad técnica; por lo tanto, nos avocamos al diseño de un modelo experimental que satisficiera sus necesidades de acuerdo con sus limitaciones.

2.3 El Modelo Formal

Parte medular del trabajo que se presenta lo constituye el establecimiento, diseño y construcción del modelo -- formal que cumpla con los objetivos para los que fué diseñada la investigación.

Con base a este planteamiento, en los próximos capítulos se presentan las bases teóricas que sustentan la validez técnica del modelo así como los desarrollos prácticos de la construcción del mismo.

Por último, resulta importante señalar que la correspondencia entre los planteamientos teóricos y el modelo -- real no es absoluta sino que existen diferencias sustanciales entre ambos pues de lo contrario no tendría sentido el modelo mismo.

3. UNIDAD DE REFLEXION - RECEPCION

Para utilizar la energía solar, es indispensable - coleccionar la energía radiante proveniente del sol y trasladarla a un absorbedor para ser convertida en electrones o fotones. Este es precisamente el objetivo de esta Unidad, coleccionar la - energía radiante mediante un proceso de reflexión-concentración en un área determinada, para trasladarla a un receptor del - - cual sea factible obtener energía en forma de calor, lo cual - será utilizada por la Unidad de transformación. Básicamente - el proceso de reflexión-concentración al que nos hemos referi- do se establece a partir de elementos teórico-prácticos desa- - rrollados en óptica, geometría analítica, transferencia de - - calor, etc.

Por las condiciones propias de la Unidad es posible delimitar la influencia que guarda cada uno de esos elementos - teórico-prácticos en la configuración general de la misma, lo - cual permite una mayor y mejor comprensión del sistema en general. Con base en lo anterior, la Unidad se puede dividir en -- dos subunidades básicas: 1) la Subunidad reflectora y 2) la Subu nidad receptora, como se muestra en la figura siguiente.

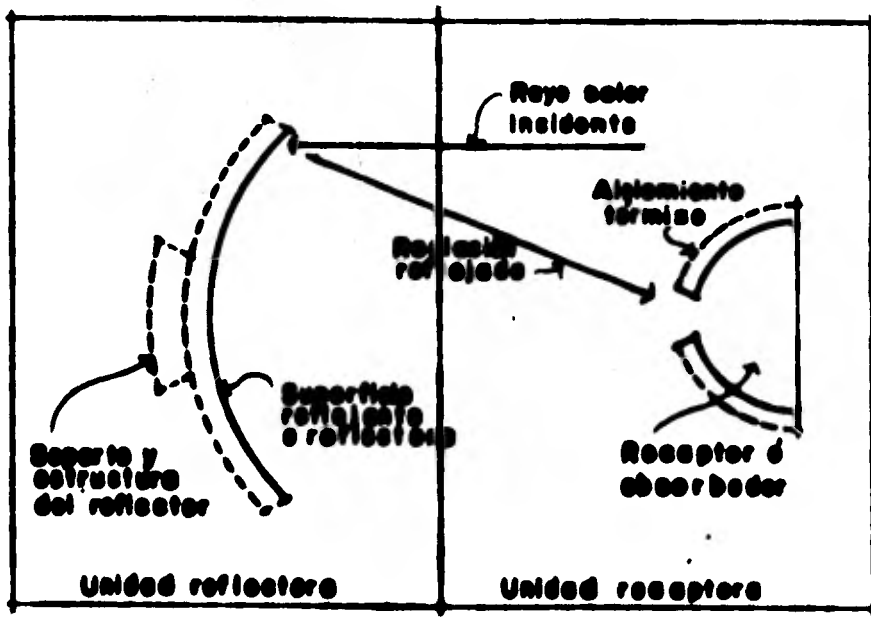


Fig. 3.1 Unidad de Reflexión - Recepción, con sus Subunidades de Reflexión y Recepción

La función a cumplir por la subunidad reflectora es, como su nombre lo indica, reflejar el rayo solar incidente en su superficie, o sea reproducir con la menor distorsión posible una imagen permanente del sol en el receptor. Ya que esta subunidad tiene la forma de un paraboloide, los rayos que incidán sobre la superficie reflectora serán concentrados en una zona específica.

El objetivo de la subunidad receptora consiste en recibir y "almacenar" los rayos reflejados y concentrados por la primera subunidad; para lograrlo esta subunidad tiene la forma de una media esfera con una pequeña abertura al mismo nivel de la zona focal del paraboloide.

3.1 La subunidad de reflexión

Para que ocurra la concentración de energía en alguna zona o punto específico, es necesario contar con una superficie reflejante, la cual opere de tal manera que proporcione las mismas características de un espejo; además, esta superficie deberá tener una configuración tal que la energía solar que incida sobre ella pueda ser concentrada en algún punto o zona focal previamente determinada.

Es propósito de este subapartado establecer los principios básicos sobre los cuales se sustenta el diseño y funcionamiento de la subunidad de reflexión, por lo que se presentarán los elementos que se consideran de mayor relevancia -

para el desarrollo teórico-práctico de la misma.

3.1.1 Colectores de energía solar

Para hacer factible la utilización de la energía solar, se requiere emplear colectores de energía. Un colector de energía se puede definir de la siguiente manera:

- " Un colector de energía solar consiste en un conjunto de elementos, los cuales, en conjunto, conforman un sistema que transforma la energía radiante del sol en otro tipo de energía".

Un colector de energía difiere en varios aspectos de los cambiadores de calor convencionales; generalmente, estos últimos intercambian energía de un fluido a otro con rangos elevados de transferencia de calor, y en ellos la radiación es un factor despreciable. A diferencia de los cambiadores, en un colector de energía solar la transferencia de energía se realiza desde una fuente distante de energía (el sol) a un fluido. En consecuencia, la transferencia de calor por radiación en un colector de energía cobra una importancia mayúscula.

El análisis de los colectores de energía solar presenta problemas muy particulares. La variabilidad de los flujos de energía radiante que cambian tanto en el transcurso del día como de una zona a otra, determinan que el proceso de transferencia de calor por radiación se realice siempre en un estado inestable, o sea que el diseño y funcionamiento de un colector dependerá de elementos predominantemente geográficos,

como son latitud, altitud, temperatura ambiente, época del año, etc.

Los colectores de energía solar pueden ser usados con o sin concentración de energía; con base en esta característica, existen primordialmente dos tipos de colectores:

- a) Colector de energía solar plano o no concentrante, y
- b) Colector concentrante o focal.

La diferencia básica entre los dos tipos radica -- principalmente en su interacción con la radiación solar. Veamos cada uno de ellos en detalle.

a) Colector solar plano.

Dada la sencillez de su funcionamiento y el amplio rango de aplicaciones potenciales, el tipo de colector que ha tenido un desarrollo más acelerado en su aplicación práctica es, -- precisamente, el colector solar plano.

A diferencia de los colectores focales, en este tipo de colector el área de absorción de la energía radiante es la -- misma que el área de intercepción de la energía solar; o -- sea que este tipo de colectores tiene la ventaja de utilizar la energía radiante en su totalidad (directa y difusa), y -- no requiere de una orientación relativa al sol; además, el -- mantenimiento que requiere es mínimo. Asimismo, los colectores solares planos son mecánicamente más simples que los focales, tanto en las superficies de absorción como en los -- mecanismos de orientación.

El colector solar plano es simplemente un absorbedor de -
 fotones que los convierte en calor. Como se muestra en la
 figura 3.2, un colector plano está compuesto básicamente -
 por una superficie absorbente de radiaciones cubierta con
 una placa transparente y aislada térmicamente en su parte
 posterior, con objeto de reducir las pérdidas de calor --
 por convección y por radiación a la atmósfera.

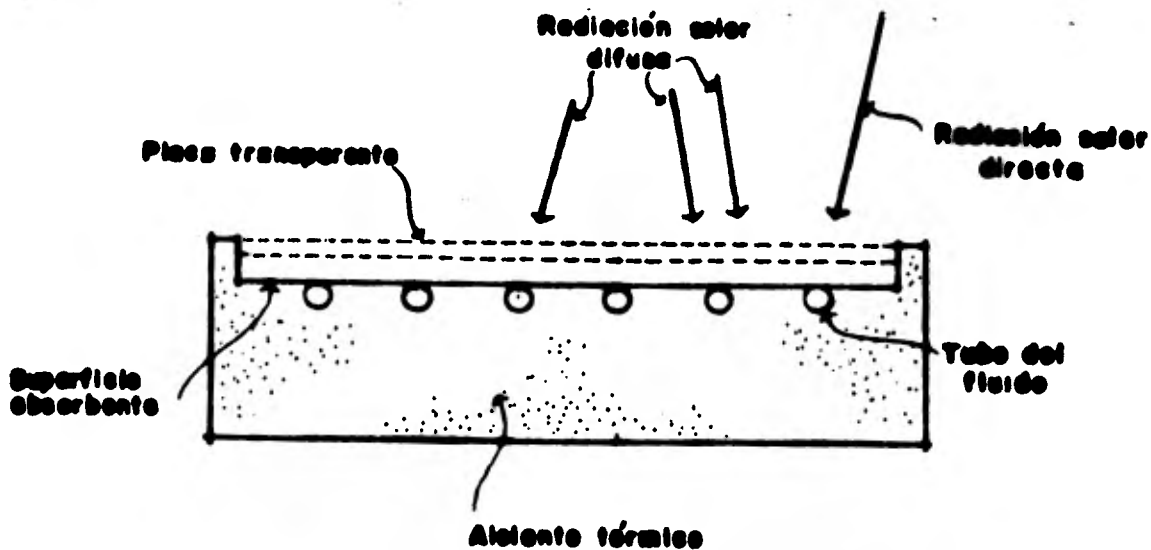


Fig. 3.2 Elementos Básicos de un Colector Solar Plano

Para retirar el calor absorbido se hace circular por el receptor aire, agua u otro fluido. El colector carece de dirección en el sentido de que el fotón puede llegar desde cualquier dirección para ser absorbido; así pues, la energía es absorbida del medio ambiente (radiación difusa), así como directamente del sol (radiación directa). Esto redundaba en que un colector solar plano es relativamente insensible a las condiciones del cielo, y opera solamente con la radiación total sobre la superficie absorbidora.

Los colectores solares planos pueden ser diseñados para aplicaciones prácticas en las que se requiere energía a bajas temperaturas (no más allá del punto de ebullición del agua, 100°C).

Actualmente, la principal aplicación de los colectores planos son en los sistemas de calentamiento de agua, aunque se les auguran amplias posibilidades para ser utilizados en sistemas de aire acondicionado y calefacción de locales.

b) Colectores focales o concentrantes

El desarrollo acelerado en la utilización de la energía solar durante los últimos años ha provocado la creación de una gran variedad de configuraciones en lo que a superficies reflectoras se refiere. La selección óptima de alguna de esas configuraciones depende, en principio, del proceso de conversión de la energía, de la temperatura a la que se desea operar y, obviamente, de los costos de cada una de ellas. Evaluando cada uno de estos factores, así como las necesida-

des de energía del subsistema de transformación, se ha seleccionado una superficie reflectora focal o de concentración; esta decisión obedece básicamente a las altas temperaturas que se pueden lograr con este tipo de colectores - en su zona focal. En efecto, la necesidad de mantener una alta temperatura en la unidad de recepción ha determinado que la superficie reflectora idónea para el sistema propuesto corresponda a un concentrador focal en forma de paraboloide de revolución. Ahora bien, antes de ahondar en este tema, consideramos necesario sustentar la validez de la propuesta haciendo un breve análisis de los tipos principales de concentradores focales.

Un colector concentrante o focal concentra el flujo de energía que incide en él en un receptor (unidad receptora, en este caso), el cual, obviamente, es más pequeño que el colector. Por leyes de óptica¹ un colector de este tipo no puede captar la radiación difusa como en el caso de los colectores planos y, por lo tanto, es directamente dependiente de la intensidad de calor que llegue perpendicularmente a él.

Las superficies reflectoras que involucran el proceso de concentración de energía se pueden dividir en dos grupos:

- i) superficies reflectoras cilíndricas, y
- ii) superficies reflectoras de revolución.

En el primer caso, son reflectores cilíndricos que pueden tener variaciones parabólicas y circulares. Estos reflectores funcionan a todo lo largo de la superficie y son orientados con respecto al sol, siguiendo el plano descrito por el vértice del reflector y la línea focal que incluye al sol. De esta manera, los sistemas cilíndricos pueden ser orientados por medio de un solo eje de rotación.

En la figura 3.5 se muestra un diagrama, así como una sección transversal de un cilindro parabólico.

1

Dado que las condiciones de operación de un espejo o reflector actúan bajo las mismas leyes y principios de una superficie refractiva, es conveniente explicar la ley que rige el fenómeno de la refracción, conocida como la Ley de Snell.

Esta Ley se puede establecer de la siguiente manera:

$$\text{Sen } r = \frac{1}{n} \text{ Sen } i$$

donde:

- i es el ángulo formado por la normal a la superficie refractante y el rayo que incide sobre la superficie
- r es el ángulo formado por la normal a la superficie y el rayo refractado dentro de la misma, y
- n es una constante que depende básicamente del tipo de superficie en estudio.

...1

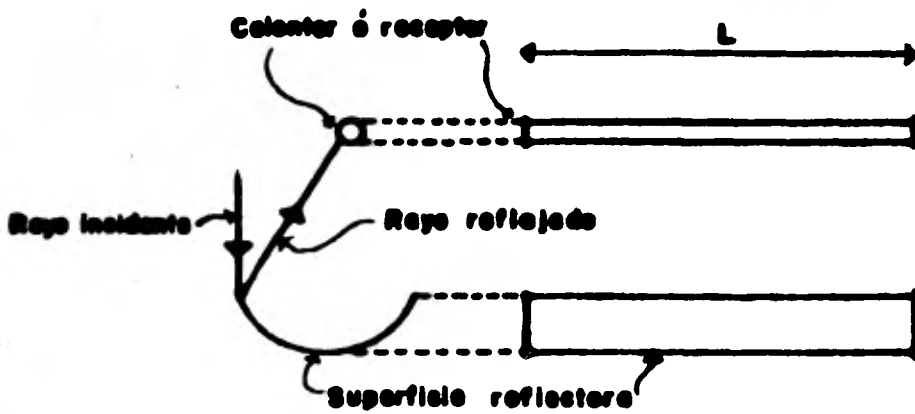


Fig. 3.5 Diagrama y Corte Transversal de un Cilindro Parabólico

...1 En la figura 3.3. se muestra de manera gráfica la ley de Snell . . . 1

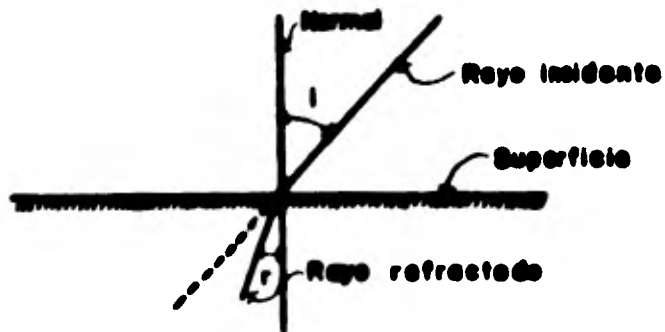


Fig. 3.3 Ley de la Refracción o Ley de Snell

El colector o receptor es un cilindro de longitud L , el cual recibe los rayos reflejados por la superficie. Teóricamente, la distribución de energía recibida deberá ser -- constante a todo lo largo (L) del receptor.

La radiación interceptada por unidad de área de una superficie reflectora orientada por medio de un solo eje, es menor que la de una superficie orientada por dos ejes (como es el caso de algunas superficies de revolución), ya que esta última mantiene una posición siempre normal a la radiación y depende -- también del ángulo de incidencia de la radiación en el plano. Este ángulo es función del tiempo, del día y del año.

- . . . 1 Para que las condiciones específicas de un espejo puedan cumplir con esta ley, es condición necesaria y suficiente establecer el parámetro n con un valor igual a menos uno (-1), o sea

si $n = -1$, se tiene

$\text{Sen } r = -\text{Sen } i$

o bien $i = -r$

Así pues, cuando el rayo incidente llega al origen y "choca" con la superficie, en este caso un espejo plano, el ángulo de entrada (i) del rayo incidente será el mismo del rayo reflejado, como se muestra en la figura siguiente.

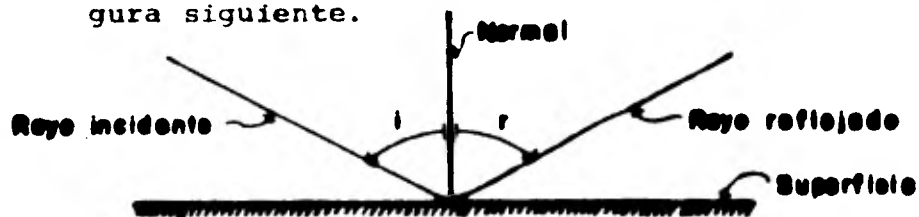


Fig. 3.4 El Diagrama muestra la relación que existe entre el rayo incidente y el rayo reflejado cuando el primero incide sobre un espejo -- plano.

El segundo grupo de superficies reflectoras focales, incluye a los reflectores cónicos, esféricos y parabólicos.

El sistema cónico de concentración mantiene una - - geometría básica como la que se muestra en la figura 3.6, donde se observa que la intensidad del flujo incidente recaerá sobre el foco cónico o superficie focal. Teóricamente, se espera que la distribución de la intensidad del flujo será uniforme sobre la zona focal. La superficie de reflexión se incrementa con el crecimiento del diámetro, en la misma proporción en que aumenta la superficie en la zona focal.

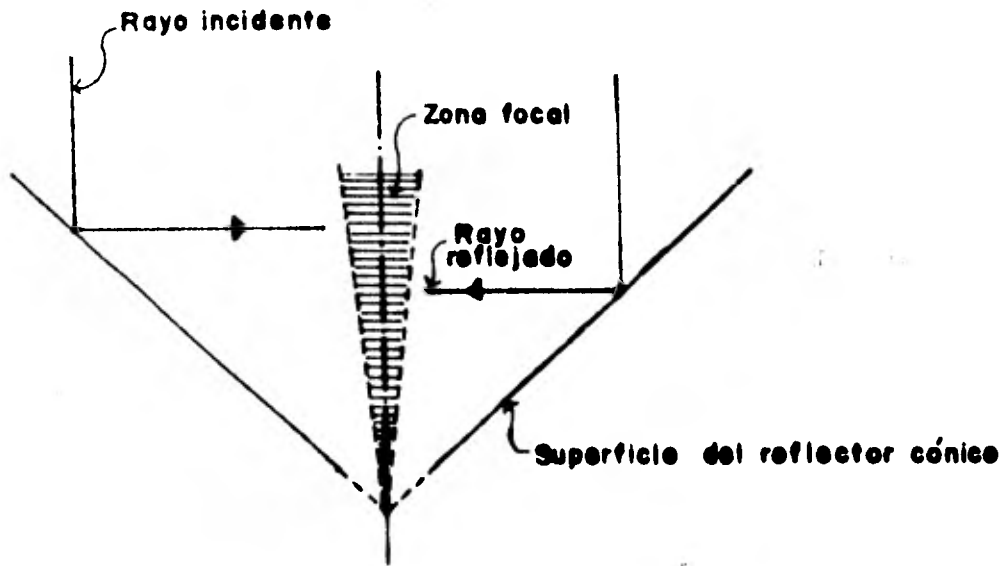


Fig. 3.6 Sistema Cónico de Concentración

Las superficies esféricas no cuentan con un eje óptico definido, ya que todos los ejes que cruzan a través del centro de curvatura pueden ser igualmente usadas como ejes ópticos temporales. El diagrama básico para una superficie esférica se muestra en la figura 3.7.

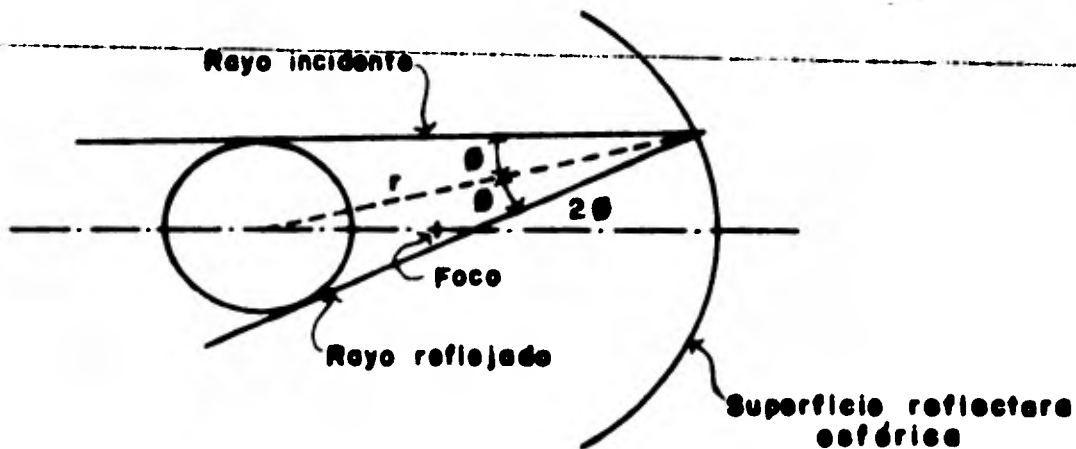


Fig. 3.7 Geometría de un Rayo Incidente sobre una superficie esférica usando el procedimiento del círculo tangente.

. . . 1 Así pues, el fenómeno de la reflexión se explica a partir de la ley expuesta anteriormente y se particulariza para cada configuración específica.

Si un rayo incide en la superficie con un ángulo θ con respecto al radio r , será reflejado con un ángulo de 2θ con respecto al mismo radio. Cuando los rayos cruzan la zona focal no coinciden en un solo punto, por lo que forman un patrón característico llamado superficie caústica ².

Haciendo un breve análisis de los dos sistemas expuestos anteriormente se desprenden algunas consideraciones importantes:

- En un sistema cónico, solo sería posible lograr -- concentraciones limitadas de energía dadas sus características focales.
- En las superficies esféricas se hace notoria la carencia de una zona reducida o puntual en la cual puedan coincidir los rayos reflejados por la superficie, o sea que el sistema esférico no provee una zona focal concentrada sino que, como se mencionó anteriormente, forman un patrón característico -- ocasionado por la llamada aberración esférica.

Como se indicó anteriormente, la única superficie que proporciona las características idóneas para cumplir con los objetivos del sistema propuesto, es la superficie parabólica, por lo cual se considera necesario establecer y determinar con mayor detenimiento las ecuaciones y parámetros que rigen el comportamiento de este tipo de configuración.

3.1.2 Colector focal parabólico

En la figura 3.8. se muestra una superficie generalizada, no esférica, que tiene su origen en el vértice de la curva.

² Meinel y Meinel, Applied Solar Energy, an introduction, -- Addison Wesley Publishig Co., 2a. ed., E.U. 1977.

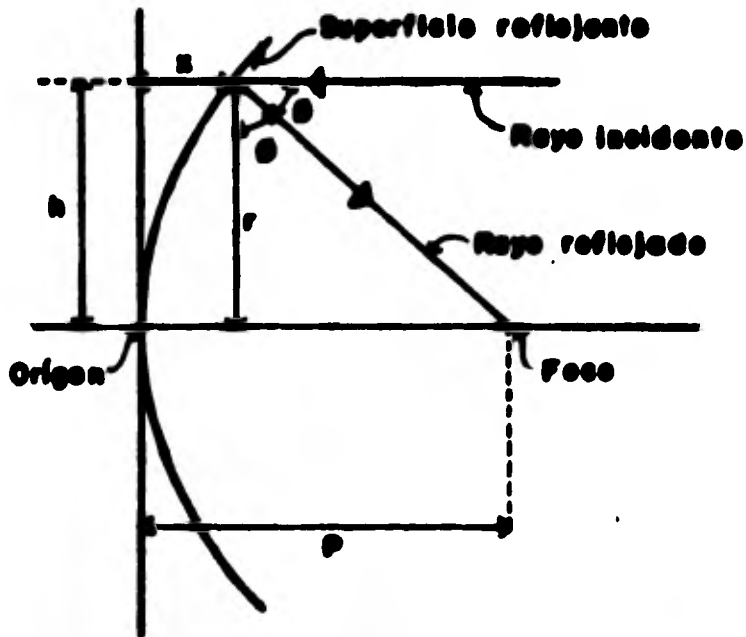


Fig. 3.6 Superficie generalizada, no esférica, con vértice en el origen.

La distancia 'p' está dada por

$$p = x + y/\tan 2 \beta \quad (1)$$

donde

$$\tan \beta = dx/dy$$

de esta manera se puede escribir a la $\tan (2 \beta)$ en términos de la $\tan \beta$, o sea

$$\tan 2 \beta = 2 \tan \beta / 1 - \tan^2 \beta$$

como $\tan \beta = dx/dy$

se tendrá

$$\begin{aligned} \tan 2 \beta &= 2 dx/dy / 1 - (dx/dy)^2 \\ &= 2 dx/dy - 1/2 (dx/dy) \end{aligned}$$

sustituyendo en la ec. (1)

$$p = x + y / [2 dx/dy - 1/2 (dx/dy)]$$

o bien

$$p = x + y / 2 dx/dy - y/2 (dx/dy) \quad (2)$$

Se puede asumir que una superficie no esférica puede ser expresada por medio de una serie de potencias.

Si suponemos que existe simetría axial, la serie se puede obtener con exponentes exclusivamente pares, o sea

$$x = a + by^2 + cy^4 + \dots \quad (3)$$

donde

a es una constante que se refiere solamente al punto de origen de la curva.

Así pues, cuando $y = 0$, $a = 0$. Si se considera que la curva está en el origen ($a=0$), y se deriva la ecuación (3), se tiene

$$dx/dy = 2by + 4cy^3 + \dots \quad (4)$$

Sustituyendo la ecuación (4) y tomando en consideración lo anterior, la ecuación (2) resulta de la siguiente manera

$$\begin{aligned} p &= - y/2 (2by+4cy^3) - y/2 (2by+4cy^3) \\ &= - cy^4 + 1/4b(1+2cy^2) \end{aligned}$$

para que "p" permanezca constante y en función solamente de "y", solo puede ser posible cuando $c=0$. Por lo tanto

$$p = 1/4b$$

ya que "p" es una constante, la expresión anterior puede obtener la siguiente forma

$$b = 4p$$

Sustituyendo esta expresión en la ecuación (3), se tiene

$$x = a + (1/4 p) y^2$$

como la curva tiene un vértice en el origen, o sea

$a = 0$, la expresión resulta

$$x = (1/4p) y^2 \quad (5)$$

que corresponde a la ecuación de una parábola con vértice en el origen, donde la distancia del origen al foco de la curva es "p", o sea que el foco es el punto P con coordenadas P (p,0).

A partir de la ecuación (5), el análisis se puede generalizar a un espacio tridimensional.

Si se considera una superficie de revolución generada por la rotación de la parábola en el plano XY, y alrededor del eje X:

$$x = (1/4p) y^2$$

Si se reemplaza en la ecuación anterior, "y" por $\sqrt{y^2 + z^2}$,

$$x = (1/4p) (y^2 + z^2) \quad (7)$$

la ecuación (7) representa la expresión matemática de una superficie denominada paraboloides de revolución, con una distancia del origen al foco igual a "p", y con coordenadas P (p,0,0). Este análisis solo es válido si la parábola que genera a la superficie de revolución gira alrededor del eje X.

Hasta ahora se ha considerado que la zona focal del paraboloides es puntual, pero en la práctica esta situación cambia. En efecto, la imagen focal no es un punto, sino que forma un volumen elipsoidal ³.

En la figura 3.9 se muestra gráficamente este fenómeno. La forma particular que adquiere el volumen focal es consecuencia del ángulo formado por los rayos que provienen de los extremos del diámetro solar; dicho ángulo es de $32'$, equivalente a 0.0093 radianes, y se le acostumbra referir con la letra alfa (α).

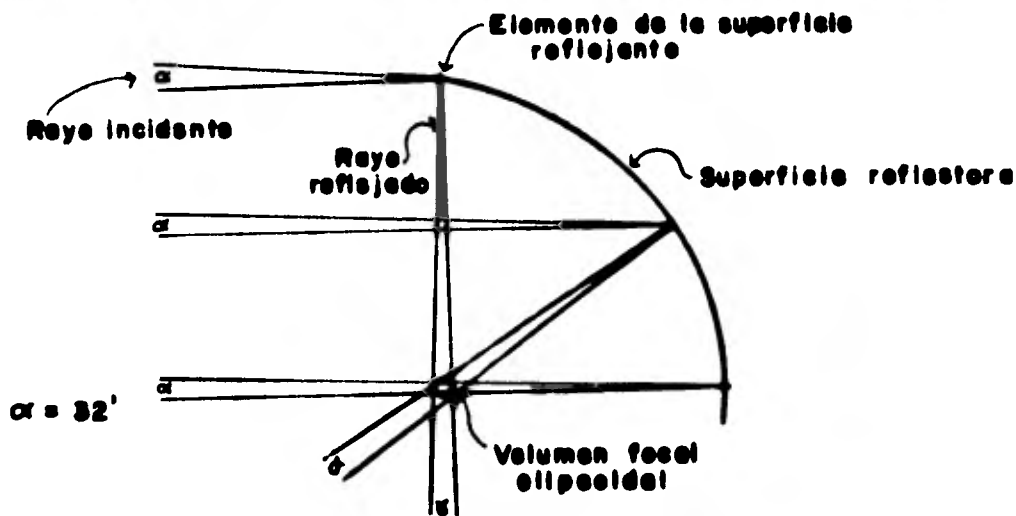


Fig. 3. 9 Diagrama que muestra el volumen focal, elipsoidal formado a partir de un rayo incidente proveniente de los extremos del diámetro solar.

a) Imagen Focal

Como se comentó en el subapartado 3.1, la función de la unidad reflectora propuesta es reflejar una imagen permanente del sol sobre la unidad receptora. Así pues, la imagen reflejada, en general, no sufrirá distorsión alguna y será igual a la imagen incidente.

Ahora bien, ya que la relación existente entre el tamaño del sol y la distancia a la tierra está determinada por un ángulo de $32'$, ángulo sostenido por el disco solar y un observador colocado en la tierra, la imagen teórica del sol creada a partir de la superficie reflectora tendrá un tamaño finito, el cual dependerá del tamaño del disco solar, y de la geometría particular del sistema;

Lo anterior se ilustra en la figura siguiente:

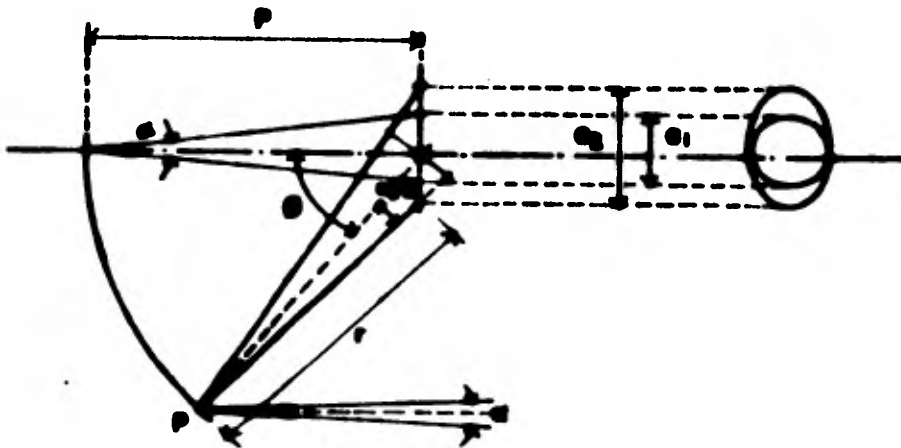


Fig. 3.10 Imagen solar teórica formada por una superficie parabólica.

En un punto P se recibe una imagen incidente sobre la superficie reflectora, el ángulo de incidencia de esa imagen es, en el vértice, de $\alpha = 32'$. La imagen incidente es reflejada en dirección del receptor, por lo que en el plano focal se obtiene una figura elipsoidal con eje menor A_1 , y eje mayor A_2 .

Si se considera un receptor plano y normal al eje de la superficie reflectora, el eje mayor A_2 se puede encontrar en función del radio r de la superficie ⁴

$$A_2 = 2r \tan (\alpha/2) / \cos \theta \quad (8)$$

La distancia "r", desde un punto cualesquiera en la superficie al foco, puede ser determinada para cada sistema en particular.

Para el caso en estudio, una superficie reflectora de sección parabólica, la longitud focal está definida por la ecuación --

(5)

$$x = (1/4p) y^2, \text{ o bien} \\ y^2 = 4px$$

y la distancia "r" estará dada por

$$r = 2p/1 + \cos \theta$$

donde

p es la distancia focal de la parábola, y

θ es el ángulo formado entre el eje de la parábola y el rayo reflejado en el foco.

Obsérvese en la misma figura que "r" es la distancia de la superficie al foco, y que puede variar desde $r = p$ hasta -- --

$r = r \text{ máx}$; para el ángulo θ sus límites varían desde $\theta = 0^\circ$ -- hasta $\theta \text{ máx}$.

⁴ Duffie y Beckman, "Solar Energy Thermal processes". John -- Willey and Sons., E.U. (1974)

Cuando la fase cónica incide en el vértice del paraboloide, se tiene que "r" alcanza su valor mínimo, o sea $r = p$, siendo "p" la distancia focal, y en este caso se tendrá proyectado en el plano focal el eje menor " a_1 " del elipsoide

$$a_1 = 2r \tan (\alpha/2) \quad (9)$$

En conclusión, el tamaño de la imagen teórica se incrementa -- desde a_1 , cuando $r = p$, hasta a_2 , si $r = r_{\text{máx}}$; o sea, desde $2p \tan 16'$ hasta $2r_{\text{máx}} \tan 16' / \cos \beta_{\text{máx}}$.

Por otra parte, si se toma en cuenta que el valor tangente de ángulos muy pequeños es equivalente al valor del ángulo, las ecuaciones (8) y (9) quedarán como sigue:

$$a_1 = r\alpha + p\alpha, \quad y \quad (10)$$

$$a_2 = r\alpha / \cos \beta \quad (11)$$

b) Concentración teórica de energía.

Como se señaló, la zona focal del paraboloide mantendrá una configuración elipsoidal. Si se analiza la porción circular del elipsoide, determinada por el diámetro correspondiente al eje menor a_1 , se observa que será precisamente en esta zona donde se obtenga una alta densidad de temperatura. Ahora bien, el área definida por el diámetro a_1 se encuentra parcialmente rodeada por una aureola de temperatura decreciente, la cual teóricamente, deberá ser el contorno externo del elipsoide, o sea que la aureola deberá tener como límite extremo el valor del eje mayor a_2 .

A la imagen teórica con radio $a_1(1/2) = p/2$, se le conoce como imagen de Gauss, y su área será

$$S_1 = \pi p^2 \alpha^2 / 4 \quad (12)$$

Ahora bien, la superficie proyectada de la elipse correspondiente a cualquier punto P del reflector será

$$S_2 = \pi p^2 \alpha^2 / 4 \cos \beta \quad (13)$$

La contribución que proporciona la imagen elíptica en la -- imagen teórica de Gauss se define como la relación que existe entre estas dos, y se denota como G :

$$G = S_1 / S_2 = p^2 / r^2 (\cos \beta) \quad (14)$$

Lo anterior implica que se tendrá una energía E en toda la -- imagen elíptica, y E G en la imagen de Gauss; esto será válido siempre y cuando la distribución de energía sea uniforme -- en cada punto.

Considérese ahora un segmento elemental AC, sobre un plano -- tangente al reflector parabólico (véase figura). AC es bisectriz del ángulo formado por las rectas AD y AB.

El segmento AB es perpendicular al radio vector "r" y es -- igual a $r d\beta$; el segmento AD es una proyección sobre un plano perpendicular al eje focal y será igual a AB y $r d\beta$.

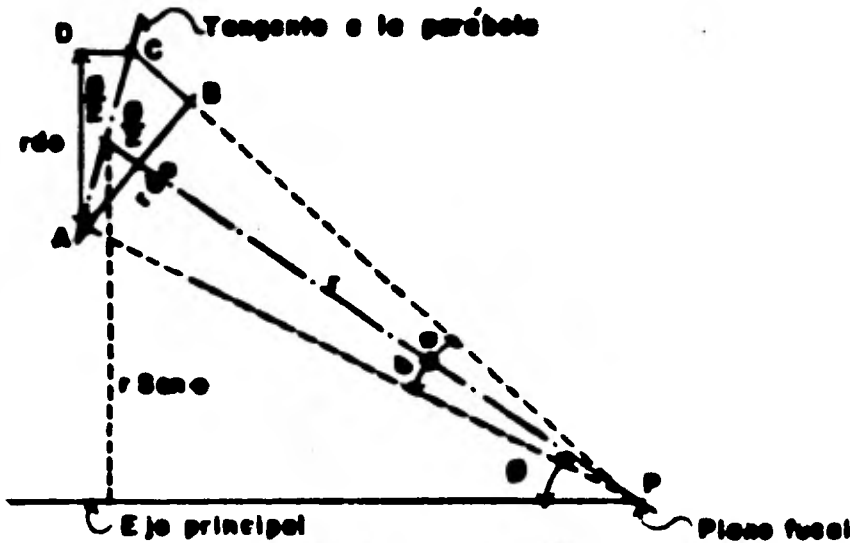


Fig. 3.11 Esquema del Segmento Elemental A - C sobre un plano tangente a la superficie parabólica

Se observa que la altura del punto medio del segmento AC es igual a $r \text{Sen} \theta$. Haciendo girar al segmento elemental AC un ángulo de 360° alrededor del vértice, apoyándose en el punto P, se obtiene una corona elemental sobre el espejo, cuya superficie será

$$\begin{aligned} dS &= (2 \pi r \text{Sen} \theta) (r d \theta) = \\ &= 2 \pi r^2 \text{Sen} \theta d \theta \end{aligned} \quad (15)$$

Si E es la energía recibida del sol por centímetro cuadrado, la energía incidente sobre la corona elemental y que llega posteriormente a la elipse focal será

$$dE = 2 E \pi r \text{Sen} \theta d \theta$$

la fracción σ_0 de esta energía es recibida en el disco focal y equivalente a

$$dE_0 = \sigma_0 (2 \pi E r^2 \text{Sen} \theta d \theta) \quad (16)$$

de la ecuación (14) se tiene que

$$G_0 = (p^2 / r^2) (\cos \theta)$$

sustituyendo en la ecuación (16) se tendrá

$$dE_0 = 2 \pi E p^2 \text{ Sen } \theta \text{ Cos } \theta d \theta \quad (17)$$

Al diámetro "D" de la superficie reflectora corresponde un ángulo máximo θ_D , y la energía total recibida en el disco focal será

$$E_{\theta_D} = \int_0^{\theta_D} 2 \pi E p^2 \text{ Sen } \theta \text{ Cos } \theta d \theta$$

por tanto

$$E_{\theta_D} = \pi E p^2 \text{ Sen}^2 \theta_D \quad (18)$$

y esta energía es recibida dentro del disco de superficie

$$S_1 = \pi p^2 \alpha^2 / 4$$

por lo que la energía por centímetro cuadrado será

$$E_1 = 4E \text{ Sen}^2 \theta_D / \alpha^2 \quad (19)$$

3.2 La Subunidad de recepción

El objetivo principal de la primera subunidad - consiste en reflejar y concentrar la energía radiante del - sol que incide sobre su superficie, pero la energía simplemente reflejada y concentrada carece, en términos prácticos, de utilidad, por lo que se plantea como complemento necesario a esa primera subunidad, la subunidad de recepción. Esta tendrá por objeto recibir y "almacenar" de la manera - más eficiente posible el flujo de energía proveniente de la unidad de reflexión.

Al igual que con la subunidad de reflexión, antes de analizar los elementos de funcionamiento y diseño de la subunidad de recepción, será necesario establecer los principios bási

cos que sustentan la validez teórica de la subunidad, por lo que a continuación se presentan algunos de los elementos que se consideran indispensables para comprender el desarrollo de dicha subunidad.

3.2.1 La transferencia de calor por radiación

Básicamente existen dos teorías en cuanto a la naturaleza y forma de transporte de la radiación: 1) la teoría ondulatoria, la cual establece que la transferencia de calor por radiación se realiza por medio de ondas electromagnéticas, y 2) la teoría cuántica, en la que la transferencia se realiza por partículas extremadamente pequeñas y finitas denominadas "cuantos". Cada una de estas teorías describe algunos fenómenos de la radiación, pero ninguna explica completamente todas las observaciones experimentales. Así pues, hasta la fecha no ha sido posible establecer de una manera científica una opción concluyente en cuanto a "la verdadera naturaleza de la radiación y su mecanismo de transporte"⁵.

Dada la experiencia de algunos autores de este tema, para los propósitos de este trabajo se considera a la radiación como la energía electromagnética propagada a través del espacio a la velocidad de la luz. Para los objetivos y el planteamiento del sistema propuesto, en lo que a energía solar se refiere, solamente la radiación teórica es importante; esto sin descontar a los otros dos tipos de transferencia de calor (conducción y convección) que, como se verá más adelante,

⁵ Kneith Frank, "Principios de Transferencia de Calor", Herrero Hnos. México (1970), 1a. ed.

también juegan un papel importante en el proceso de transformación de la energía solar en energía mecánica.

La radiación térmica es emitida por cualquier cuerpo que mantenga una temperatura mayor al cero absoluto (0°K); los cuerpos guardan un estado de semiequilibrio, en el cual constantemente están absorbiendo y/o emitiendo energía. Los átomos, moléculas o electrones son llevados a un estado de excitación, del cual regresan espontáneamente a un estado de equilibrio; de esta manera, emiten o absorben energía en forma de radiación electromagnética.

Dado que la emisión resulta del cambio de estado de los átomos y las moléculas, la radiación emitida es distribuida a lo largo de un rango de longitudes de onda, por lo que el espectro de la radiación electromagnética es dividida en bandas de longitudes de onda, como se muestra en la figura 3.12. Esas bandas y sus longitudes de onda representan solo aproximadamente sus límites.

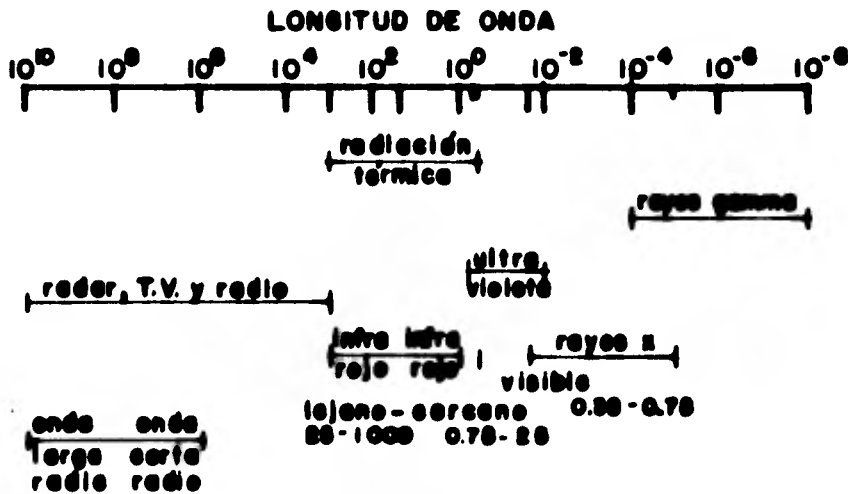


Fig. 3.12 Espectro de Radiación Electromagnética

La única distinción básica entre los rangos de radiación la -
proporciona la longitud de onda (λ) y su frecuencia (f), --
las cuales se relacionan de la siguiente manera:

velocidad de la luz =(longitud de onda)x(frecuencia)

cuya expresión matemática es:

$$c = \lambda \times f$$

3.2.2 Absorción, reflexión y transmisión de la radiación

Cuando la radiación incide sobre un cuerpo es parcialmen-
te absorbida, parcialmente reflejada y parcialmente transmiti-
da, como se muestra en la figura 3.13. . . . Ahora bien, con --
base en el principio de la conservación de la energía, la su-
ma total de las partes deberá ser igual a la radiación inci-
dente, o sea

reflexión + absorción + transmisión = radia---
ción incidente o bien

$$P + \alpha + \tau = 1$$

donde

- P es la fracción de la radiación incidente -
reflejada por la superficie del cuerpo,
- α es la fracción de la radiación incidente -
absorbida por el cuerpo, y
- τ es la fracción de la radiación incidente -
transmitida a través del cuerpo

La energía que es absorbida se convierte en calor y, por lo -
tanto, el cuerpo calentado emitirá radiación de acuerdo a su_
temperatura y a las condiciones de su superficie.

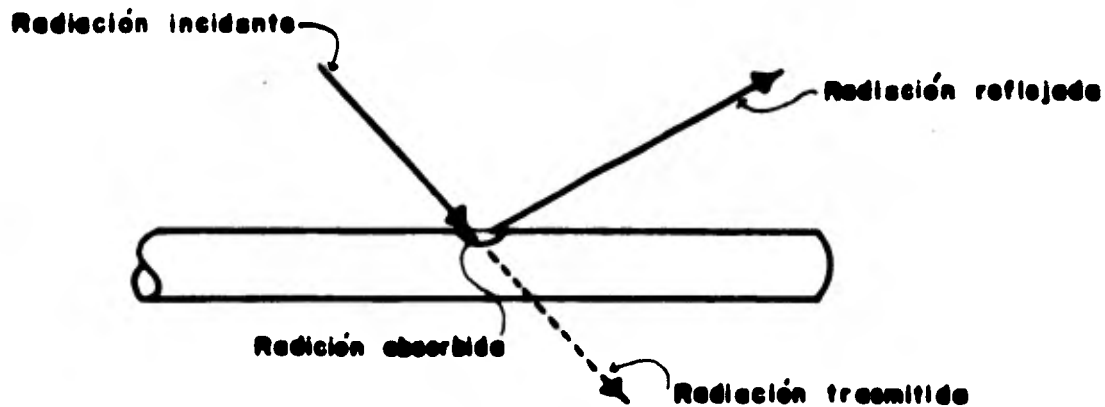


Fig. 3.13 Reflexión, absorción y transmisión de radiación incidente de un cuerpo

La reflexión de la radiación puede ocurrir de dos maneras:

1) regular y 2) difusa. Es obvio que cualquiera de los dos tipos mencionados dependerá de la superficie sobre la que incida la radiación, por lo que las superficies también se clasifican en dos tipos: 1) superficie "espejo" y 2) superficie difusa.

Cuando los rayos de la radiación inciden sobre una superficie espejo, el ángulo de reflexión será igual al ángulo de incidencia, de acuerdo con la ley de Snell mencionada anteriormente.

La radiación que incide sobre una superficie difusa se distribuye uniformemente en todas direcciones y el poder de emisión de la misma superficie se rige bajo la ley del coseno de Lambert.

3.2.3 El cuerpo negro y la ley de Kirchoff

Dentro de la transferencia de calor por radiación existe un concepto básico, conocido como el "cuerpo negro", desarrollado a partir de elementos teóricos; este concepto se define -- de la siguiente manera:

"un cuerpo negro es un cuerpo que absorbe toda la radiación -- que incide sobre él y que no refleja o transmite ninguna"⁶, -- siendo válido para todo el espectro de longitudes de onda, -- así como para cualquier ángulo de incidencia.

Un cuerpo negro, al igual que absorbe toda la radiación que -- incide sobre él, es también un perfecto emisor, o sea que -- emite a cualquier temperatura la máxima cantidad posible de -- radiación térmica. En resumen, un cuerpo negro absorbe y emite la máxima cantidad de radiación para todo el espectro de -- longitudes de onda y cualquier ángulo de incidencia.

La ley de Kirchoff se basa precisamente en el concepto del -- cuerpo negro; esta ley establece que "para un cuerpo en equilibrio térmico, la razón de poder de emisión de una superficie a su absorbencia, es la misma para todos los cuerpos"⁷.

Si se considera un cuerpo arbitrario dentro de un volumen de control, el cuerpo deberá absorber la misma cantidad de energía que emita. Un balance de energía en un elemento de su superficie será

$$\alpha q = \epsilon e_b \quad (20)$$

6 Wong, N.Y. "Heat transfer for engineers". Longman Group, 1a. ed., New York, E.U.A. (1977).

7 Kneith op cit

Si se coloca un segundo cuerpo con propiedades diferentes en su superficie dentro del mismo volumen de control, se puede aplicar el mismo balance de energía, por lo que la razón q/e_b deberá -- permanecer constante, o sea

$$q/e_b = \epsilon_1/\alpha_1 = \epsilon_2/\alpha_2 \quad (21)$$

Si se aplica lo anterior a un cuerpo negro, en el cual $\alpha=1$, la razón $\frac{\epsilon}{\alpha}$ para cualquier cuerpo en equilibrio térmico deberá ser igual a la unidad. Así pues, para condiciones de equilibrio térmico

$$\epsilon = \alpha \quad (22)$$

La ecuación (22) es conocida como la ley de Kirchoff.

El mismo G. Kirchoff concibió la posibilidad de simular, en la práctica, un cuerpo negro perfecto. Si a una esfera hueca se le abre un pequeño orificio en su pared, cualquier radiación que entre a través de él, es parcialmente absorbida y parcialmente reflejada en forma difusa en la superficie interior. La radiación reflejada no escapará inmediatamente de la esfera, sino -- que, por el contrario, primero se reflejará repetidamente en la superficie interior, como se muestra en la figura 3.14.

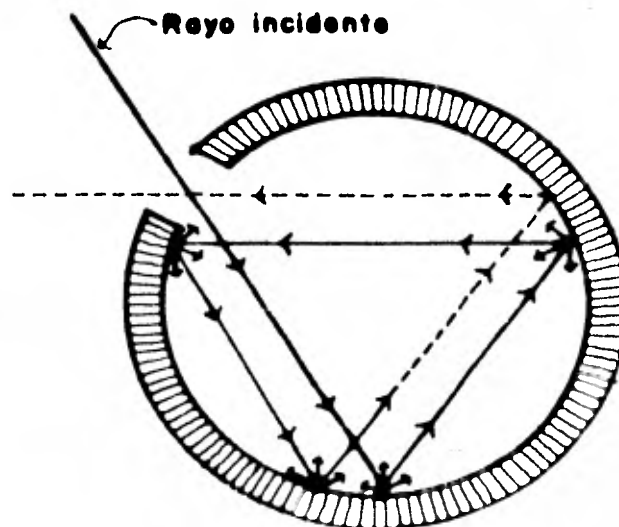


Fig. 3.14
Reflexión de la
Radiación den-
tro de una es-
fera hueca

Cada vez que "choque", se absorberá una parte de ella y, cuando finalmente el rayo incidente alcance nuevamente el orificio y escape, las múltiples reflexiones lo han debilitado de tal manera que la energía que abandona la esfera es prácticamente insignificante. Además, lo anterior se cumple para cualquier tipo de superficie, sin importar la composición de la pared -- de la esfera.

3.3 Análisis de la Unidad de reflexión-recepción

Para determinar cuantitativamente las características operativas de cada una de las subunidades que componen la Unidad de reflexión-recepción, los elementos particulares, así como las relaciones que guardan entre cada una de ellas el análisis que se ha considerado idóneo para explicar el proceso en cuestión es el denominado "balance de energía".

Resulta evidente que todo sistema (y en consecuencia todo subsistema integrante de él) deberá permanecer en un cierto estado de equilibrio siempre y cuando el sistema mencionado esté operando bajo condiciones específicas, por lo que, el utilizar al análisis mencionado permitirá una evaluación más eficiente y clara de los elementos que intervienen directa e indirectamente en el proceso. Asimismo, con este tipo de análisis la determinación del estado de equilibrio se podrá obtener más fácilmente.

3.3.1 Balance de Energía

Las características operativas de un concentrador focal, sin tomar en cuenta algún tipo de diseño específico y operando bajo condiciones particulares de intensidad de radiación, temperatura ambiente, etc., se pueden establecer cuantitativamente por medio de un balance de energía. Para realizar una evaluación más ilustrativa en cuanto a los elementos cuantitativos que intervienen en los concentradores focales, inicialmente se puede considerar el modelo general presentado en la figura 3.15.

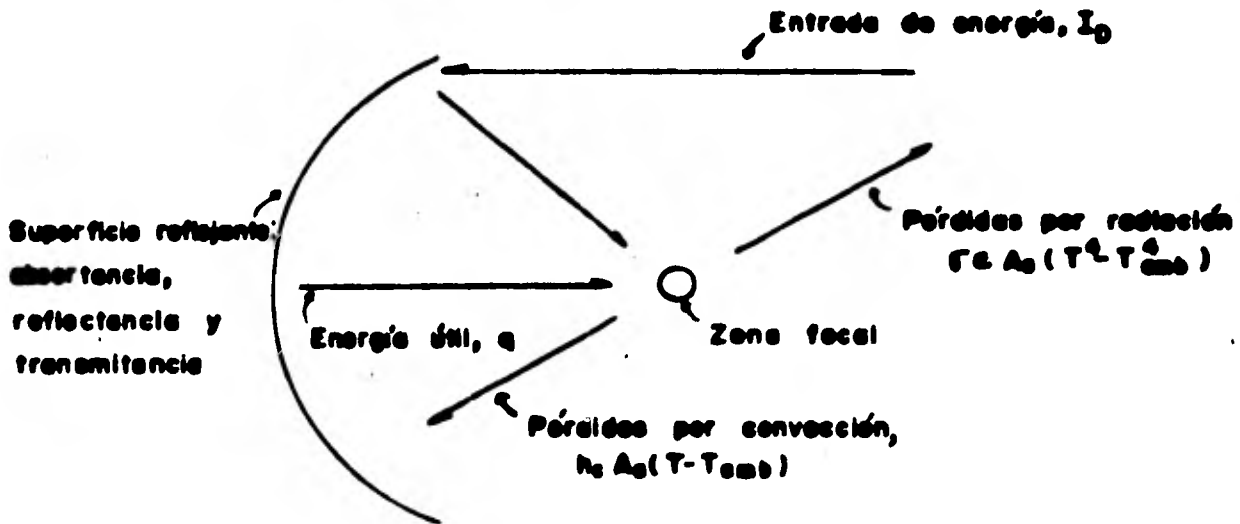
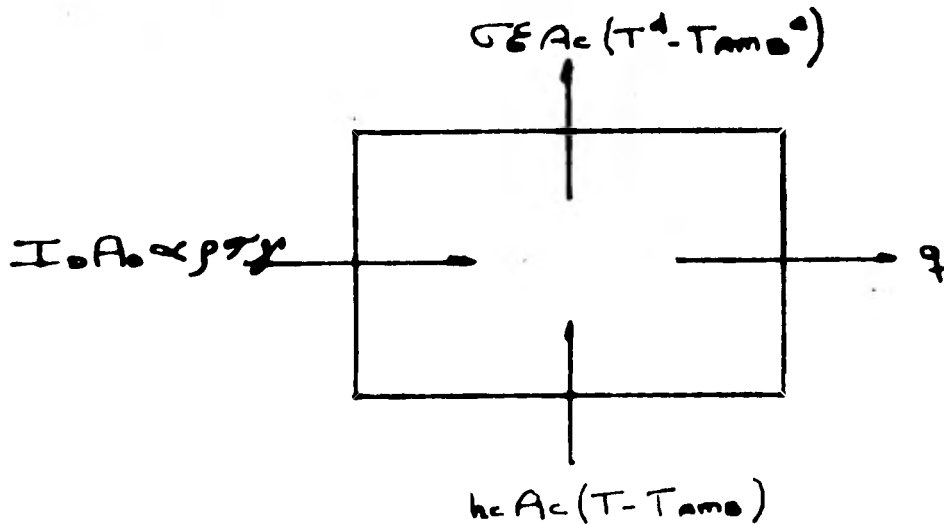


Fig. 3.15 Elementos que intervienen en el balance de energía para un concentrador focal

La figura anterior puede también ser esquematizada de la siguiente manera:



en forma matemática se tendrá

$$q = I_D A_0 \alpha \rho \tau \gamma - [h_c A_c (T - T_{amb}) + \sigma E A_c (T^4 - T_{amb}^4)] \quad (23)$$

donde

- q energía útil transferida al receptor, en W/m^2
- I_D radiación solar global recibida por el colector, en W
- A_0 Area efectiva de la abertura, en m^2
- α Absortancia de la superficie del reflector
- γ factor de forma o de intercepción
- τ transmitancia de la cubierta del reflector
- ρ reflectancia de la superficie del reflector
- h_c coeficiente de transferencia de calor por convección, en $W/m^2 \cdot ^\circ K$

Ac Area del receptor, en m^2

T temperatura de la superficie del receptor, en $^{\circ}K$

Tamb Temperatura ambiente, en $^{\circ}K$

σ Constante de Steffan-Baltzman = $5.6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^{\circ}K^4$

ϵ emitancia de la superficie del receptor

Ahora bien, examinando los miembros de la ecuación (23) se tiene:

- El término $I_D A_0 \rho \tau \gamma$ representa la radiación solar - reflejada por el concentrador focal, la cual será absorbida por la unidad receptora. Las pérdidas ópticas son representadas por los factores de desviación $\rho, \alpha, \gamma, \tau$ que pueden tomar valores en un rango de cero a la unidad.
- El siguiente término, $h_c A_c (T - T_{amb})$, representa las pérdidas de calor por convección y conducción de la unidad receptora. Asimismo, el término $\sigma \epsilon A_c (T^4 - T_{amb}^4)$ representa las pérdidas térmicas de la misma unidad -- por efectos de la radiación.
- Por último, q , representa la energía útil transferida a la unidad receptora.

A partir de la preposición hecha en el subapartado 3.1, y tomando como base el modelo general expuesto en el presente subapartado, se deduce que el subsistema de reflexión-recepción es factible simplificando en comparación con el modelo general, ya que de hecho sus fundamentos y principios básicos permiten suponer que dicho subsistema elimina -teóricamente- las pérdidas térmicas por efectos de la conducción, convección y radia-

ción, gracias a las características que tiene la unidad receptora. Pero veamos ésto con mayor detalle.

Si se parte del modelo propuesto (véase figura 3.16) se puede observar que, a diferencia del modelo general, la subunidad receptora cumple una función de "almacén", de tal manera que toda la energía captada y reflejada por la superficie reflectiva sea - - aprovechada al máximo y las pérdidas térmicas sean prácticamente insignificantes. En efecto, cuando un rayo de energía se introduzca en la subunidad receptora, los múltiples choques que sufrirá dentro de dicha unidad harán que el rayo se desgaste de tal mane-

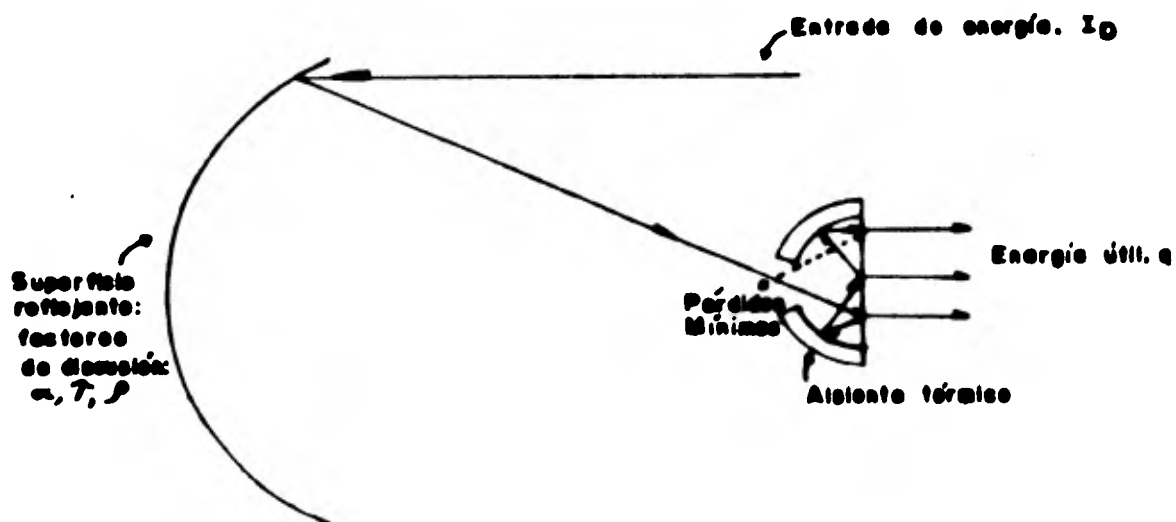


Fig. 3.16 Modelo Propuesto

ra que cuando vuelva a coincidir con el orificio original y en consecuencia abandone la esfera, la energía que contendrá será mínima. Por otro lado, las pérdidas por convección serán reducidas y casi eliminadas, ya que la media esfera estará aislada térmicamente y, por lo tanto, se evitará que este tipo de energía abandone la subunidad. Por último, las pérdidas por conducción, en realidad no serán pérdidas, sino que se aprovecharán en la parte plana de la media esfera, ya que es precisamente por medio de esta superficie que se efectuará la transferencia de calor con destino hacia el subsistema de transformación.

Obviamente, para efectos prácticos, los materiales que se usaron para construir la media esfera serán de tipo especial, --- principalmente la superficie plana, ya que esta superficie deberá permitir un flujo constante de energía hacia el subsistema de transformación, de tal manera que los parámetros de conductividad de la superficie mencionada deberán cumplir con ciertos requisitos.

Tomando en cuenta lo expuesto en los párrafos anteriores, la ecuación (23), quedará

$$q = I_D A_0 \alpha \rho T^4 \quad (24)$$

Dado que el valor de un concentrador focal depende de su capacidad para captar y retener la mayor parte de insolación posible, la eficiencia del subsistema se puede definir como la relación de energía captada q , a la radiación solar global o directa recibida I_D , ésto es, la relación de rendimiento solar a insolación será

$$\eta = \frac{q}{I_D}$$

o sea que la eficiencia del subsistema, en términos teóricos, dependerá exclusivamente de los factores de desviación ópticos $\alpha, \rho, \tau, \gamma$

4. UNIDAD DE TRANSFORMACION

4.1 Antecedentes

El motor de aire caliente de ciclo Stirling, como se le suele llamar, era considerado hasta hace poco tiempo, obsoleto, y es poco sabido que durante la última etapa del siglo XIX miles de motores de este tipo fueron empleados como la única fuente de energía hasta ser desplazados por los motores de combustión interna, capaces de entregar una potencia específica mucho mayor. Sin embargo, gracias a los avances de la ingeniería, ha sido posible volver al uso de este motor en una versión moderna y práctica, merced a la existencia de un mayor número de aleaciones y

aceros de alta resistencia, así como a la aplicación de nuevos conocimientos sobre termodinámica y transferencia de calor que, en conjunto, y en virtud de la crisis energética mundial, colocan al motor de aire caliente en una nueva perspectiva.

La división de los motores de aire caliente, está basada en el principio fundamental del ciclo de trabajo de cada tipo de motor:

- 1) Motores de ciclo abierto, donde la carga del fluido de trabajo es absorbida para cada ciclo y los productos de la combustión se mezclan con el fluido de trabajo (motores de caldera de gas),
- 2) Motores de Ciclo Stirling (ciclo cerrado), donde el mismo fluido de trabajo es empleado una y otra vez, y
- 3) Motores de ciclo abierto en las que se absorbe una carga de fluido de trabajo para cada ciclo y éste no se mezcla con los productos de la combustión (Motores Ericsson).

En términos generales, se puede decir que el ciclo de trabajo de los motores correspondientes al primer grupo, generalmente se asemeja al "ciclo de presión constante"; las del segundo grupo al "ciclo de volumen constante", y las del tercer grupo pueden aproximarse a cualquiera de los dos anteriores, dependiendo del diseño.

Por regla general, en los motores de ciclo abierto, el trabajo

mecánico se efectúa en una cantidad de fluido que es renovado sucesivamente, y realiza las operaciones de admisión, compresión, calentamiento, expansión y expulsión. Por otro lado, en los motores de ciclo cerrado, estas fases se entrelazan, y mientras parte del fluido de trabajo se calienta en una parte del motor, en la otra puede estar enfriándose. Es así como opera el motor de ciclo cerrado y combustión externa inventado por Robert Stirling en 1816.

Stirling, inventor del motor que lleva su nombre a los 26 años de edad, mostraba en su patente original la construcción y el uso del regenerador, además de prever sus primeras aplicaciones, tales como las calderas de gas y la fundición de acero.

Más adelante, otros motores con diversas innovaciones al modelo original fueron realizadas por el propio Stirling en colaboración con su hermano James, entre los años de 1824 y 1840. Entre las principales modificaciones se encuentran el uso de un nivel de presión elevada por medio de una bomba, lo que incrementó considerablemente la eficiencia.

El principio de trabajo de Stirling comenzó a ser aplicado en diversos motores construidos después de 1860 en varios países. Al principio la mayoría de éstos se basaron en el diseño original de 1827, colocando el pistón de trabajo en un cilindro separado, lo que trajo una baja en la eficiencia y la potencia entregada en relación con el modelo original, donde tanto el pistón de trabajo y el cilindro desplazador se encontraban den

tro del mismo cilindro externo.

A pesar de que los motores de aire caliente se produjeron durante todo el siglo pasado, el diseño original de Stirling fué olvidado completamente hasta que Lehmann comenzó a producir sus primeros motores en 1860.

Posteriormente, cuando empezó a desarrollarse el motor de combustión interna, los grandes motores de aire caliente se hicieron obsoletos, ya que los primeros eran capaces de entregar una mayor cantidad de trabajo y eran más compactos y efectivos, no siendo sino hasta la segunda guerra mundial que el tema fué reabierto en los laboratorios Philips de Holanda. Ahí comenzaron a realizarse pruebas de eficiencia técnica con motores de aire caliente de aquella época, encontrándose que ésta daba valores menores al uno por ciento en comparación con el ciclo teórico de Carnot. Estos resultados despertaron las inquietudes de los investigadores, considerándose a partir de esa fecha el origen de la segunda época de los motores de aire caliente.

4.2 Ciclo termodinámico ideal

El motor Stirling trabaja de acuerdo con un ciclo cerrado regenerativo de aire caliente. Se entiende por ciclo cerrado - aquel en que el fluido de trabajo sufre una serie indeterminada - de procesos, regresando finalmente a su estado original. Por otro lado, el ciclo es regenerativo porque el fluido de trabajo que en tra a la cámara caliente tiene una temperatura mayor que la que - tenía al salir de la cámara fría; esta operación se efectúa mer-- ced al regenerador.

A diferencia del motor de combustión interna, el motor - Stirling funciona por medio de combustión externa y no cuenta con admisión ni escape.

Básicamente, los principios físicos involucrados en la - operación del motor de ciclo Stirling pueden ser analizados exami_ nando la figura 4.2, en la cual se tiene un cilindro cerrado que_ contiene dos pistones colocados uno frente al otro y divididos -- por un regenerador.

El regenerador consta de una matriz formada por alambres o tiras de metal, creando con ello un enrejado fino; su funciona_ miento es semejante al de una esponja termodinámica, que alterna_ tivamente acepta y libera el calor almacenado.

Uno de los volúmenes que se localiza entre el pistón y - el regenerador se llama "zona de expansión", y se mantiene a una_

temperatura considerable mediante una fuente calorífica externa. El segundo volumen se conoce como "zona de compresión", y se mantiene a una temperatura baja mediante un sistema de enfriamiento (interno o externo). Por último, el fluido de trabajo puede ser aire, o algún otro gas como helio, hidrógeno, etc.

Un ciclo completo de operación consiste de cuatro partes superpuestas; para facilitar su análisis haremos las siguientes consideraciones: el pistón de la zona de compresión se encuentra en el punto muerto superior, mientras que el pistón de la zona de expansión se encuentra en el punto muerto inferior, cercano al regenerador. Todo el fluido se halla en la zona de compresión (zona fría); el gas se halla a volumen máximo, y por lo tanto la presión es mínima (figura 4.1)

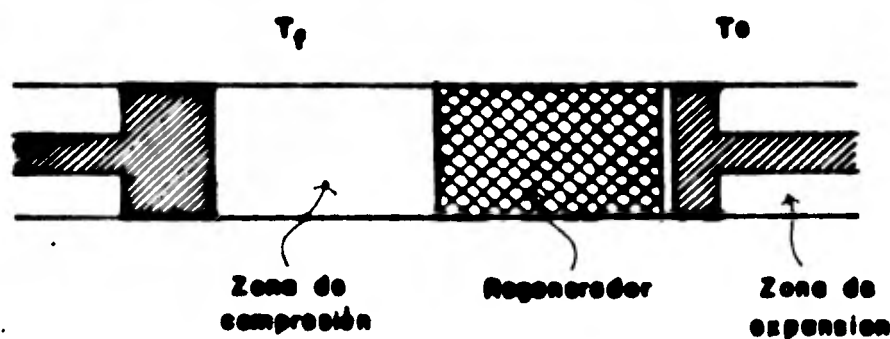


Fig. 4.1 Principio Físico del Funcionamiento del Motor Stirling

Durante la compresión, el pistón se mueve hacia el regenerador comprimiendo al fluido de trabajo. Dado que la temperatura del gas no aumenta a medida que éste se comprime, el calor es extraído mediante un sistema que realiza una función análoga a la del radiador de un automóvil (vease figura 4.2)

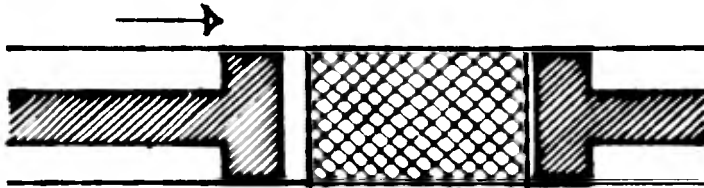


Fig. 4.2 Etapa Inicial, Compresión

Casi simultáneamente al proceso de compresión se efectúa un proceso llamado "transferencia regenerativa a volumen constante"; ambos pistones se mueven en la misma dirección y el fluido de trabajo pasa a través del regenerador poroso hasta la zona de expansión.

En el trayecto por el regenerador el fluido de trabajo absorbe calor, lo que produce un incremento en la temperatura -- y la presión (véase figura 4.3)

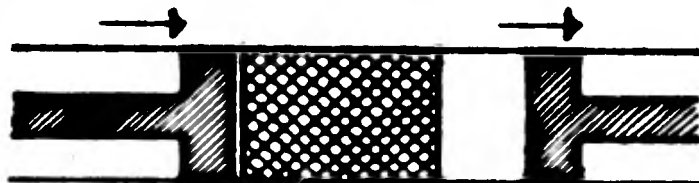


Fig. 4.3 Transferencia Regenerativa a Volumen Constante

Durante la expansión, el pistón de la zona de expansión se desplaza hacia el punto muerto superior. Dado que la temperatura y la presión del gas decaen a medida que el gas se expande, se debe suministrar calor al fluido de trabajo para mantener la temperatura constante en la zona de expansión; - - éste es suministrado por medio de una fuente calorífica externa (véase figura 4.4)

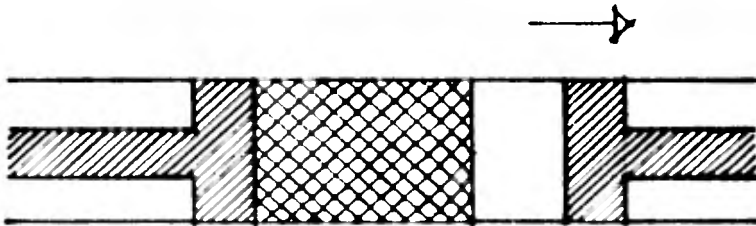


Fig. 4.4 Etapa Final, Expansión

Finalmente, en su segundo proceso de transferencia regenerativa a volumen constante, ambos pistones se desplazan de nuevo a su posición original, provocando que el fluido de trabajo pase nuevamente a la zona de compresión a través del regenerador, donde cede calor que es almacenado en dicha matriz para ser utilizado en el siguiente ciclo.

El ciclo termodinámico ideal, expresado en los diagramas P-V y T-S se muestra en las figuras 4.5 y 4.6. Las consideraciones necesarias para la operación del ciclo ideal son:

- El aire se comporta como un gas ideal
- No hay fugas de aire
- No hay pérdida ni ganancia de calor a través de las paredes de los cilindros
- No existe conducción de calor a través del regenerador.
- No hay rozamiento

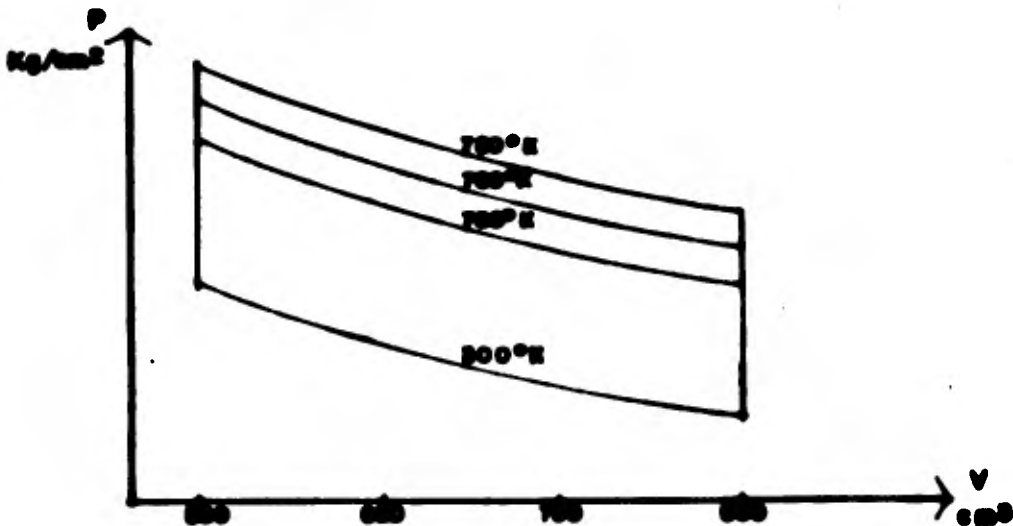


Fig. 4.5 Diagrama para el Ciclo Termodinámico Ideal.

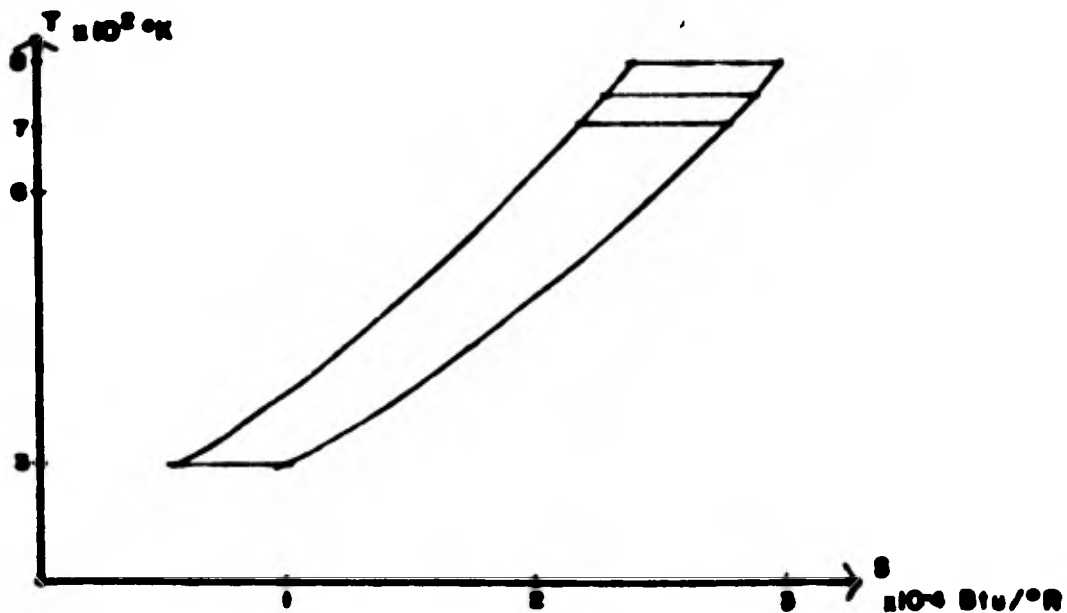


Fig. 4.6 Diagrama Temperatura - Entropía del Ciclo Termodinámico Ideal.

Como se observa en el diagrama Presión-Volumen (P-V), - el ciclo consiste de dos isotermas y dos isométricas, dando como resultado neto la absorción de calor Q_C a la temperatura alta T_C , y la expulsión de calor Q_F a la temperatura fría T_F , logrando la subsecuente entrega de trabajo $W = Q_C - Q_F$ a los alrededores, - sin transferencia de calor neto en los procesos isométricos.

Un proceso isotérmico es aquel que se realiza a una temperatura constante. Por lo tanto

$$PV = \text{cte}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{cte} \quad (1)$$

Los diagramas P-V y T-S de este proceso se muestran en la figura 4.7

En ella, los puntos que describen el estado se dirigen hacia la derecha, consecuentemente, en T-S el calor es agregado, mientras que en P-V el trabajo es realizado por el sistema, y viceversa, si el proceso se realiza en dirección contraria, los puntos que describen el estado se dirigen hacia la izquierda: en T-S el calor es repelido y en P-V el trabajo se realiza sobre el sistema

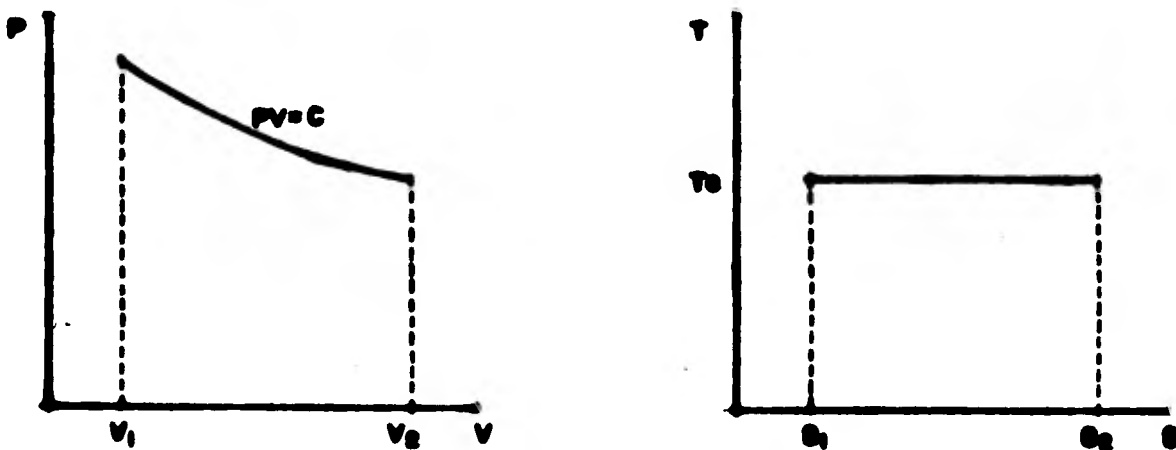


Fig. 4.7 Diagramas Presión - Volumen y Temperatura - Entropía de un Proceso Isotérmico

El trabajo, para el diagrama P-V se obtiene mediante la integral que parte del Primer principio de la termodinámica, o sea

$$W = \int P dV = cte \int dV/V$$

$$W = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = MRT_f \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (2)$$

dado que

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad (3)$$

Partiendo del Primer principio para un proceso reversible en el cual $U_{t=k} = 0$, el calor total resulta

$$Q = \int T ds \quad (4)$$

si es un proceso reversible, entonces

$$dQ = dW = PdV \quad (5)$$

donde

$$P = \frac{MRT}{V} \quad (6)$$

sustituyendo en la ecuación 5, resulta

$$dQ = MRT \frac{dV}{V}$$

que al integrar se obtiene

$$Q = MRT_f \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (7)$$

Un proceso isométrico se representa por medio de una línea vertical en el diagrama P-V y es aquel que se realiza a volumen constante. En el diagrama T-S, este proceso se representa con una línea con pendiente positiva (véase figura 4.8)

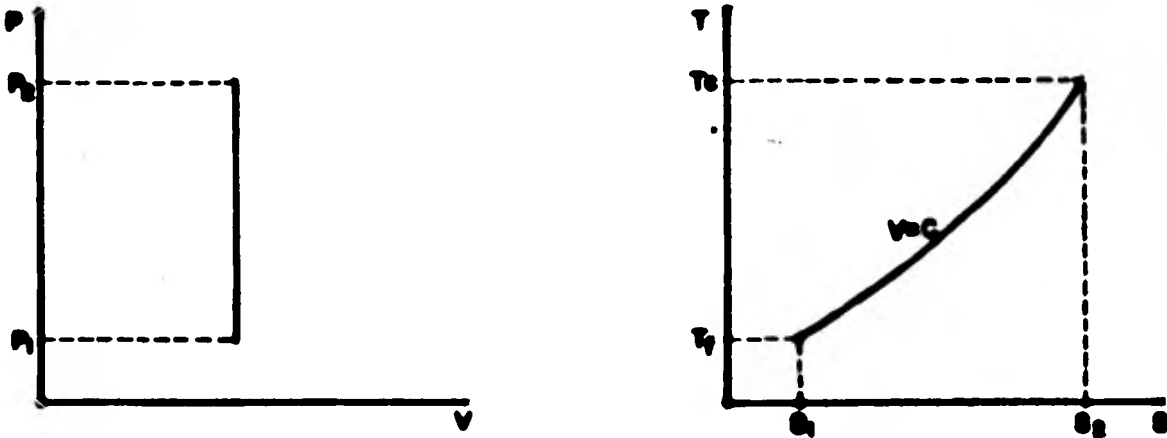


Fig. 4.8 Diagramas Presión - Volumen y Temperatura - Entropía de un Proceso a Volumen Constante

Para determinar el cambio de entropía partimos de la Primera ley de la termodinámica. Si se considera una substancia simple compresible y en ausencia de movimiento o efectos gravitacionales, esta ley se expresa

$$dQ = dV + dW \quad (8)$$

Esta ecuación expresa todos aquellos cambios de estado - en los que el estado de una substancia puede ser identificado en cualquier tiempo; así, se debe considerar un proceso de cuasi-equilibrio, o bien un proceso reversible, de donde

$$dQ = TdS, \text{ y} \quad (9)$$

$$dW = PdV \quad (10)$$

Substituyendo estas relaciones en la ecuación (8), se --
tiene

$$TdS = dV + PdV \quad (11)$$

Ahora, la relación entre la energía interna "u" y la temperatura puede establecerse utilizando la definición de calor específico, o sea

$$C_v = \left(\frac{du}{dT} \right)_v \quad (12)$$

Puesto que la energía interna de un gas ideal es función solo de la temperatura, se puede escribir

$$C_v = \frac{du}{dT}, \text{ y} \quad (13)$$

$$du = C_v dT \quad (14)$$

Para una masa M , la ecuación resulta

$$dU = MC_v dT \quad (15)$$

Considerando las ecuaciones (6) y (15) y dividiendo la ecuación (.11) se obtiene

$$dS = MC_v \frac{dT}{T} + \frac{MR}{V} dV$$

Por lo tanto

$$S_2 - S_1 = M \int C_v \frac{dT}{T} + MR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (16)$$

Asimismo, el cambio de entropía se puede obtener a partir de la ecuación de la entalpía, la cual se define como

$$H = U + PV \quad (17)$$

que al derivar resulta

$$dH = dU + PdV + VdP \quad (18)$$

substituyendo esta ecuación en la ecuación (11), se tiene

$$TdS = dH - VdP \quad (19)$$

La relación entre la entalpía y la temperatura se obtiene a partir del calor específico a presión constante, que se define como

$$C_p = \left(\frac{dh}{dT} \right)_p \quad (20)$$

Puesto que la entalpía de un gas ideal es solo función de la temperatura e independiente de la presión, se infiere que

$$C_p = \frac{dh}{dT} \quad (21)$$

y para una masa dada M:

$$dH = MC_p dT \quad (22)$$

Substituyendo las ecuaciones (6) y (22) en la (11)

se obtiene

$$dS = MC_p \frac{dT}{T} - MR \frac{dP}{P} \quad (23)$$

finalmente

$$S_2 - S_1 = M \int C_p \frac{dT}{T} - MR \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (24)$$

Los cambios de entropía, que toman en cuenta la variación del calor específico con la temperatura, se encuentran las tablas de gas. La entropía de un estado de referencia arbitrario, donde la temperatura es T_0 y la presión es de una atmósfera, se asume igual a cero. Por lo tanto, a una temperatura T dada y una presión P (expresada en atmósferas), la entropía "S" se deduce

$$S = M \int C_p \frac{dT}{T} - MR \ln \frac{P}{P_1} \quad (25)$$

En las tablas de gas, la cantidad β se define como

$$\beta = \int C_p \frac{dT}{T} \quad (26)$$

luego, el cambio de entropía entre los estados 1 y 2 es

$$S_2 - S_1 = M (\beta_2 - \beta_1 - R \ln \frac{P_2}{P_1}) \quad (27)$$

El trabajo total del ciclo se define como el resultado de la suma del trabajo de expansión más el trabajo de compresión, o sea, el trabajo neto.

En la zona de compresión

$$W_{1-2} = \int P dV \quad (28)$$

sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación anterior se obtiene

$$\begin{aligned} W_{1-2} &= \int_{V_1}^{V_2} \frac{MRT}{V} dV = MRT \ln V \\ &= MRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \end{aligned} \quad (29)$$

En la zona de expansión

$$W_{3-4} = \int_{V_2}^{V_1} P dV \quad (30)$$

Análogamente

$$W_{3-4} = MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (31)$$

El trabajo neto resulta

$$\begin{aligned} W_T &= W_{3-4} + W_{1-2} \\ W_T &= MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} + MRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \end{aligned} \quad (32)$$

$$W_T = MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} - MRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (33)$$

$$W_T = MR \ln \frac{V_1}{V_2} (T_2 - T_1)$$

$$W_T = MR T_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_2} \right)$$

$$W_T = MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} (1-t) \quad (34)$$

$$\text{donde } t = \frac{T_1}{T_2}$$

Para obtener la cantidad de calor total transferida en el ciclo partimos de la Primera ley de la termodinámica, considerando que durante los procesos de compresión y expansión $dT=0$, y por tanto $dV=0$. Ya que se trata de un ciclo ideal, se puede suponer que

los procesos son reversibles, es decir

$$dQ = dW \quad (35)$$

de donde el calor transferido de 1 a 2 es

$$Q_{1-2} = W_{1-2} = MRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (36)$$

y de 3 a 4

$$Q_{3-4} = W_{3-4} = MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (37)$$

En los procesos isométricos la cantidad de calor absorbida y entregada por el ciclo es:

De 2 a 3

$$\begin{aligned} W_{2-3} &= P (V_3 - V_2) = 0 \\ Q_{2-3} &= V_3 - V_2 = MC_V (T_2 - T_1) \end{aligned} \quad (38)$$

De 4 a 1

$$\begin{aligned} W_{4-1} &= P (V_4 - V_1) = 0 \\ Q_{4-1} &= V_4 - V_1 = MC_V (T_1 - T_2) \end{aligned} \quad (39)$$

Finalmente, la cantidad de calor neto transferido a lo largo de las isométricas es

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_{2-3} + Q_{4-1} \\ Q_T &= MC_V (T_2 - T_1) = MC_V (T_1 - T_2) \\ Q_T &= 0 \end{aligned} \quad (40)$$

La eficiencia del ciclo se define como

$$N = \frac{\text{trabajo neto entregado por el ciclo}}{\text{Calor suministrado al ciclo}}$$

El trabajo neto entregado es

$$W_T = MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \left(\frac{1-T_1}{T_2} \right) \quad (41)$$

El calor suministrado al ciclo es

$$Q_T = MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (42)$$

de donde la eficiencia resulta

$$N = \frac{MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right)}{MRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2}}$$

$$N = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (43)$$

La eficiencia de este ciclo corresponde a la eficiencia -
del ciclo de Carnot.

4.3 Ciclo termodinámico real

En la práctica, los motores de aire caliente no operan de acuerdo con el ciclo descrito en el subapartado anterior, debido principalmente a que no es posible lograr los procesos de compresión y expansión a temperatura constante, la regeneración no es perfecta, las pérdidas por fricción en el fluido son altas, y los espacios muertos son considerables.

Para obtener la más cercana aproximación a las condiciones isotérmicas, los motores requieren de varios intercambiadores de calor. Por otro lado, los pistones operan con un movimiento armónico continuo, de manera que el fluido de trabajo nunca se encuentra completamente ni en la zona de expansión ni en la de compresión. Por estas razones, la potencia extraída y la eficiencia son, en la práctica, sólo fracciones de los valores teóricos.

Básicamente, el motor de aire caliente consiste de siete elementos:

1. zona de expansión
2. zona de compresión
3. cámara caliente
4. cámara fría
5. regenerador
6. pistón desplazador
7. pistón de trabajo

El movimiento del aire rige el desplazamiento de los dos pistones: el desplazador y el de trabajo, colocados en la zona de

expansión y compresión, respectivamente. El pistón de trabajo tiene la función de entregar trabajo a la flecha motriz, mientras que, el pistón desplazador, que puede o no entregar trabajo, dependiendo del diseño, desplaza al fluido de trabajo de una cámara de temperatura a la otra. Ambas cámaras están interconectadas por medio del regenerador y están diseñadas para mantener al fluido de trabajo a una temperatura constante.

El ángulo de defasamiento entre ambos pistones, varía entre 85 y 95 grados dependiendo del diseño.

Existen innumerables arreglos de pistón de trabajo, pistón desplazador, regenerador y mecanismo, que dan lugar a diversos diseños. Para abarcar la gran mayoría de esos arreglos se les ha clasificado en dos grupos:

a) Motores de acción simple, los que a su vez se subdividen en tres subgrupos, según su disposición

- a.1 motor Alfa
- a.2 motor Beta
- a.3 motor Gamma

b) Motores de Acción Doble

El funcionamiento de los motores de acción simple tiene -- semejanzas operacionales basadas fundamentalmente en el ciclo ideal antes descrito, pero presentan diferencias en cada diseño.

a) Motor Alfa

El motor Alfa está compuesto por dos cilindros unidos a -- través del regenerador. Un cilindro comprende la zona de compresión

a temperatura alta. Dentro de estos dos cilindros se desplazan dos pistones, y la acción desplazadora se realiza mediante su - - accionamiento simultáneo, lo cual realiza la función del desplazador (véase figura 4.9)

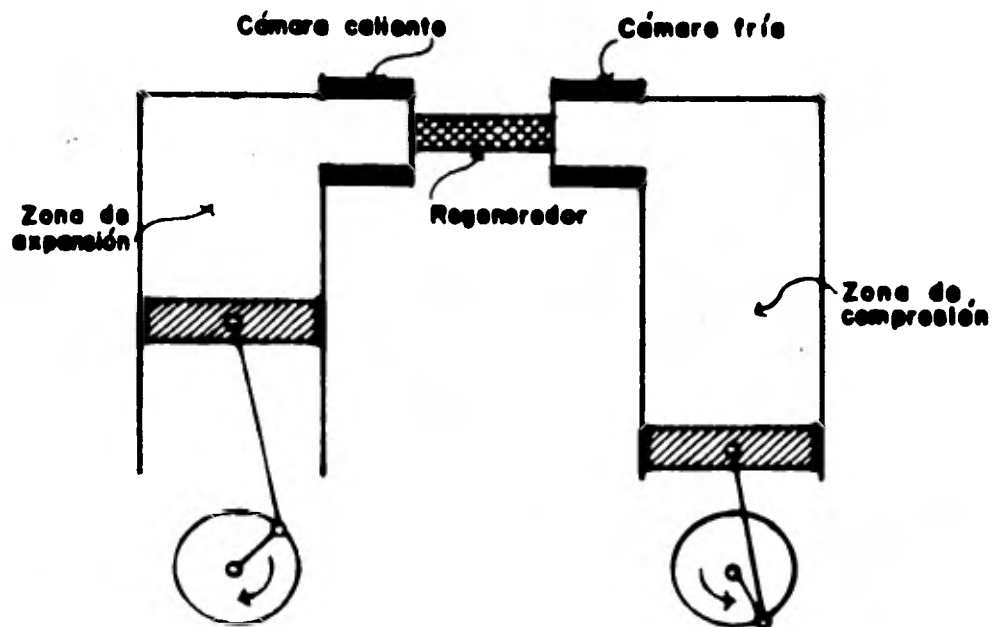


Fig. 4.9 Motor de Acción Simple Tipo Alfa

b) Motor Beta

Este tipo de motor consiste de un solo cilindro dentro del cual se desplazan, en la parte superior, el tambor desplazador, y en la parte inferior el pistón de trabajo. El regenerador puede estar localizado ya sea en el interior o en el exterior del tambor desplazador (véase figura 4.10)

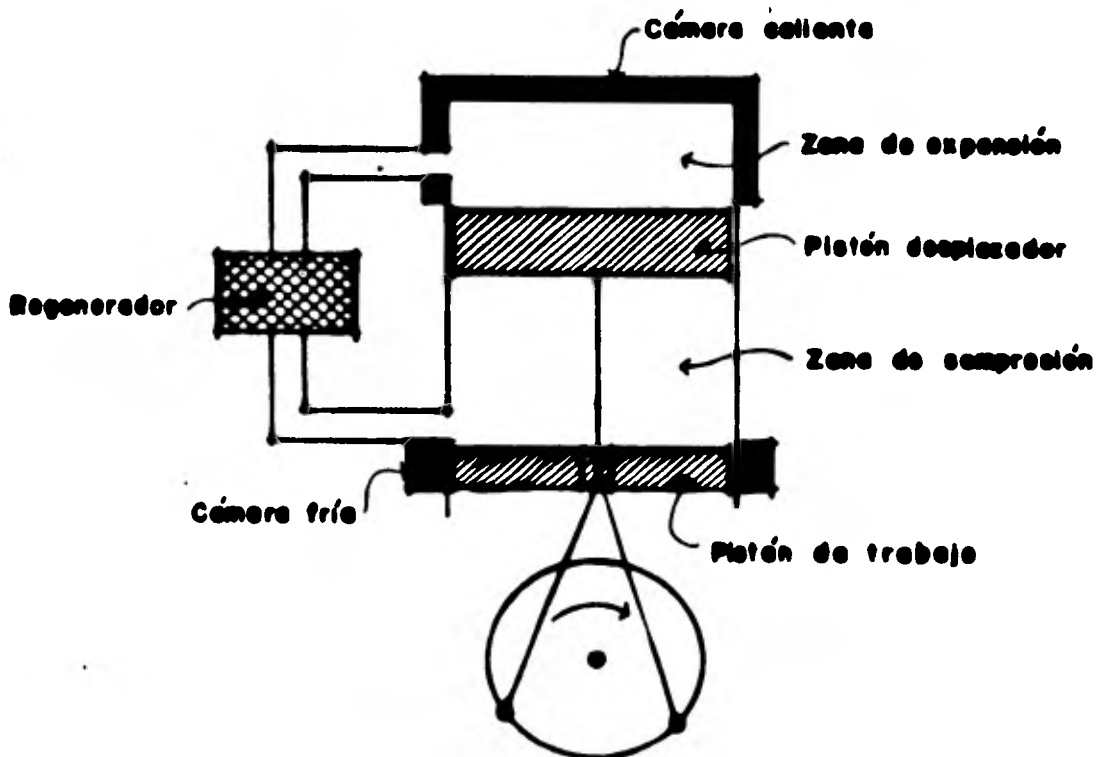


Fig. 4.10 Motor de Acción Simple, Tipo Beta

c) Motor Gamma

Está compuesto por dos cilindros interconectados, un cilindro es considerablemente más grande, y en él se encuentran el tambor desplazador y el regenerador, y en el otro cilindro el pistón de trabajo. En el primero se realiza el cambio de temperaturas mientras que en el segundo se llevan a cabo las operaciones de expansión y compresión (véase figura 4.11)

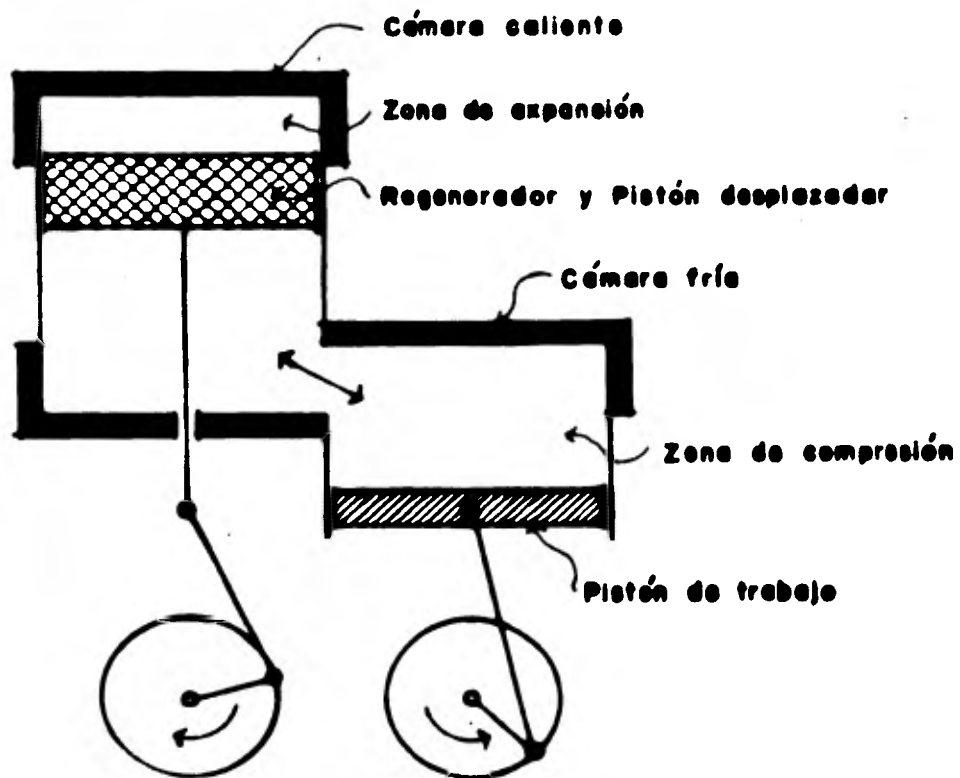


Fig. 4.11 Motor de Acción Simple, Tipo Gamma

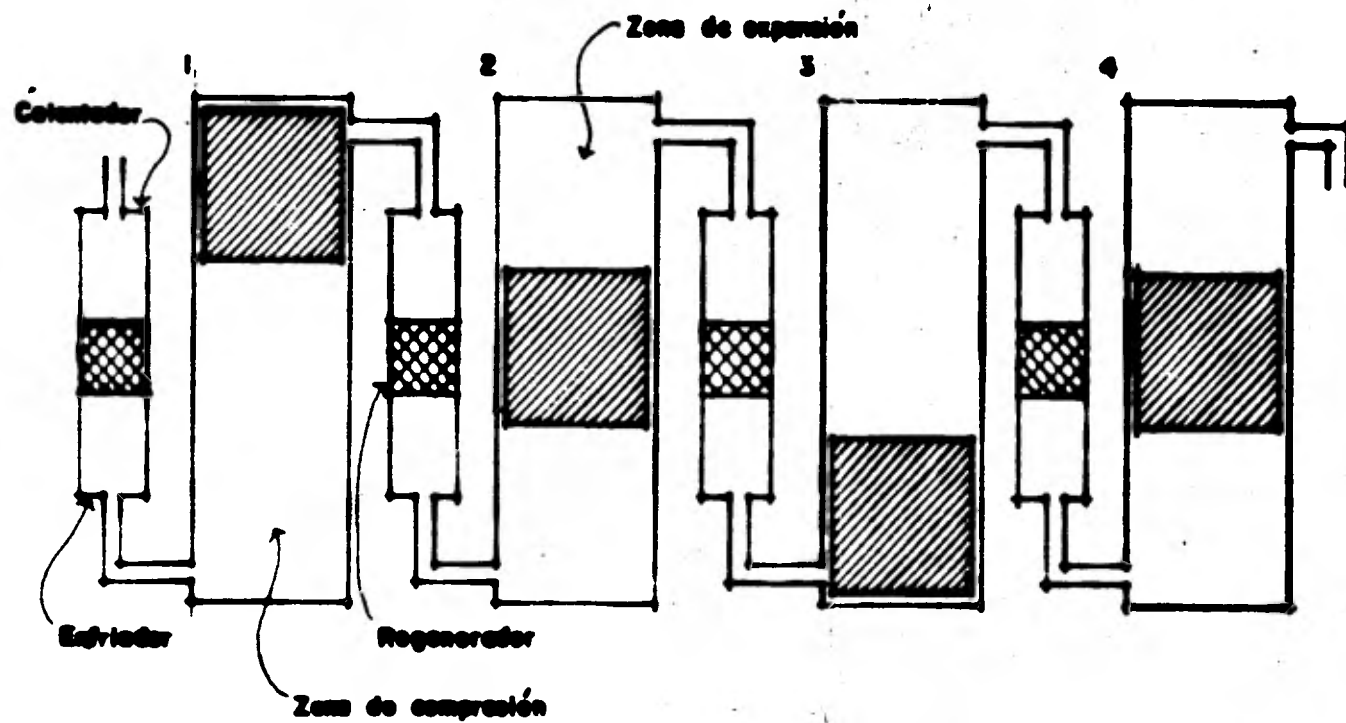


Fig. 4.12 Motor de Doble Acción

Las características de operación de los motores de aire - caliente de doble acción se muestran esquemáticamente en la figura 4.12. Dichos motores contienen únicamente un pistón que actúa como compresor y expansor realizando el desplazamiento por medio de la interacción con los pistones adyacentes. La secuencia del ciclo es la siguiente: al principio el volumen del cilindro 1 se encuentra en la zona de expansión y se halla conectada al volumen inferior del cilindro 2 siguiendo el usual conjunto de intercambiadores, calentador, regenerador y enfriador. Las zonas de compresión y expansión adquieren su volumen máximo en el punto muerto superior y punto muerto inferior del cilindro. Combinaciones adicionales se forman por medio de las zonas de expansión y compresión de los cilindros 2 y 3, 3 y 4, así como 4 y 1, respectivamente.

Los motores multicilíndricos de doble acción son más eficientes que los de acción sencilla debido a su mayor simplicidad, menor peso y reducidos costos de manufactura.

5. EL MODELO REAL

Como se señaló en el Capítulo 2, el "modelo científico o real" tiene el propósito -en nuestro caso particular- de integrar un conjunto de elementos físicos de tal manera que, con -- base en un proceso de experimentación, se pueda inferir si el modelo real guarda correspondencia con el modelo teórico o bien redefine a uno o a otro, además de que esté validado con los objetivos y planteamientos que lo originaron.

En el presente capítulo se muestran los diseños físicos - de tres modelos experimentales que se construyeron, el resultado de las pruebas físicas de cada uno de ellos, y finalmente la conclusión del proceso de experimentación.

Por otro lado, cabe señalar que la diferencia primordial que distingue a cada modelo se circunscribe a variantes de diseño de la Unidad de Transformación de energía, o sea, al análisis y experimentación de diferentes diseños del motor de aire caliente o motor Stirling.

Asimismo, si bien es cierto que en la Unidad de Reflexión-Recepción se pueden efectuar innumerables variantes de diseño, el gran interés que existe por parte de algunos grupos de investigación en la construcción y análisis de este tipo de unidades tuvo como consecuencia que nuestro trabajo se concentrara en el análisis del motor Stirling. Sin embargo, es necesario destacar que la Unidad de Reflexión-Recepción que se presenta difiere en algunos aspectos de los modelos convencionales. En efecto, tomando como punto de partida los diseños conocidos, la Unidad mencionada incorpora algunas variantes mecánicas que facilitan en gran medida la operación del sistema global.

Con base en lo anterior, a continuación se presenta el modelo físico de la Unidad de Reflexión-Recepción y, posteriormente, el correspondiente modelo de la Unidad de Transformación en sus tres variantes, así como el resultado de las pruebas experimentales realizadas con cada uno de ellos.

5.1 La Unidad de Reflexión-Recepción

Como su nombre lo indica, la Unidad de Reflexión-Recepción tiene como objetivo básico reflejar -lo más nítidamente posible- los rayos solares y obligarlos a cambiar de dirección concentrándolos en un determinado punto o área focal, así como recibir -ese haz de luz en un cuerpo en el que se pretende opere como transmisor de la energía calorífica generada en su interior de manera -eficiente.

5.1.1 Subunidad de Reflexión

Las "vistas" generales de la Unidad de Reflexión-Recepción se muestran en la figura 5.1; a continuación se describen las características de cada uno de los elementos que componen dicha --unidad.

a) Base

Uno de los elementos principales para que el sistema propuesto trabaje eficientemente lo constituye la -- Base de la Unidad de Reflexión-Recepción.

Construida con tubo de 1 1/2 pulgada, cédula 20 (normas A.P.I.), su característica principal radica en -- permitir obtener un movimiento con dos grados de libertad de tal manera que el sistema global pueda seguir eficazmente la trayectoria del sol.

Por otro lado, la Base es de tipo "junta universal",

con uno de los extremos aterrizado al piso y el otro - sujetando el espejo parabólico.

b) Araña

Este implemento consiste en un soporte contruido con tubo de aluminio de 3/4 de pulgada.

Su función radica en sostener firmemente a la Subunidad de Recepción así como a la Unidad de Transformación pudiendo tener movimientos longitudinales con objeto de hacer coincidir la Subunidad de Recepción con el área focal determinada por el diseño y estructura del parabolóide.

c) Superficie reflejante

Con base en los planteamientos teóricos descritos en el capítulo 3, se construyó una superficie parabólica de revolución con un diámetro de 1.20 metros y una distancia focal de 0.50 metros a partir del origen.

La superficie mencionada fue construida con fibra de vidrio, básicamente por las características que ofrece ese tipo de material: ligero, inoxidable y de fácil manipulación.

Para lograr el perfil correcto se utilizó una tarraja de revolución para generar un molde de yeso y, a partir de éste, construir la superficie parabólica de fibra de vidrio.

Con el propósito de aprovechar al máximo la incidencia de rayos solares así como de minimizar las distorsiones de los rayos, la superficie fue recubierta con papel aluminio de 0.1 milímetros de espesor y seccionada en pequeños "gajos" para ajustarse a la concavidad del perfil de la manera más precisa posible.

5.1.2 Subunidad de Recepción

De manera similar que en los puntos anteriores, la Subunidad de Recepción se deriva de los conceptos teóricos descritos en el capítulo 3.

Si bien es cierto que la construcción de la mencionada Subunidad no representa mayor problema, su importancia en la operación global del sistema cobra un carácter fundamental. En efecto, con la instalación de la esfera -tratando de extrapolar el concepto del "cuerpo negro"- se pretende maximizar la eficiencia del sistema en lo que se refiere a la transferencia de energía calorífica.

La esfera fue construida de cobre con 4 pulgadas de diámetro y con un orificio de entrada de 1 pulgada, recubierta en su interior con aluminio y aislado en su exterior con colchoneta de asbesto.

5.2 Unidad de Transformación

Como se señaló en la introducción de este capítulo, la

gran mayoría de los experimentos se realizaron alrededor de la Unidad de Transformación, de tal manera que se construyeron tres diferentes modelos de motores de aire caliente, cada uno con sus particulares características y especificaciones.

Partiendo de los conceptos teóricos expuestos en el capítulo 4, en este subapartado se explicarán los diseños, sus características y sus respectivos análisis.

5.2.1 Modelo Beta de Diafragma

Con el propósito de llevar a cabo los primeros intentos para mejorar las condiciones de operación de los motores Stirling así como encontrar algún diseño que satisficiera los planteamientos iniciales, se construyó un modelo de motor tipo beta, de diafragma totalmente hermético, con un gran número de elementos variables de tal manera de ir ajustando paso a paso su operación.

Por su hermeticidad, este tipo de motor permite tener presiones mayores a la atmosférica, así como la posibilidad de intentar pruebas utilizando otro tipo de gas diferente al aire que tenga un mayor poder de dilatación. Además de lo anterior destacan en su diseño otros elementos variables tales como:

- a) Ajuste continuo de 0 a 360 grados para el ángulo de fase entre las cámaras de presión y de trabajo.
- b) Relación de compresión variable, en un rango de 1.4 a 2.0.

- c) Masa de inercia variable, mediante la instalación de - diferentes discos atornillables sobre el volante.
- d) Regenerador integrado al desplazador.

El modelo Beta de Diafragma tiene una capacidad de volumen total de 350 centímetros cúbicos. Por otro lado, uno de los principales problemas que presenta este tipo de motor radica en - su gran tamaño en comparación con la cantidad de energía generada por la superficie parabólica. Asimismo, el tener un gran número de variables su operación se complica grandemente.

En suma, dadas las condiciones descritas el modelo Beta se deshechó ya que nunca pudo permanecer en operación continua -- por lo que se decidió partir de modelos más sencillos, que no tuvieran tantos mecanismos de ajuste para minimizar las fricciones y así mantenerlo en operación continua, de tal suerte que se optó por experimentar con dos motores del tipo Gama, uno de pistón y - otro de diafragma, ambos de menor tamaño que el primero.

5.2.2 Modelo Gama de Pistón

El motor Gama de pistón está fabricado con pistón de -- aluminio y cilindro de acero rectificado con enfriamiento varia-- ble, ya sea por aire o por agua.

La capacidad del motor en su volumen es de 22.345 centímetros cúbicos y tiene una relación de compresión fija de 1.68. Como limitante, el motor Gama de pistón solo está posibilitado pa

ra trabajar empleando aire. Asimismo, cuenta con las siguientes variables:

- a) Ajuste de 0 a 360 grados de ángulo de fase entre ambas cámaras.
- b) Masa de inercia variable

En las pruebas efectuadas con el modelo de pistón, éste logró permanecer en operación continua a una velocidad angular de 300 revoluciones por minuto (rpm). Con objeto de realizar el mayor número de pruebas posible fue necesario transferir energía calorífica al motor con un soplete oxiacetilénico con una temperatura aproximada de 600 grados centígrados y con enfriamiento externo de agua. Sin embargo, la potencia apenas era suficiente para que el motor permaneciera períodos cortos de tiempo en operación por lo que se decidió realizarle algunas modificaciones que derivaron en el motor que se analizará a continuación.

5.2.3 Modelo Gama de Diafragma

El motor Gama de diafragma fue construido con diafragma de hule latex con la posibilidad de ser enfriado por agua o por aire. El gas de trabajo es el aire y su capacidad de volumen es de 22.435 centímetros cúbicos.

La relación de compresión es fija, ascendiendo su valor a 1.68, contando con los siguientes elementos variables:

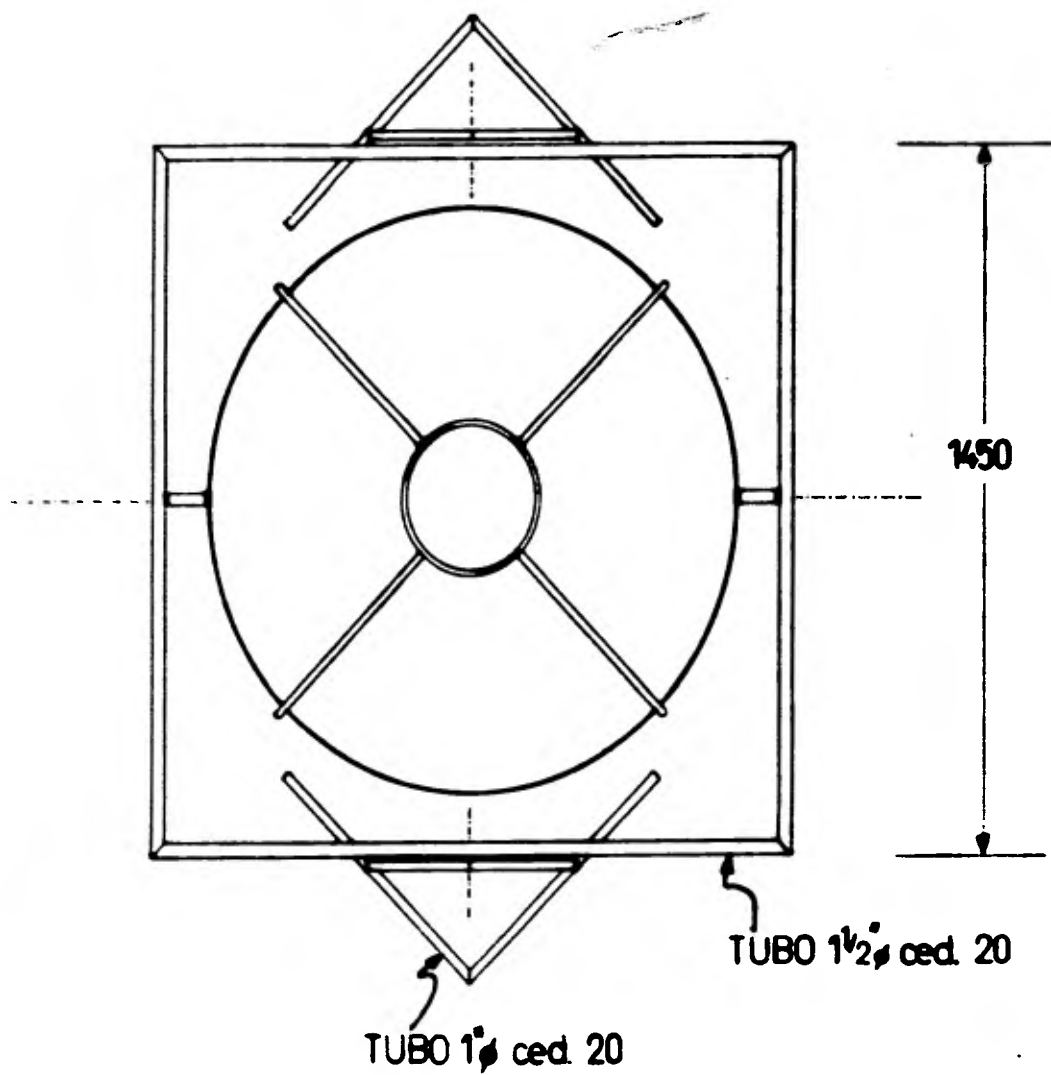
- a) Ajuste del ángulo de fase de 0 a 360 grados entre --
ambas cámaras, y
- b) Masa de inercia variable

La principal limitación de este tipo de motor es que -- requiere para su operación continua temperaturas sumamente altas_ (aproximadamente 1000 grados centígrados) por lo que sería necesario construir una nueva superficie parabólica que tuviera la posibilidad de proporcionar un alto rango de energía.

Finalmente, se presentan los diseños técnicos del modelo de pistón. Considerando que el modelo de diafragma solo incorpora algunos variantes al anterior se muestran los diseños de las mismas, así como la memoria fotográfica de los trabajos. Por otro lado y a manera de conclusión consideramos que de los tres modelos construidos el que ofrece mayores posibilidades de éxito es - el motor Gama de diafragma ya que su operación no presenta ninguna dificultad, su construcción es sumamente sencilla y económica_ y no requiere prácticamente de ningún mantenimiento; la única - - restricción que tiene es el volumen de energía que requiere por lo que sería necesario construir una nueva superficie parabólica - - que tuviera dimensiones mayores a la presentada.

5.3. Vistas Generales y Planos de Fabricación

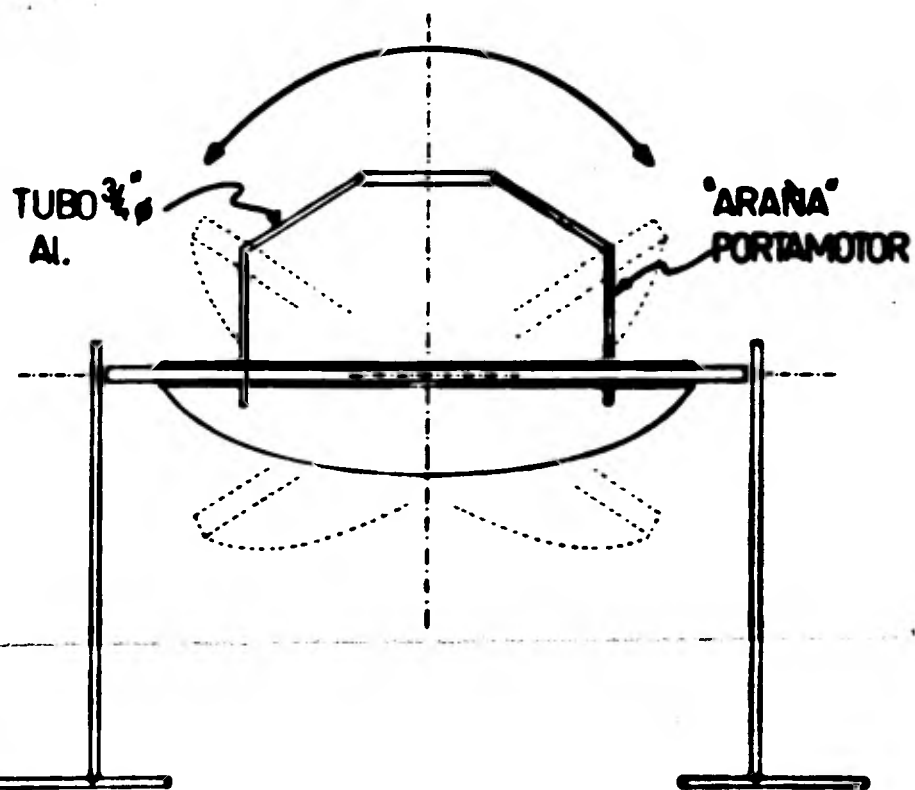
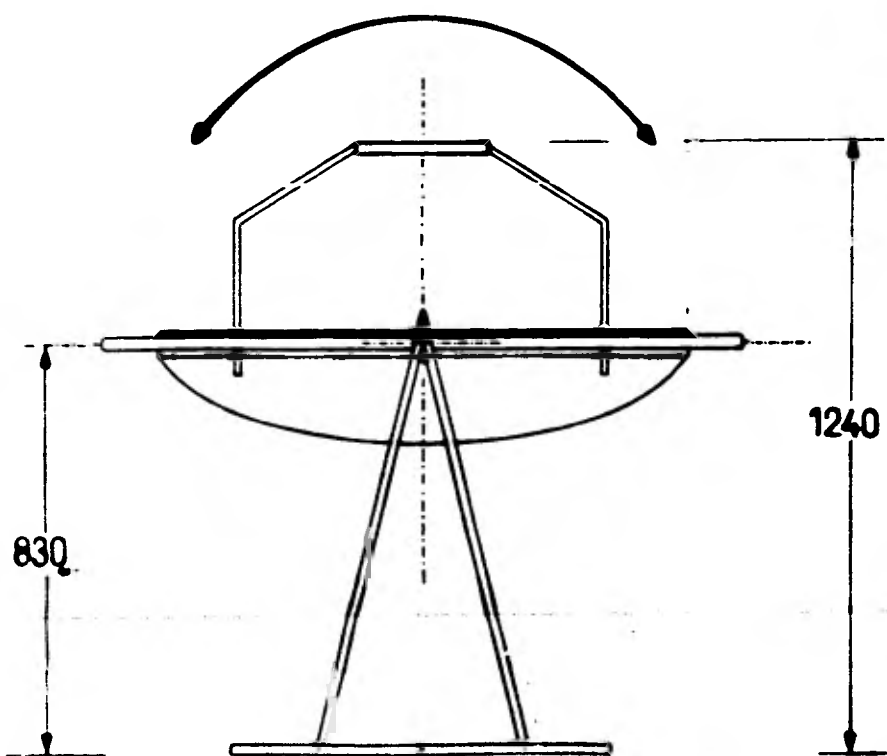
VISTAS GENERALES
REFLECTOR PARABOLICO



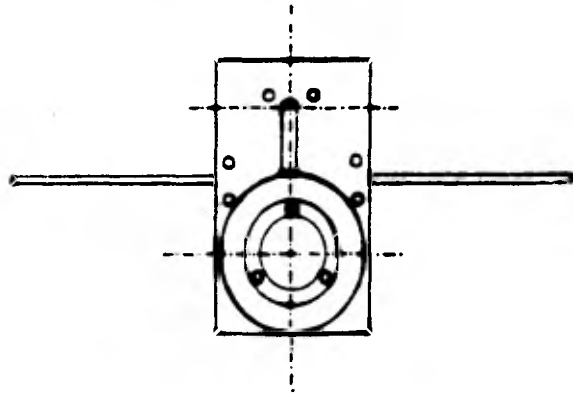
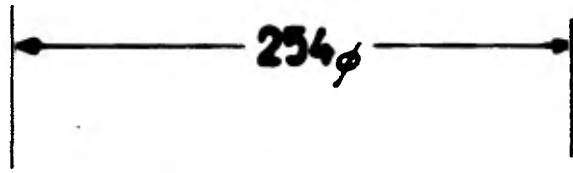
1200 ϕ

GIRO DEL CUADRO

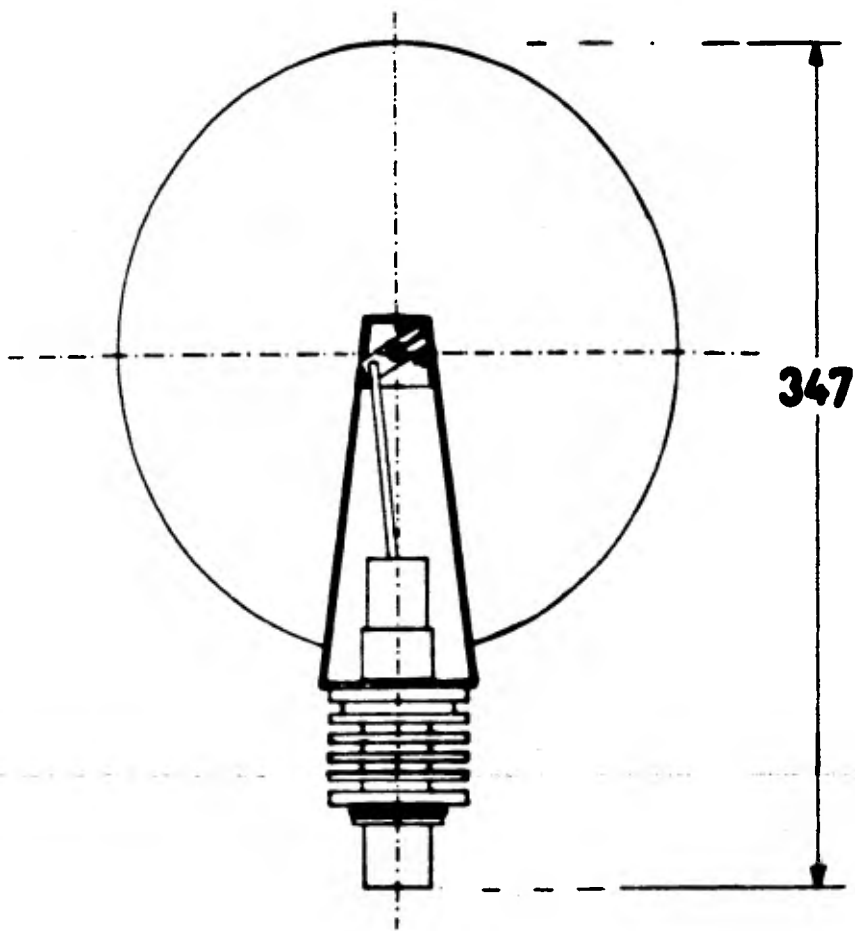
GIRO DEL ESPEJO



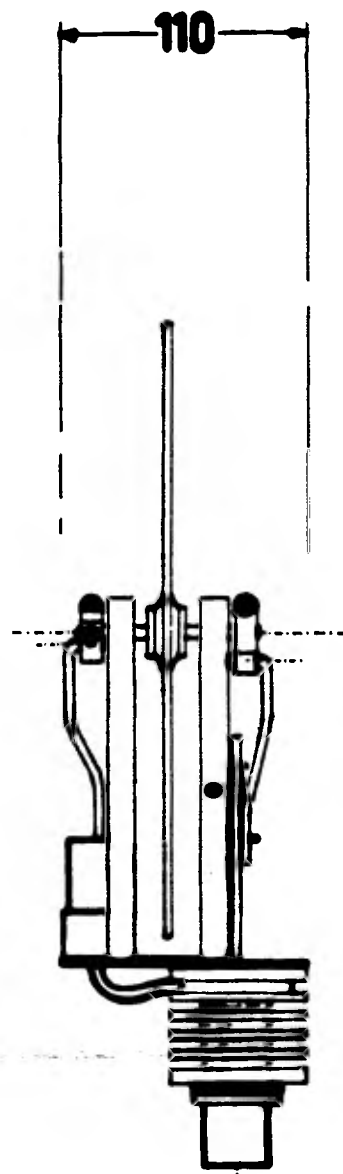
acot: mm



V. INFERIOR



V. LATERAL IZO.

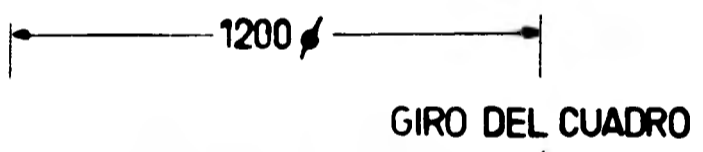
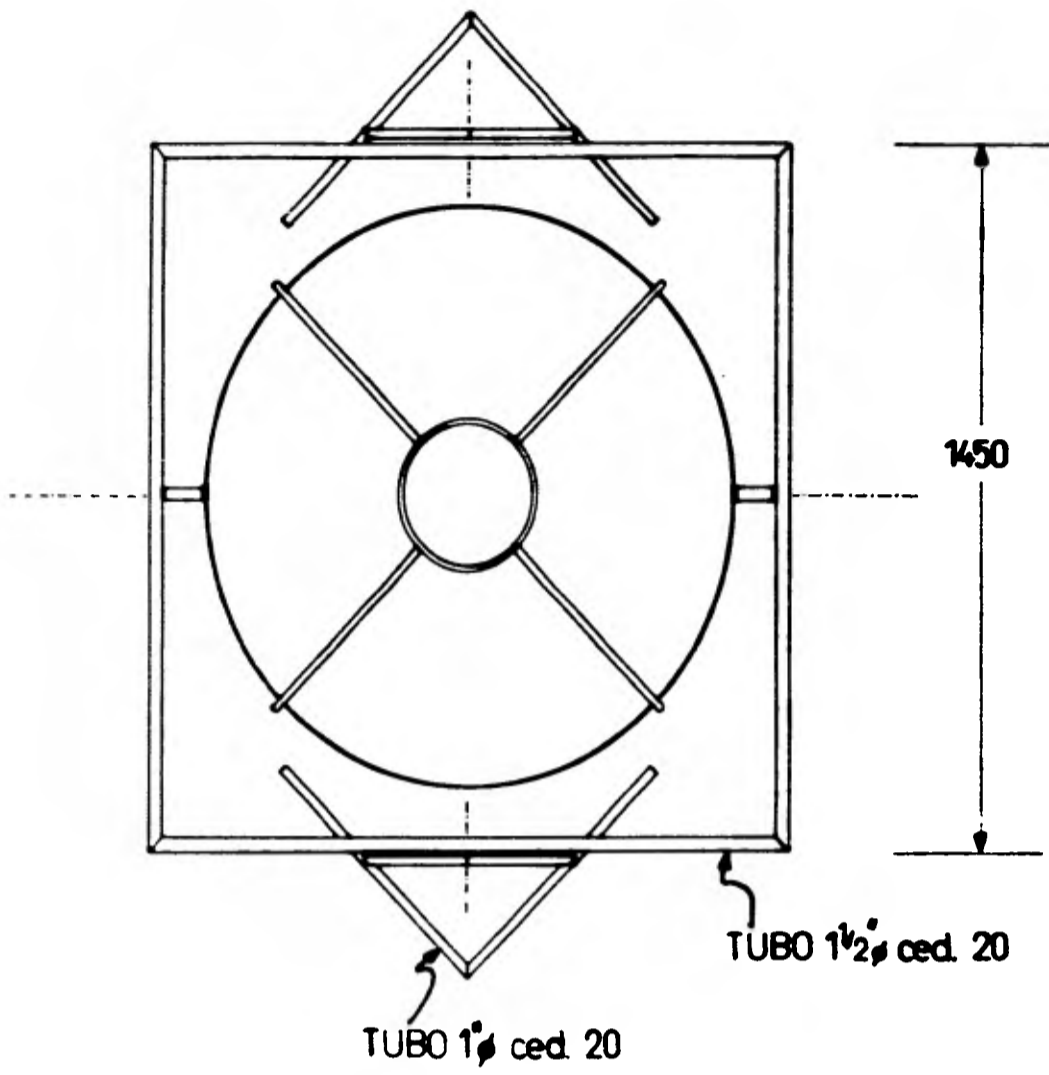


V. FRONTAL

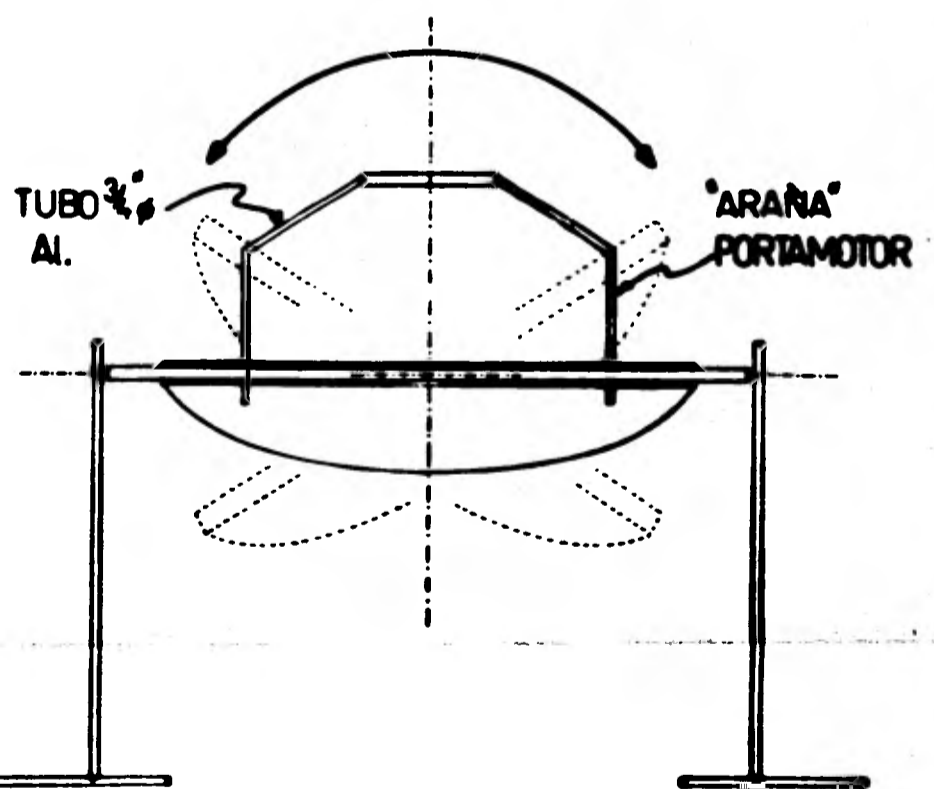
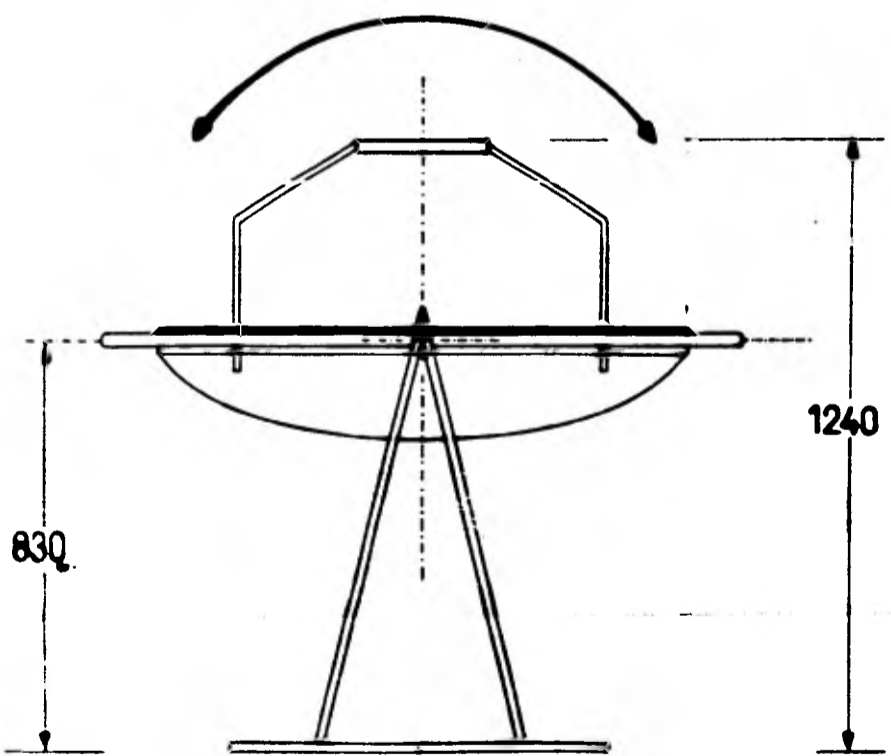
ACOT: mm.

VISTAS GENERALES

VISTAS GENERALES
REFLECTOR PARABOLICO

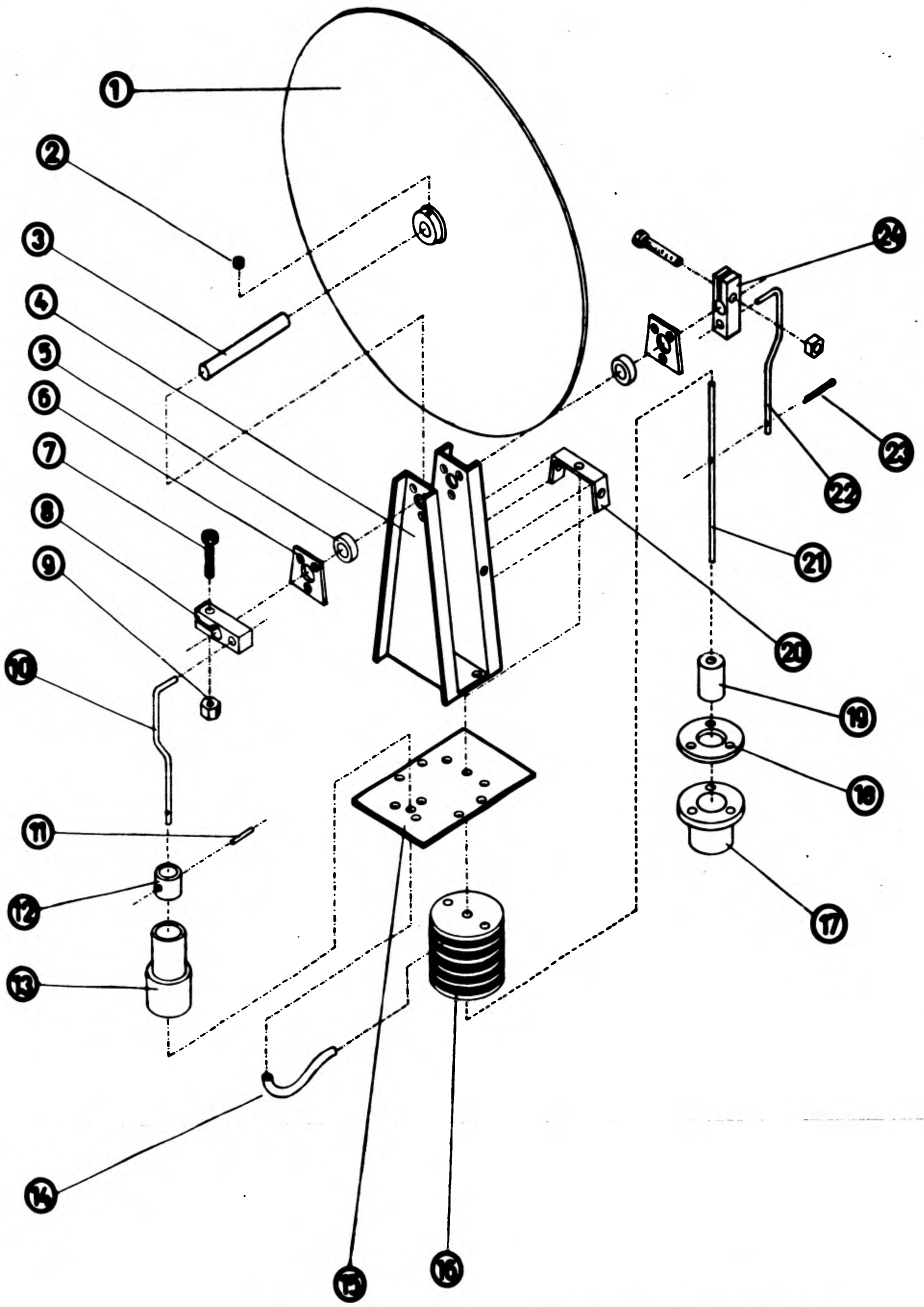


GIRO DEL ESPEJO

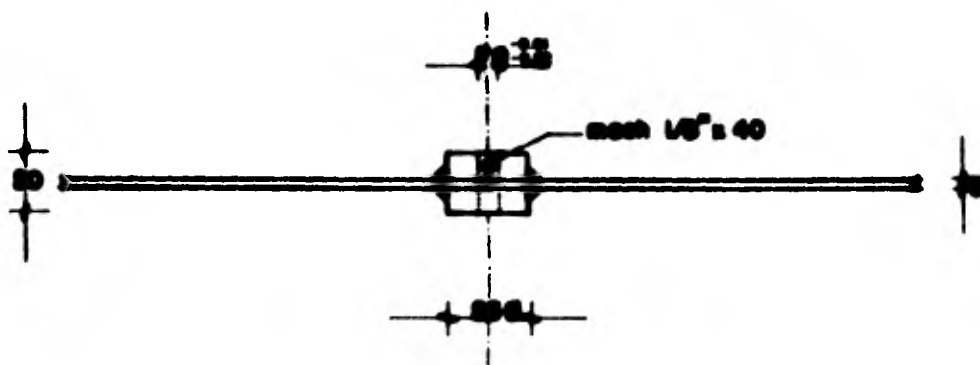
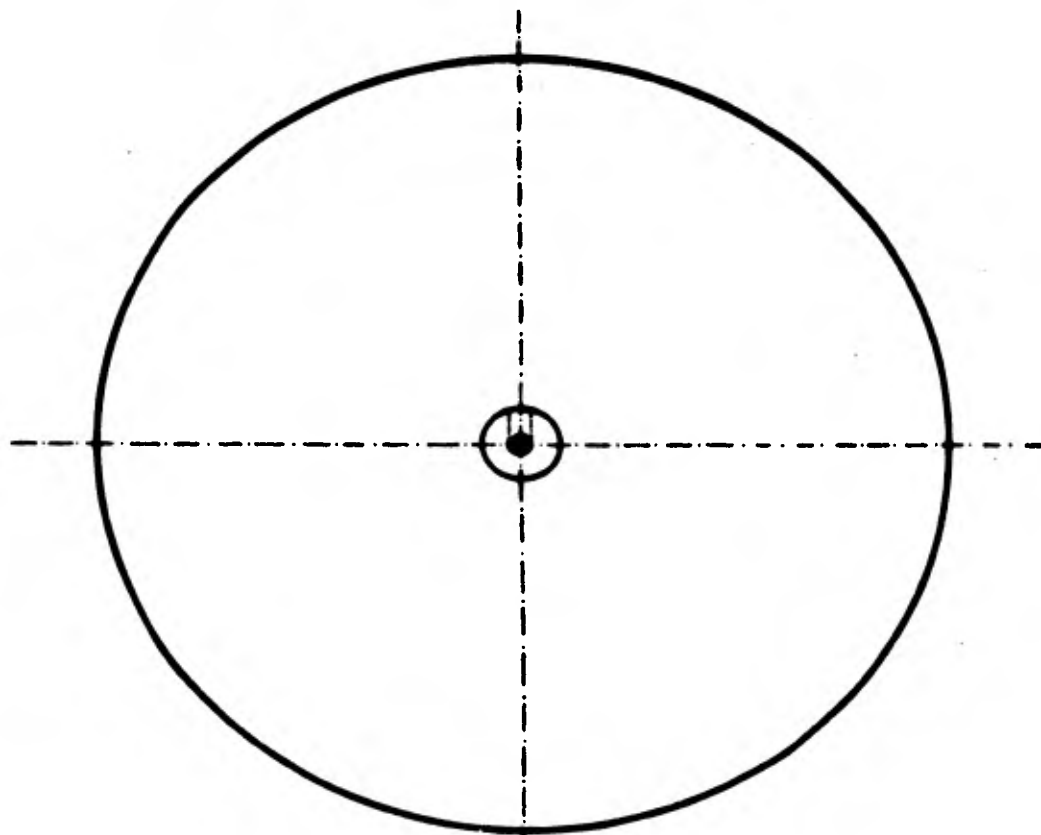


acot: mm

**Planos de Fabricación del
Modelo Gama de Pistón**



ISOMETRICA DE DESPIECE



DESCRIPCION:

VOLANTE

DISEÑO:

APROBADO:

AUTORIZADO:

EST. AC. 1980

REVISADO:

ESCALA: 1:2

TOLERANCIA ± 0.1

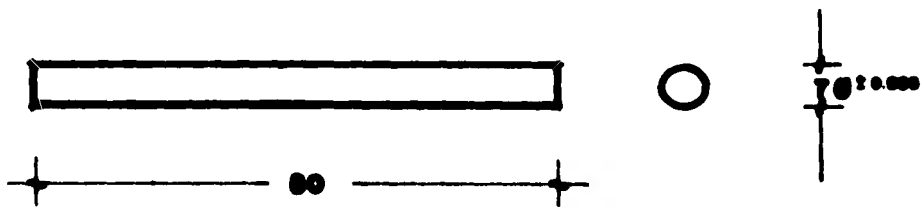
ARTICULO No. 1

SECCION No.

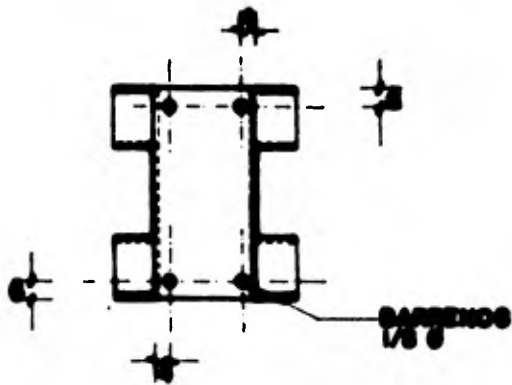
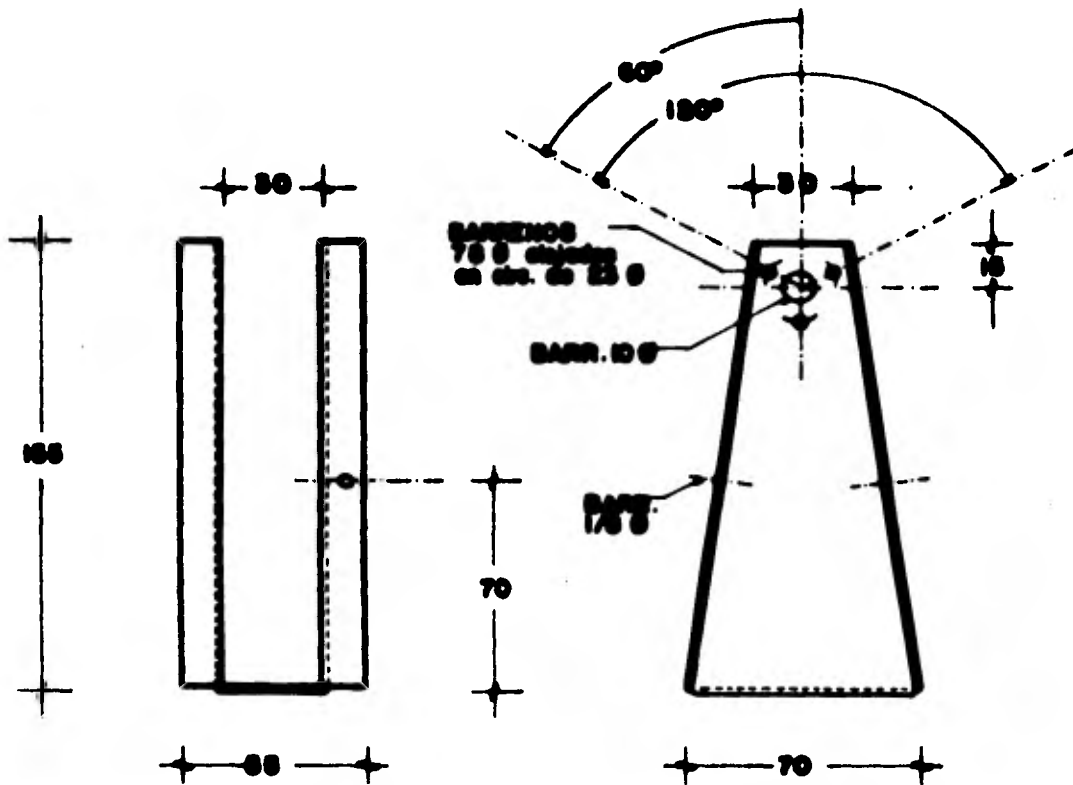
H

DE

DE

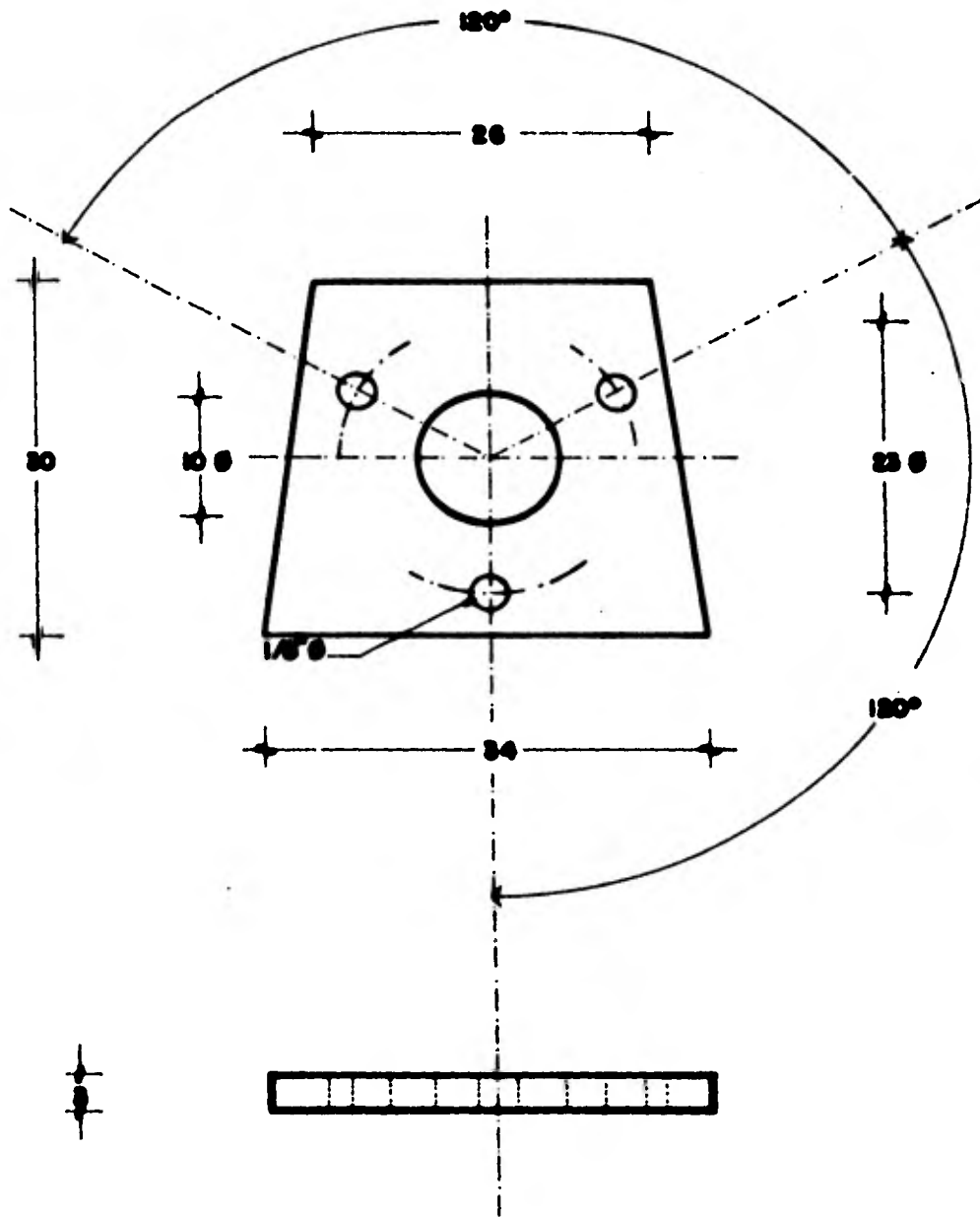


DESCRIPCION:	ITEM:	REV. AC 1048	PLANO:	ITEM NO.
FLECHA	APROBADO:	FECHA:	ARTICULO NO. 3	
	AUTORIZADO:	FECHA: 1/1		

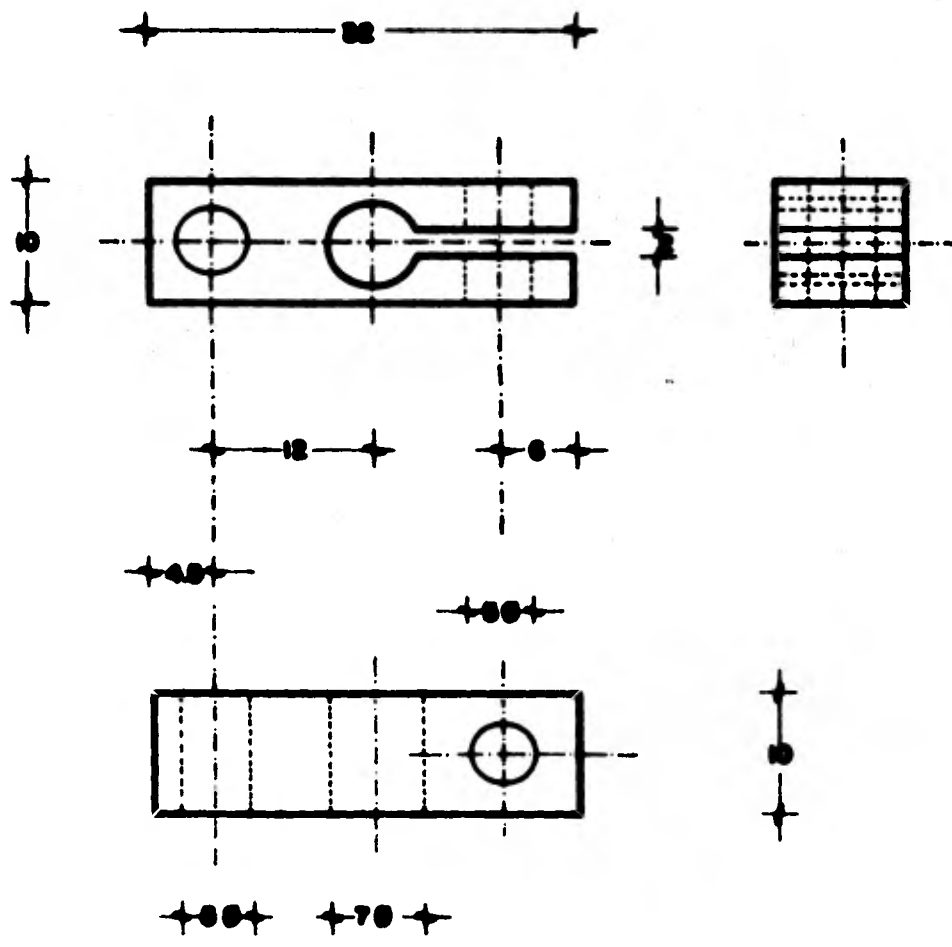


cop. = 2

DESCRIPCION:	DIBUJO:	MAT. AL	TOLERANCIA 0.1	DIBUJO No.
SOPORTE	APROBADO:	QUERZA:	ARTICULO No 4	H DE MS
	AUTORIZO:	ESCALA: 1:2		

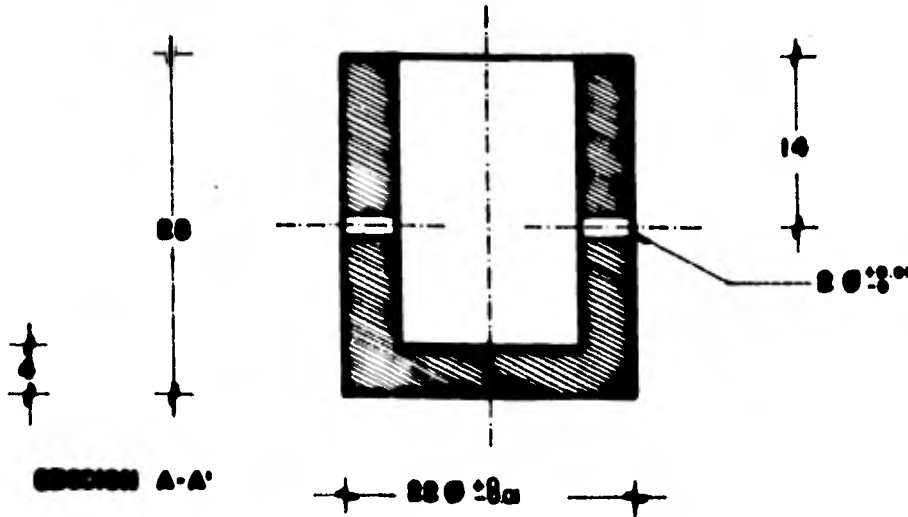
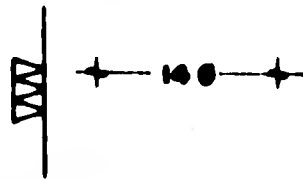
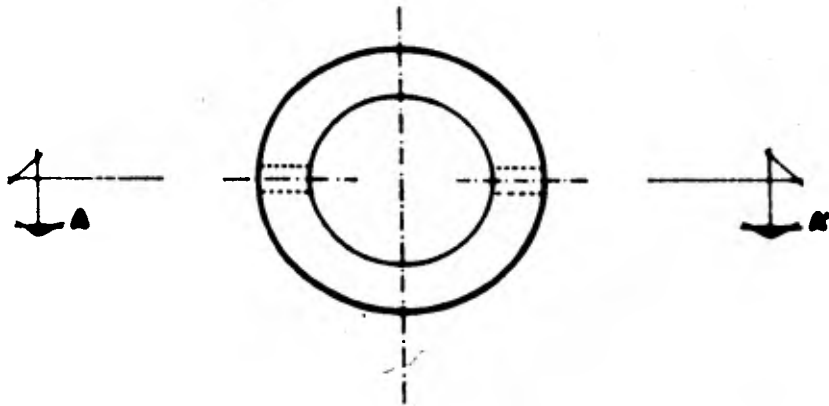


DESCRIPCION: TAPA BALERO	ORIGEN :	MAT. Al.	TOLERANCIA ± 0.1	GRUPO No.
	APUNTO :	PIECEA:	ARTICULO No.	
	AUTORIZO:	ESCALA: 2 : 1		



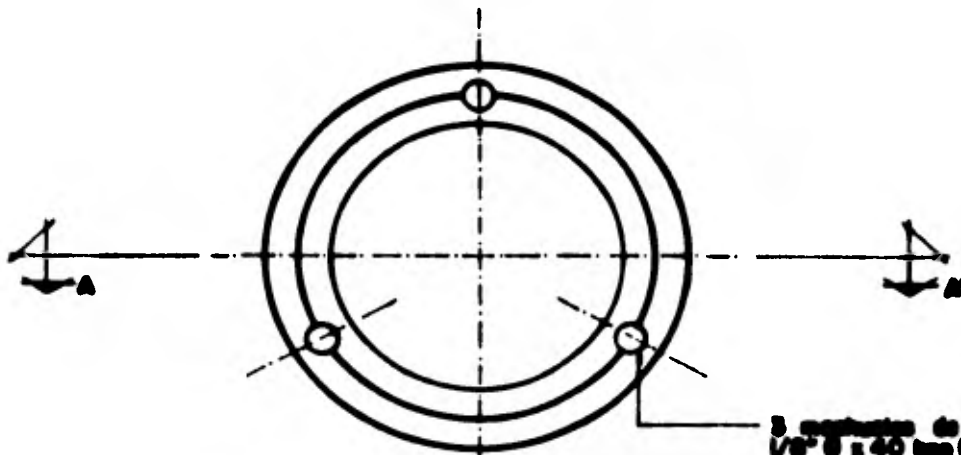
NOTA: PARA LA PIEZA Nº 04 LA EXCENTRICIDAD EN VEZ DE 12 ES DE 15

DESCRIPCION: MANIVELAS	DISEÑO:	MAT. AC. C-45	TOLERANCIA ±0.05	DIBUJO No.
	APROBADO:	DUREZA:	ARTICULO No.	
	AUTORES:	ESCALA: 3:1		

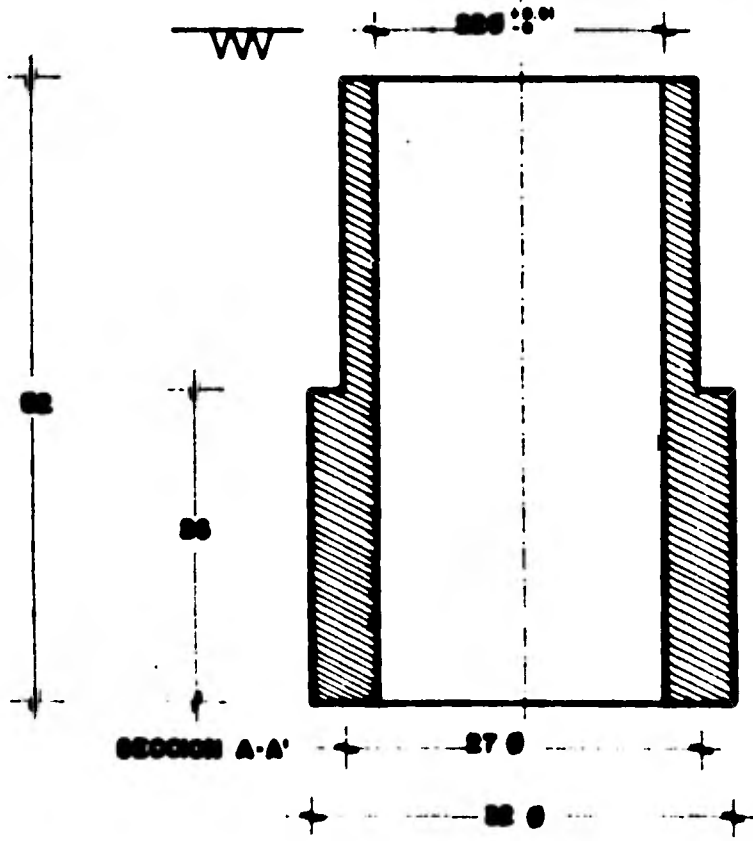


SECCION A-A'

DESCRIPCION: PISTON	DESIGNO:	DET. A1	TOLERANCIAS	GRUPO NO.
	AUTORES:	ESCALA: 2:1	ARTICULO NO. 12	



3 agujeros de $1/8" \phi \times 40 \text{ lpp } (1/4)$
 a 120° en un radio
 de 15.5 mm.

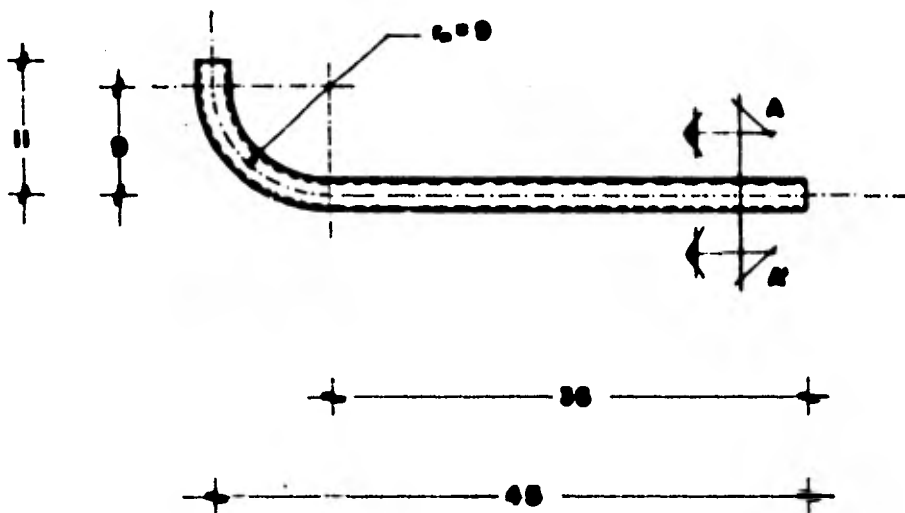


DESCRIPCION: CILINDRO	DISEÑO :	INT. 50 50	TOLENCIA	DIBUJO No.
	APROBADO :	DUREZA: 60 HRC	ARTICULO No. 13	
	AUTORIZO:	ESCALA: 8 : 1		

SECCION A-A'



$R_1 = 2.5 \pm 0.05$
 $R_2 = 2$



DESCRIPCION:

VENA

GENIO:

MAT. LATON

TOLERANCIA

GENIO NO.

APROBADO:

QUELCA:

REVISADO NO.

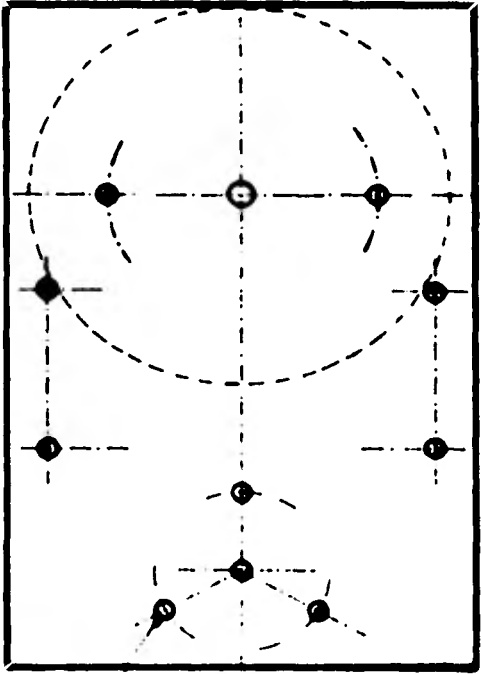
AUTORES:

ESCALA: 2:1

14

70

3



80

35

15

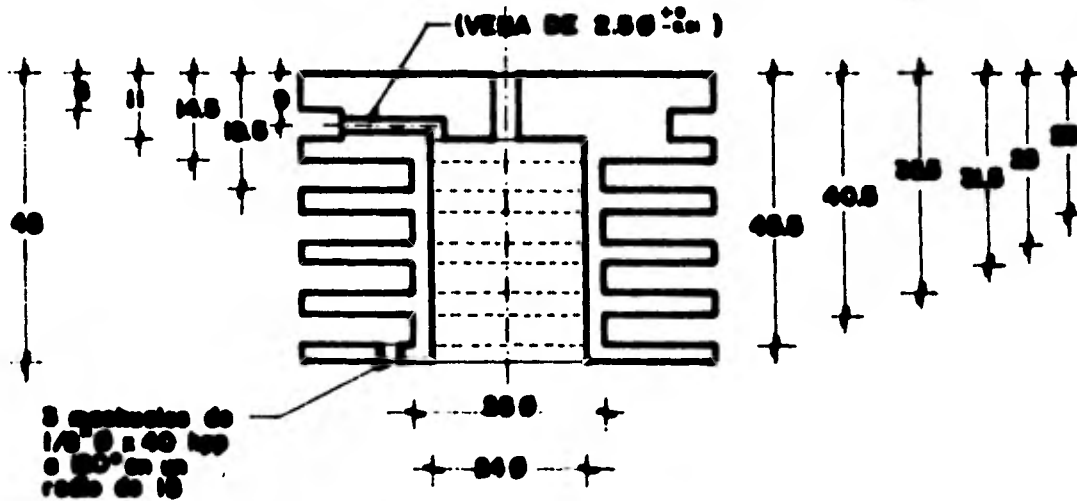
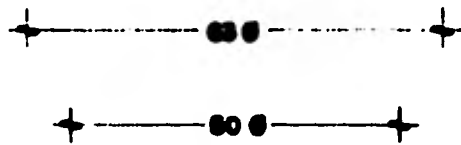
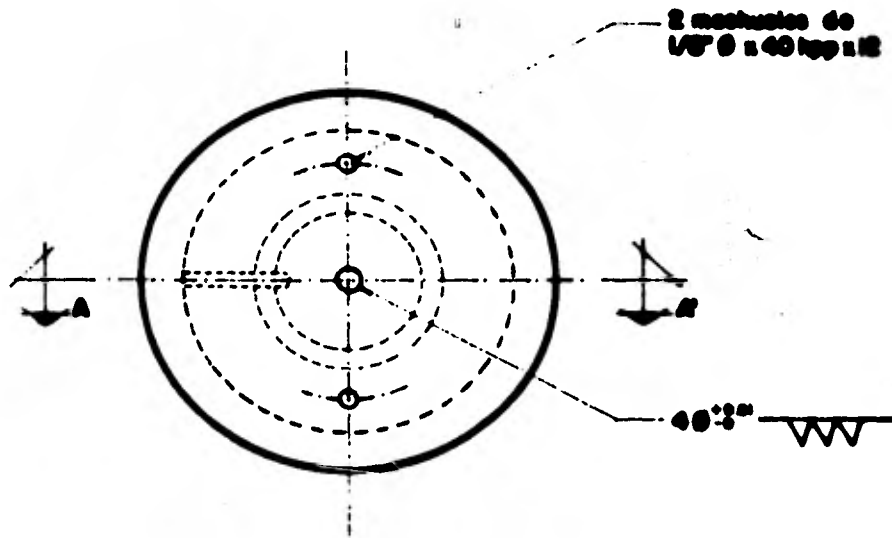
70

80

3 BARRENOS
DE 1/8" Ø A
90° VUELTO

TODOS LOS BARRENOS SIN NOTACION
SON DE 1/8" Ø

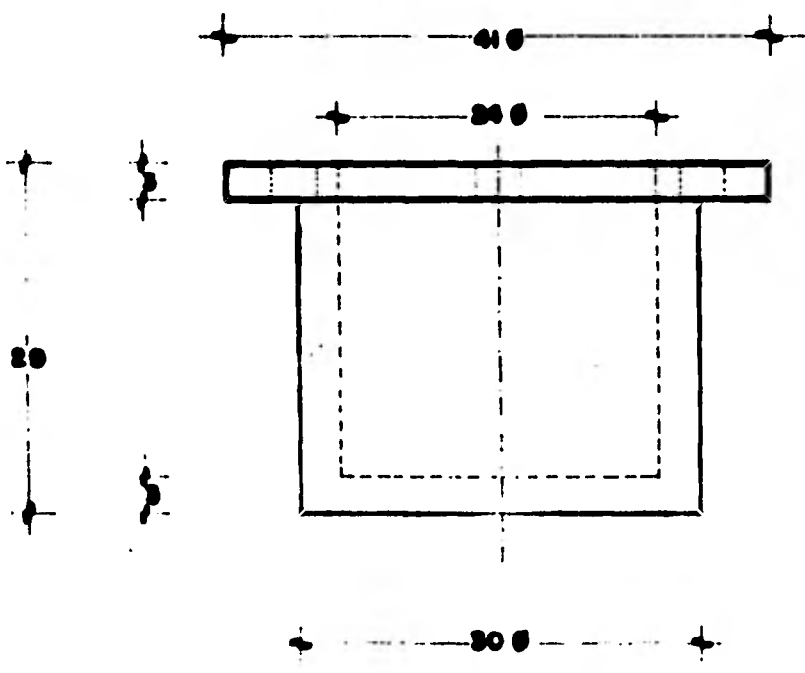
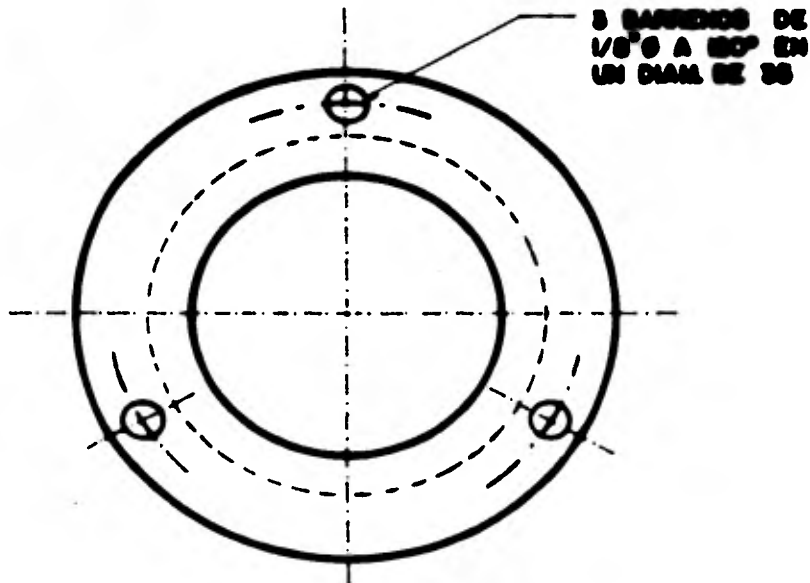
DESCRIPCION: BASE	DIBUJO :	MAT. Al.	TOLERANCIA	DIBUJO No.
	APROBADO :	DUREZA	ARTICULO No. 15	
	AUTORIZADO :	ESCALA: 1:1		



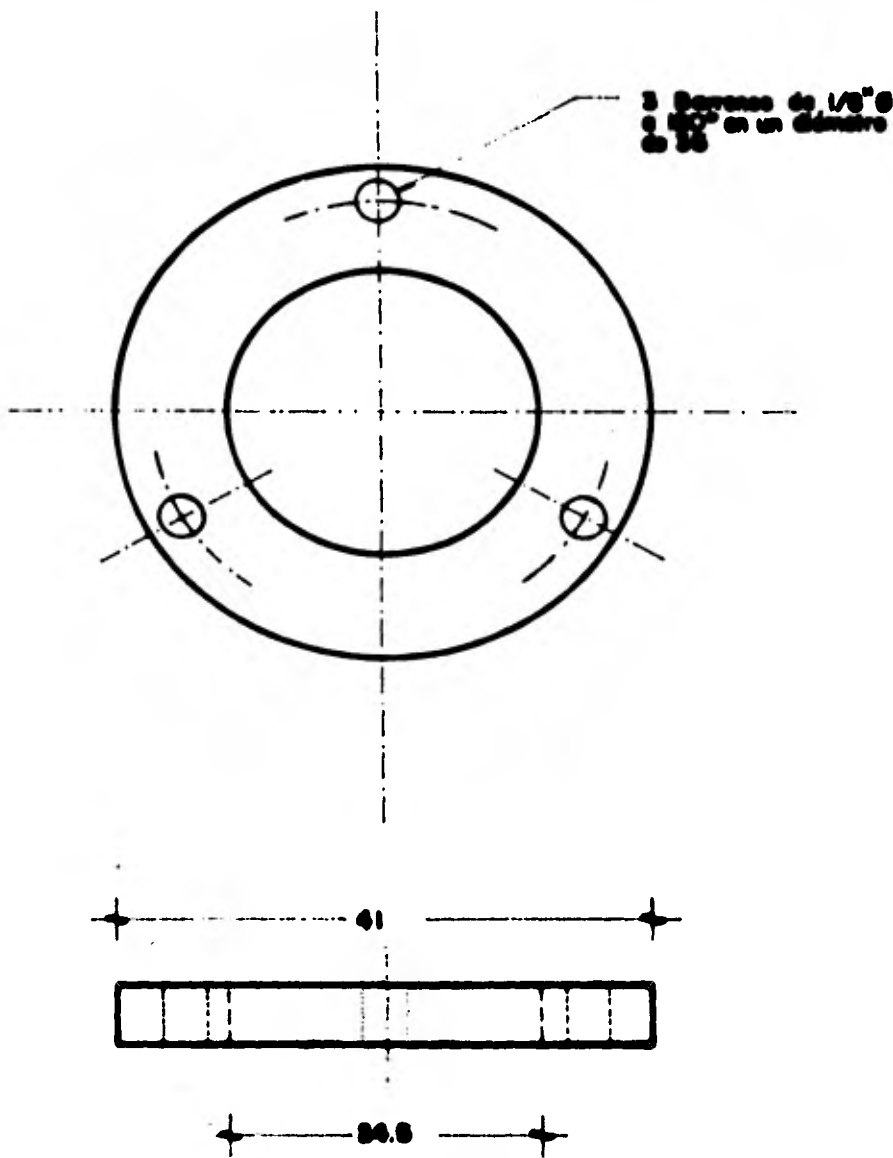
SECCION A-A'



DESCRIPCION:	DIBUO:	MAT A100	TOLERANCIAS	DIBUO No.
BULBO FRIO	APUNTO:	QUELZA	ARTICULO No.	16
	AUTOMBO:	ESCALA: 1:1		



DESCRIPCION: BULBO CALIENTE	DIBUJO:	MAT. ACERO	TOLENCIA:	DISEÑO No.
	APROBADO:	CURPZA:	ARTICULO No. 17	
	AUTORIZO:	ESCALA: 2:1		H DC NS



DESCRIPCION:

EMPAQUE

DISEÑO :

RAYA

TELEGRAMA

DISEÑO No.

APUNTO :

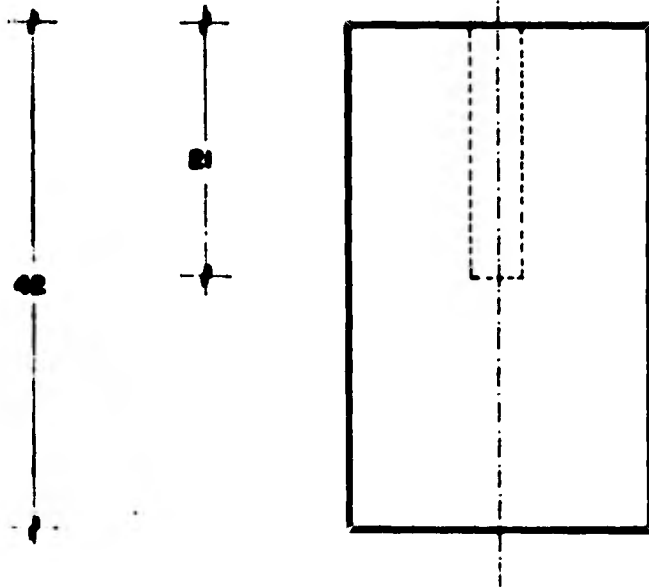
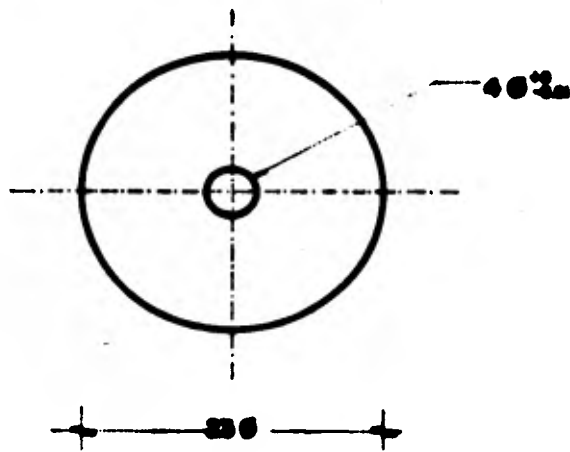
DUREZA:

ARTÍCULO No.

AUTORIZO:

ESCALA: 2:1

10



DESCRIPCION:

PISTON DESPLAZADOR

DISEÑO :

APROBADO :

AUTORIZADO :

EST. **A198**

SUREZA :

ESCALA :

TOLERANCIAS ± 0.01

ARTICULO No.

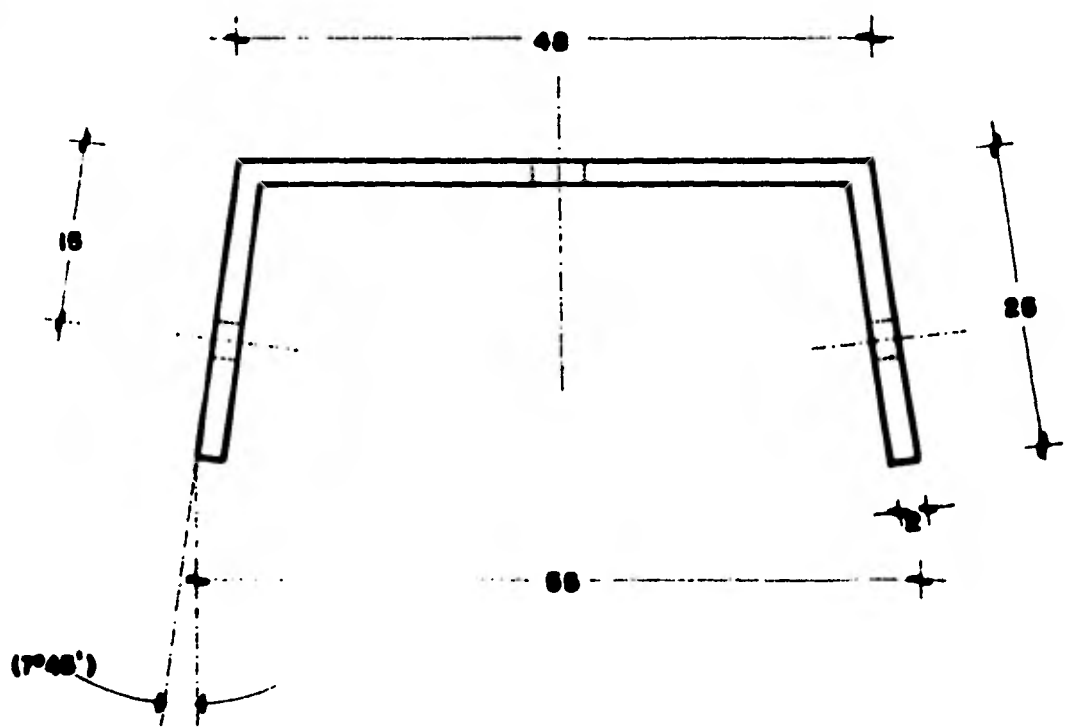
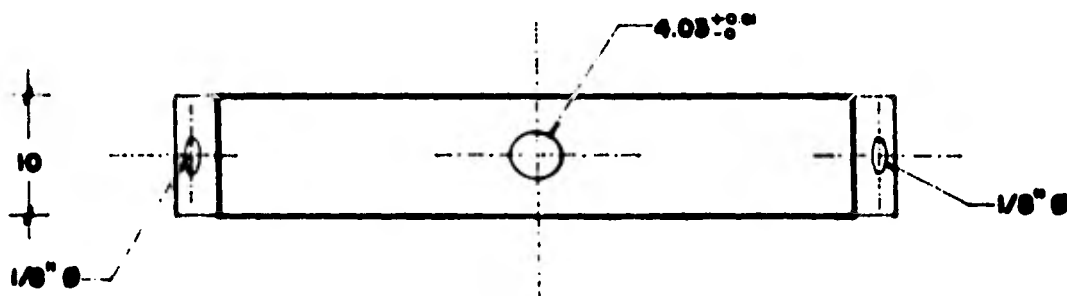
SECCION No.

19

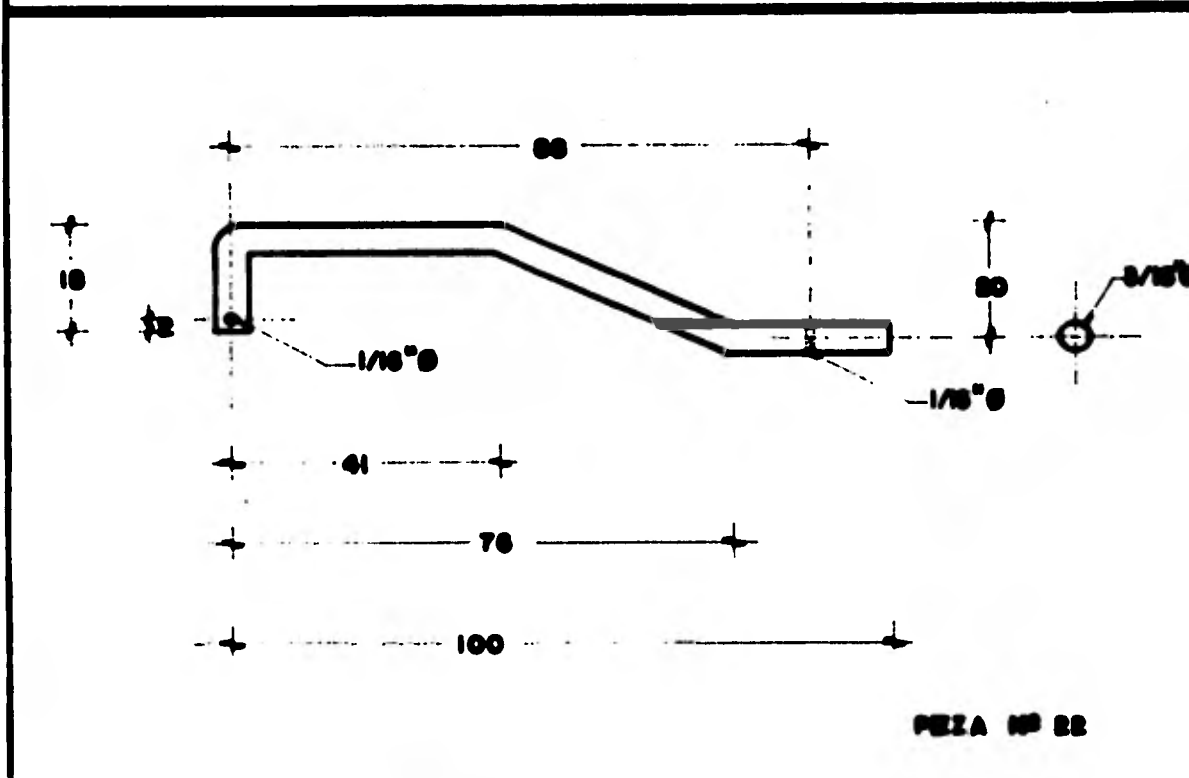
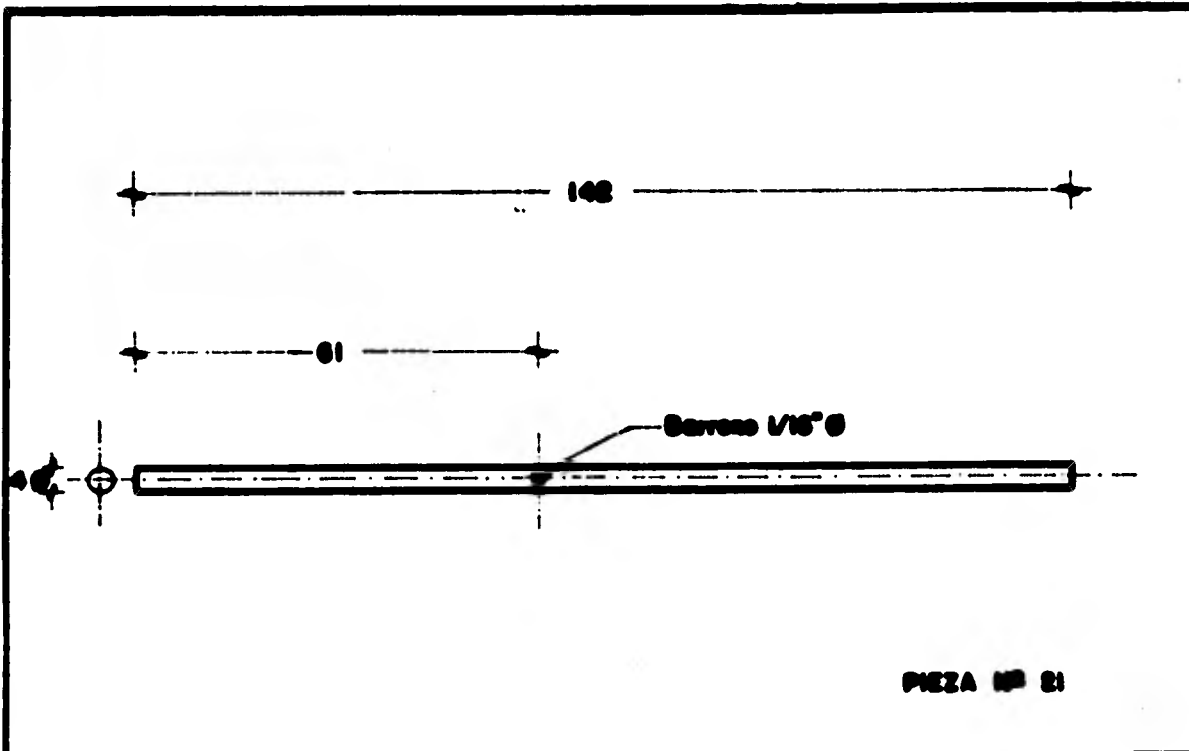
11

12

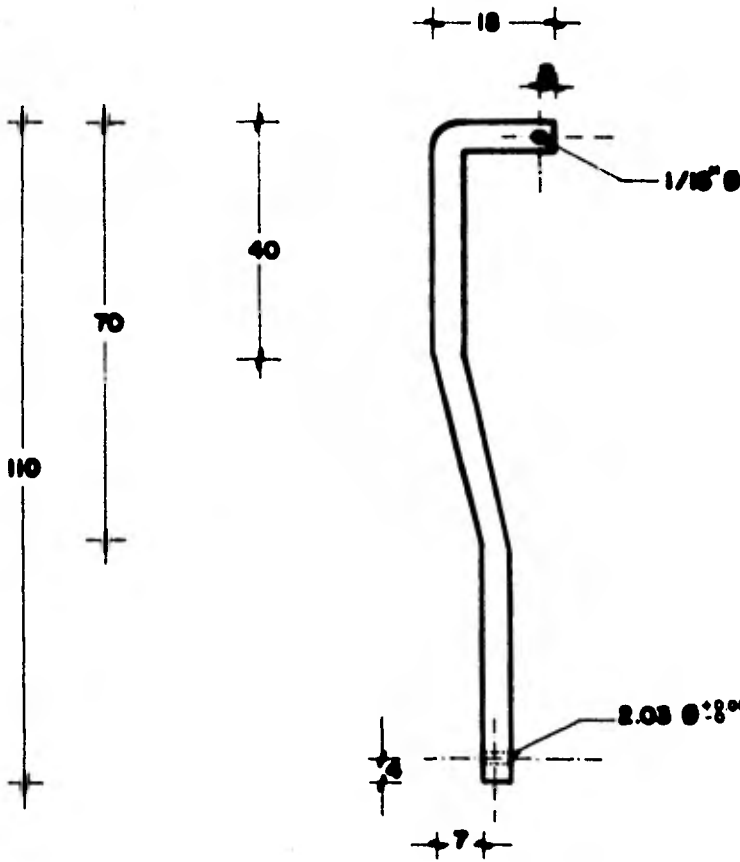
13



DESCRIPCION:	DISEÑO :	REV. Δ 1.	TOLERANCIAS	DIBUJO NO.
GUIA	APROBADO :	QUERZA:	ARTICULO NO. 20	
	AUTORIZADO:	EDICION: Δ 1		

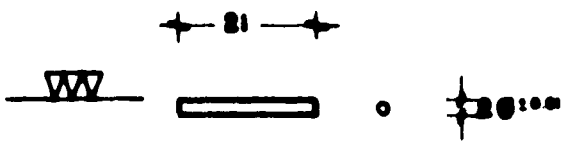


DESCRIPCION: BIELA Y VASTAGO	DISEÑO :	MAT. C.R.	TOLERANCIA	DIBUJO No. H DE NS.
	APROBADO :	GRUEZA:	ARTICULO No. 21 y 22	
	AUTORIZO:	ESCALA: 1:1		



PIEZA Nº 10
 AISI 1018
 3/16" Ø

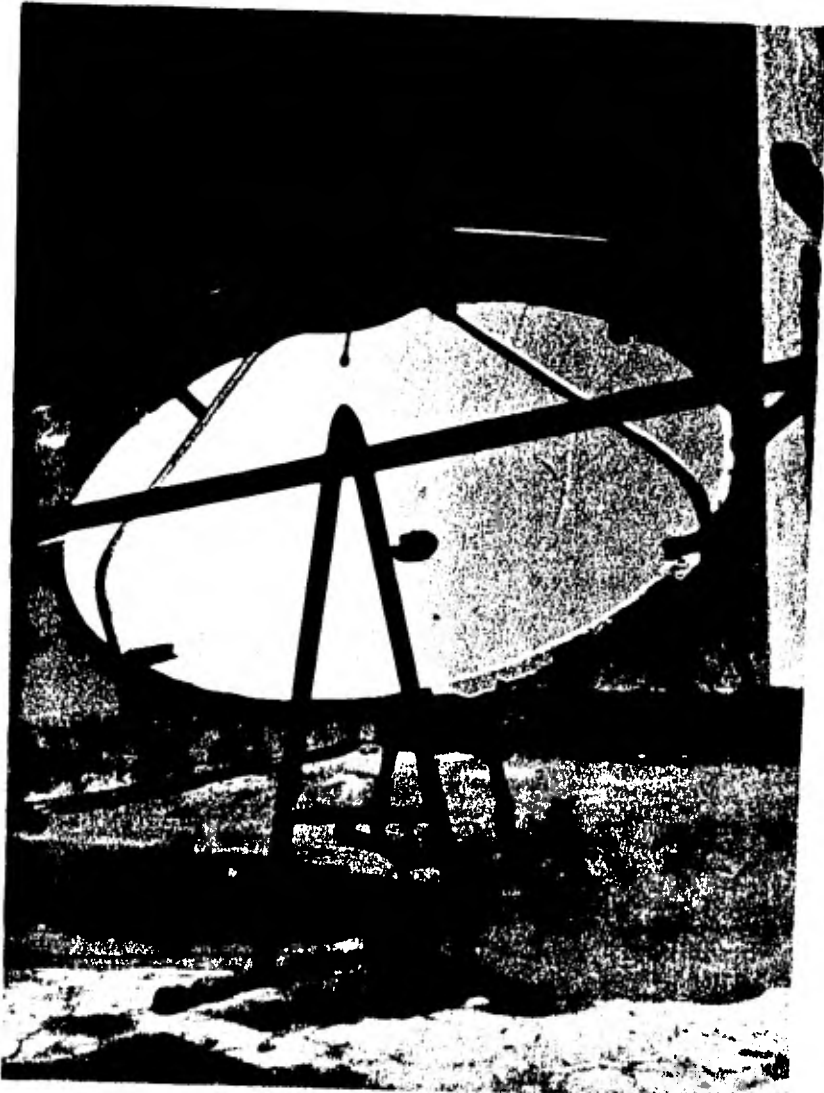
2.03 Ø ± 0.01



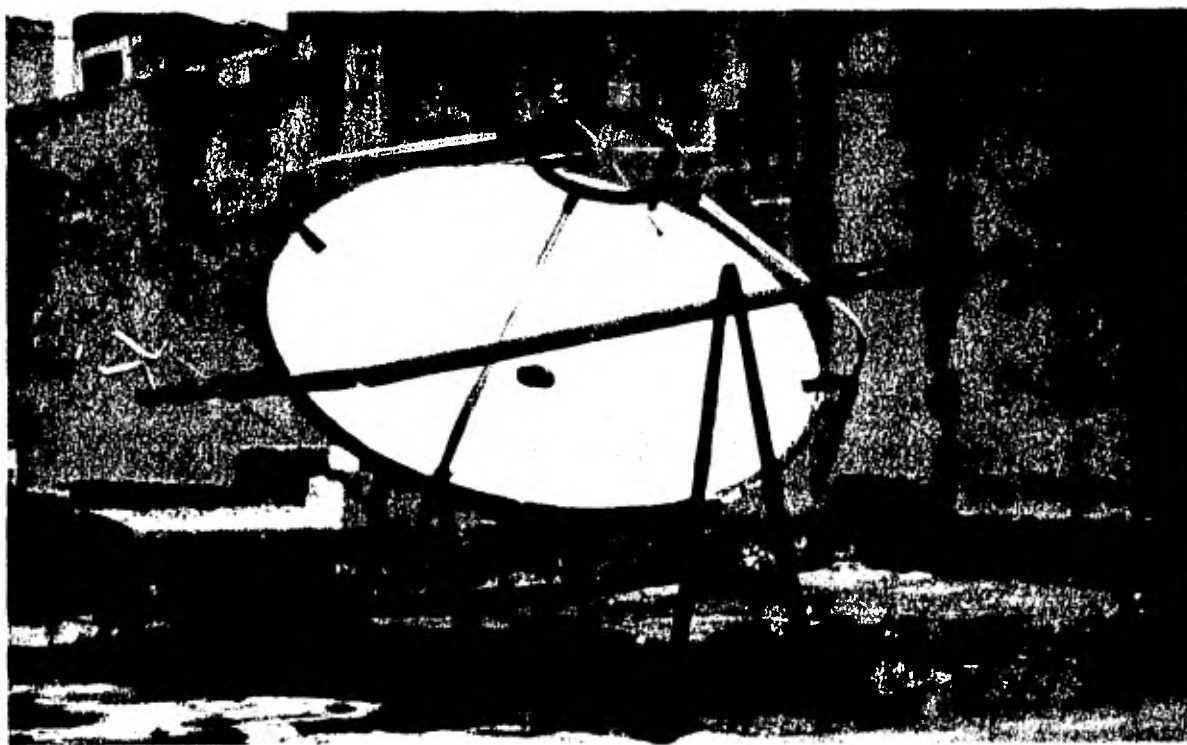
PIEZA Nº 11
 CA 1220
 50-50 HRC

DESCRIPCION: BIELA Y PERNO	DESIGNO:	MAT.:	TELEGRAMA 2 0.1	SERVO NO.
	APUNDO:	QUANTIA:	ARTICULO NO.	
	AUTORIZO:	ESCALA: 1:1		

5.4. Memoria Fotográfica



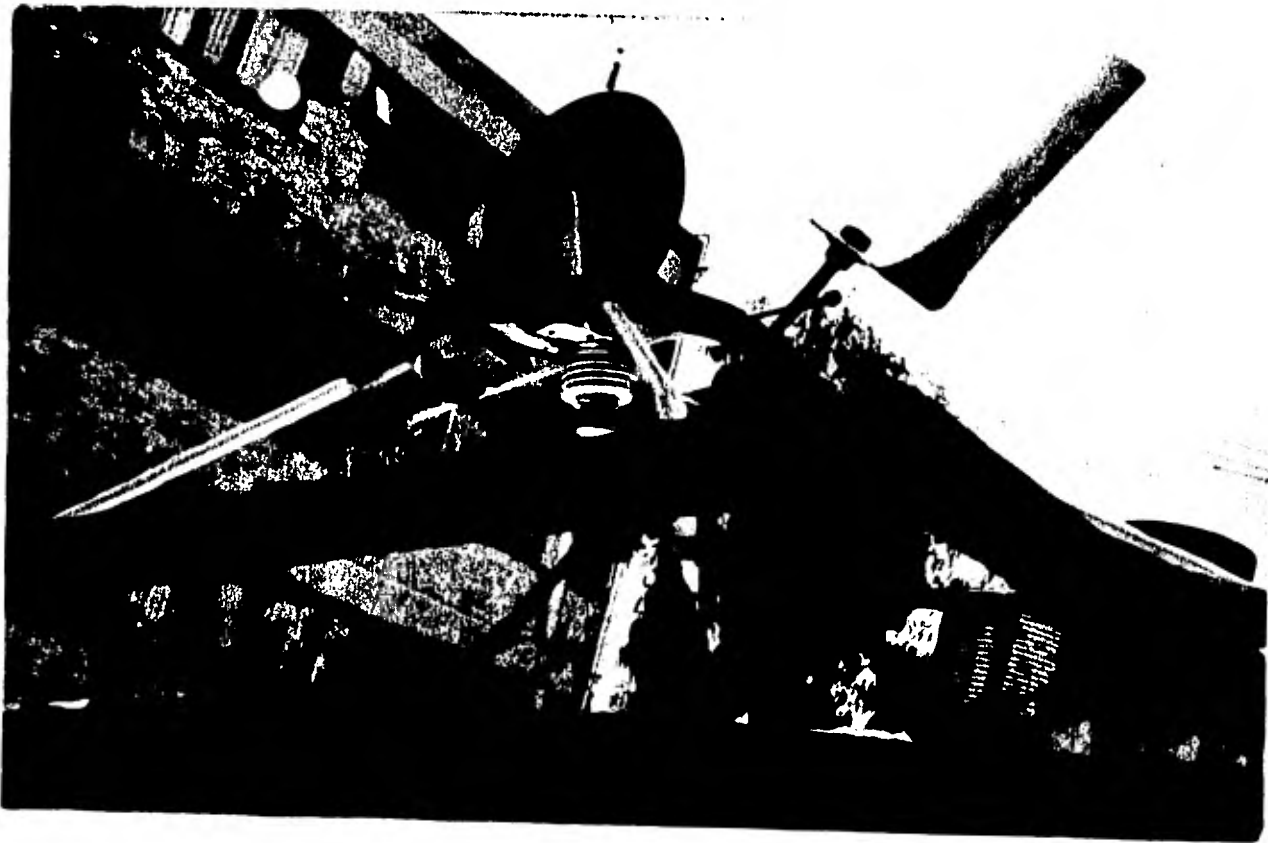
**Vista General de la Unidad de Reflexión
Recepción**



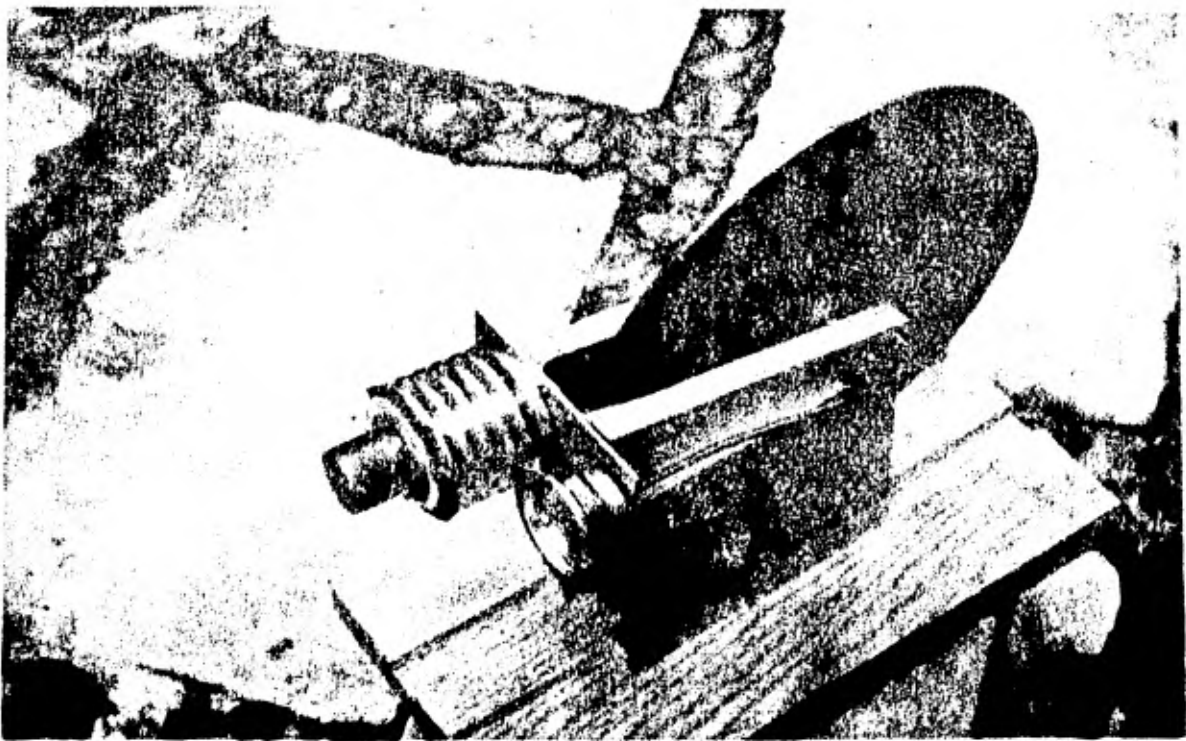
Vista General de la Unidad Reflexión - Recepción



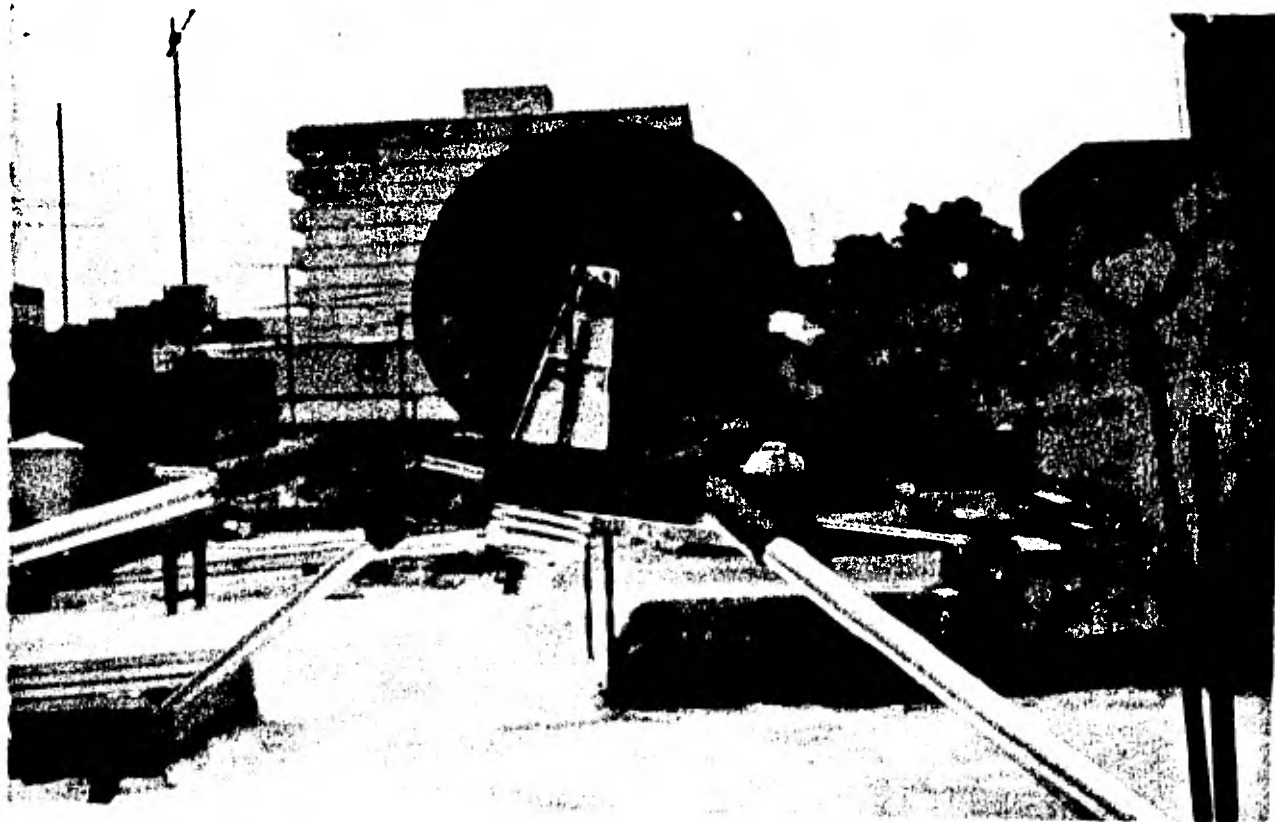
Modelo Beta de Diafragma



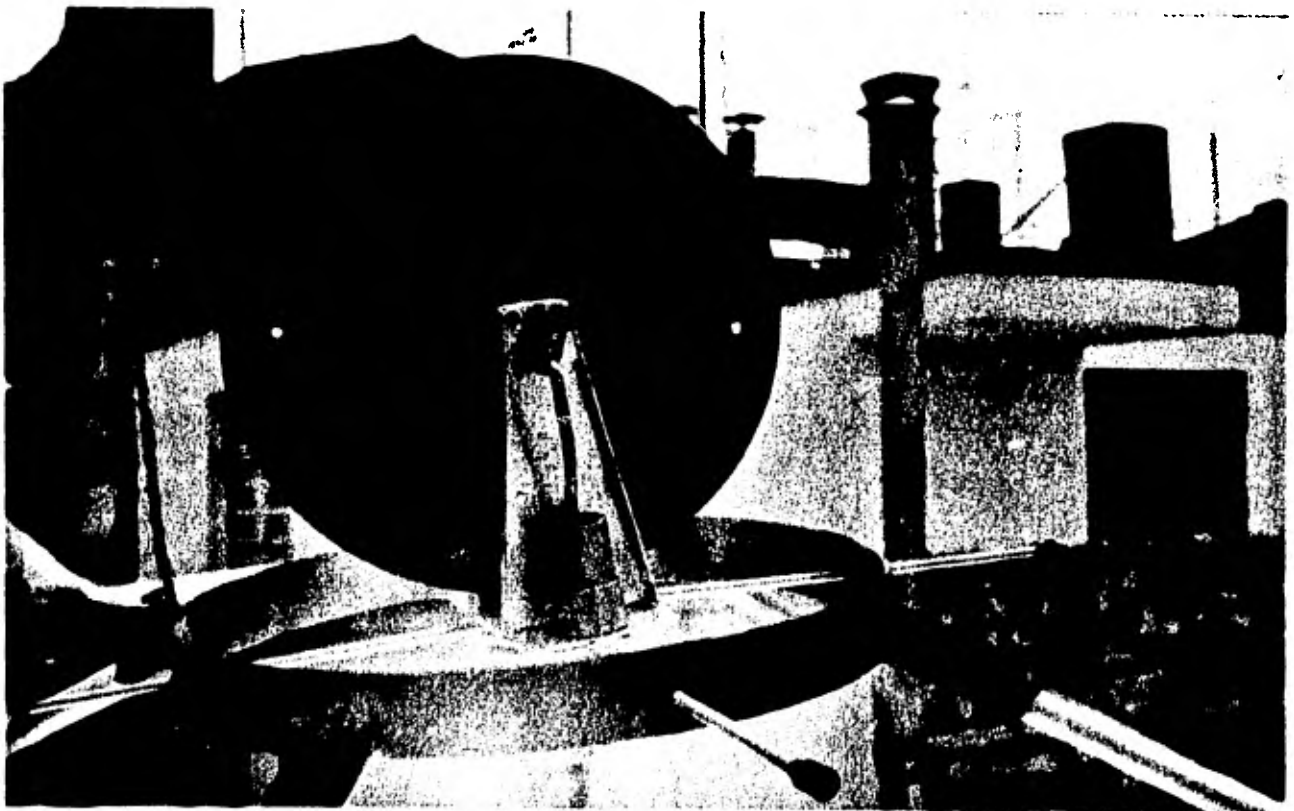
Vista Parcial de la Unidad de Transformación



Modelo Gama de Diafragma



Vista Parcial de la Unidad de Transformación
(Modelo Gama de Diafragma)



Vista Parcial de la Unidad de Transformación
(Modelo Gama de Pistón)

6. CONCLUSIONES

Como se señaló en el Marco General, uno de los problemas fundamentales a los que se tendrá que enfrentar nuestro país consistirá en establecer y consolidar los grupos y equipos pertinentes para sentar las bases de un desarrollo tecnológico autónomo que responda a las carencias y problemas que sustentan las -- grandes mayorías.

El proceso histórico que ha caracterizado a nuestro -- México en lo que se refiere al desarrollo de la investigación -- científica y tecnológica ha sido la falta de interés y despreocupación tanto por parte del estado mexicano como por los grupos poseedores de los medios de producción. En efecto, básicamente

a partir del segundo conflicto bélico mundial, el gobierno aceleró e impulsó la industrialización del país; sin embargo, esta política económica no obedeció a causas internas sino fundamentalmente como consecuencia de factores externos. La modificación de la estructura tradicional del comercio internacional -- dificultaron, durante períodos relativamente largos, la importación de bienes manufacturados. Simultáneamente, el continuo deterioro del precio de las materias primas con respecto a los -- productos manufacturados y el acelerado crecimiento demográfico hicieron cada vez más difícil mantener el viejo esquema económico basado en la exportación de materias primas y en la importación de manufacturas.

La industrialización así comenzada se basó, casi exclusivamente, en la sustitución de importaciones, con la incorporación directa de tecnologías provenientes de los países desarrollados, o con la aplicación de soluciones pragmáticas con poca o ninguna investigación técnica.

Así pues, el gobierno se enfrentó con un proceso de -- industrialización que, pasada la coyuntura internacional favorable, sólo podía mantenerse mediante una acción proteccionista del Estado pues la destrucción del proceso acarrearía grandes -- perturbaciones económico sociales. Ante esta disyuntiva, la po-

lítica económica se enfocó a acelerar la industrialización levantando barreras aduaneras para protegerla de la competencia externa, subsidios indiscriminados, bajos salarios, etc., pero sin hacer ningún esfuerzo serio para crear las condiciones necesarias para desarrollar una industria basada en su propia capacidad de innovación tecnológica.

Así pues, la mayor parte de la industria mexicana se estableció con base en la transferencia de técnicas provenientes de los países más desarrollados sin que se realizara el mínimo de investigación tecnológica necesaria para adaptarse a las condiciones locales. Finalmente, el desarrollo experimentado por la industria ha consistido en estudiar la lista de las importaciones, seleccionar un producto definido cuya fabricación resulta comercial y tratar de reproducirlo, muchas veces importando también la materia prima. En lo posible, se ha tratado en estos casos de utilizar los mismos procedimientos en uso en el país de origen, sin mayor consideración por la calidad del producto ni de la productividad de la operación.

Obviamente, como fué explicitado en el mismo Marco General, la política económica marginó del desarrollo a los demás sectores, principalmente al sector agropecuario, a pesar de que

éste transfirió un gran volumen de recursos económicos a la economía nacional a través del sostenimiento de precios bajos a las materias primas así como su contribución para mantener más o menos equilibrada la balanza comercial y de pagos lo cuál determinó un auge económico mítico en el país.

A partir de la década de los setentas, la situación -- económica mundial se agrava y México se introduce a una crisis - severa que finalmente ocasiona la devaluación de la moneda en --- 1976. Con un sector agropecuario en plena decadencia y con una - industria improductiva e ineficiente nuestro país, ahora, se enfrenta a un gran reto.

Resulta obvio que gran parte de las estructuras tradicionales tendrán que ser replanteadas incluyendo, por supuesto, - la que se refiere a la investigación científica y tecnológica. Es precisamente en este sentido y con los antecedentes mencionados en donde consideramos necesario ubicar nuestras conclusiones.

Por un lado, en el aspecto puramente técnico, el trabajo desarrollado debe ser considerado más que como un resultado como el inicio de un nuevo camino. Las posibilidades técnicas que ofrece el sistema de energía solar para permitir el trabajo del motor de aire caliente se sitúa en un plano de primera

importancia si consideramos las condiciones socioeconómicas para las que fué diseñado.

Por otro lado, como fué expuesto en el planteamiento -- de la investigación, ésta no se ceñía a la consideración exclusiva de los aspectos puramente técnicos sino que fué planteada a -- partir de un contexto racial específico y dirigida a uno de los -- sectores mayoritarios de la población. Si bien es cierto que finalmente nuestro diseño no será aplicado a corto plazo si consideramos que uno de los resultados primordiales fué haber partido de un origen diametralmente opuesto al que tradicionalmente ha -- originado la investigación en México.

Dada la función importantísima que la tecnología ha desempeñado en el proceso de desarrollo del capitalismo, no debe extrañar el hecho de que el atraso tecnológico sea uno de los factores que con más frecuencia se toma como causa de prácticamente -- todos los problemas del campo y, por lo tanto, que se culpe de -- este atraso al campesino, que al oponer una supuesta resistencia al cambio se niega a adoptar técnicas "modernas" de producción -- rechazando con ello los beneficios que hipotéticamente le traerían.

La problemática que comunmente definen las instituciones relacionadas con el desarrollo rural, en lo que se refiere a

la función de la tecnología en ese proceso, se reduce ya sea a -- los obstáculos (tales como la supuesta "resistencia al cambio") - que surgen al tratar de importar tecnologías modernas al campo, o a los problemas de adaptación o aún de creación de nuevas tecnologías. esto último bajo una concepción que tiene como principio la preocupación por dar un uso eficiente a los recursos que se desperdician en las comunidades y que tiene como fin, a veces sólo - implícito, el abrir nuevas áreas de acción para la empresa de corte capitalista; en efecto, la falta de un modelo alternativo hace que en la práctica los objetivos de beneficio social que frecuentemente se plantean queden sólo a nivel de enunciados, o se traduzcan en meros matices al mismo fin antes mencionado.

Concluyendo, al promoverse la generación de nuevas tecnologías deberán respetarse tanto las limitaciones cuantitativas - en cuanto a los recursos de los que dispone el campesino como la - lógica específica de las reglas a las que obedecen sus decisiones en cuanto a la forma de combinarlas.

Pero esto no es suficiente, debe tenerse en cuenta que tanto el monto real de los recursos de los que el campesino dispone en un momento dado, así como las reglas lógicas de las que se - vale para combinarlas y, muy especialmente, la manera en que les - asigna una prioridad a las diferentes áreas en las que le interesa invertir un esfuerzo innovativo, son determinadas en forma dinámi-

ca por las necesidades de sus esfuerzos encaminados a superar los mecanismos de intermediación y acaparamiento; esfuerzos que carecen de perspectiva cuando son desarrollados en las formas de acciones aisladas a nivel individual y que sólo pueden tener resultados cuando el campesino los efectúa en forma sistemática, como parte de un proceso y mediante la participación organizada de sus compañeros.

Esto, consideramos, deberá ser la concepción de la generación de tecnologías para el desarrollo rural de México.

BIBLIOGRAFIA

- AIMANZA, Rafael y López Serafin**
Radiación Solar Global en la República Mexicana mediante Datos de Insolación. México, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1975.
- AIMANZA, Rafael y López Serafin**
Utilización de las Superficies Selectivas en la Energía Solar. México, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1976.
- A.T.C.Y.R.**
Grupo de Trabajo de Energía Solar. Barcelona, Edit. Index, s/f.
- A.T.E.C.Y.R.**
Aplicaciones de la Energía Solar a Baja Temperatura, Index. Madrid, 1977.
- BARTRA, Armando**
Notas Sobre la Cuestión Campesina. México, Edit. Macehual, 1979.

- BERMUDEZ y Mores, José Luis y Gutiérrez Martínez, Jorge**
Diseño, Construcción y Pruebas de un Horno Solar. México,
Tesis Profesional, Universidad Nacional Autónoma de México,
Facultad de Ingeniería, 1976.
- BERTALANFFY, Ludwig Von**
Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo,
aplicaciones. México, Fondo de Cultura Económica, 1976.
- CHARLES, K. J.**
"The Third World's Struggle to Use People Power", The Futu-
rist, EUA, 1974.
- CHELMINSKY, Broussi, Alejandro, Etchegaray Orozco, J. Ignacio**
et. al.
Diseño y Construcción de un Motor de Aire Caliente. México,
Tesis Profesional, Universidad Iberoamericana, 1978.
- DOS SANTOS, T.**
Transferencia Tecnológica y Dependencia Económica, Conferen-
cia Conmemorativa del 60 Aniversario del Prof. Peka Kuusi,
Finlandia, 1978.
- DOS SANTOS, T.**
La Revolución Científica-Tecnológica: Tendencias y Perspec-
tivas, Fac. de Economía, UNAM. México, 1978.
- DUFFIE, J. A. y Löff, G.O.G.**
"Focusing Solar Collectors for Power Generation". U.S.A., --
Winsconsin, Sixth World Power Conference, October, 1962.
- DUFFIE, J.A. y Beckman, William A.**
"Solar Energy Thermal Processes." U.S.A., John Wiley and Sons,
Inc., 1974.
- DUFFIE, J.A., Lappola, R. A. y Löff, G.O.G.**
Plastics for Focusing Collectors, U.S.A., University of Wins-
consin, Engineering Experiment Station, Reprint No. 327, pp.
9 - 12.
- FINKELSTEIN, T.**
"Computer Analysis of Stirling Engines. U.S.A., IECEC, 1975,
pp. 933 - 941.
- GALEANO, E.**
Las Venas Abiertas de América Latina, Siglo XXI, ed., 23a.
ed., México, 1979.

- HALL, Arthur**
Ingeniería de Sistemas. México, CECSA, 1975, 5a. edición.
- HERRERA, A.O.**
Ciencia y Política en América Latina, Siglo XXI ed., 5a. ed. México, 1976.
- HEWITT, Cynthia**
La Modernización de la Agricultura Mexicana, 1940 - 1970. México, Edit. Siglo XXI, 1978.
- HEYWOOD, Halond et. al.**
"Solar Energy: Past, Present and Future Applications". London, Engineering Journal, 1953, pp. 377 - 380.
- HICKS, Charles R.**
"Fundamental Concepts in the Design of Experiments." U.S.A. Holt Rinehart and Winston Edit., 1964.
- JAKOB and Hawkins**
"Elements of Heat Transfer", Wiley International Ed., 1a. -- ed. EUA, 1957.
- KLEIN, S.A., Beckman, W.A. y Duffie, J.A.**
"A Design Procedure for Solar Heating Systems", Solar Energy Vol. 18, Pergamon Press. Great Britain, 1976, pp. 113 -127.
- KREITH, Frank**
Principios de Transferencia de Calor. México, Herrero Hermanos Sucesores, S.A., 1970.
- KOLLPILAI, Charles J.**
"The Third World's Struggle to Use People Power". U.S.A., The Futurist, journal, December 1974, pp. 284 -292.
- KUMAR, SEN, Amartya**
La Selección de Técnicas - Un Aspecto de la Teoría del Desarrollo Económico Planificado. México, Fondo de Cultura Económica, 1969.
- LEITHOLD, Louis**
"The Calculus - With Analytic Geometry." U.S.A., Harper and Row Internations, 1968, 2a. edición.
- LOFF, G.O.G. y Duffie, J.A.**
"Optimization of Focusing Solar Collector Design". U.S.A.,