



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO Y FABRICACION DE UNA MAQUINA PARA
PRUEBAS DE IMPACTO**

(En materiales cerámicos arqueológicos)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(**A R E A M E C A N I C A**)
P R E S E N T A N :
NOLASCO MIGUEL MARCOS
VELAZQUEZ MEDINA ALFONSO

Director de Tesis: M. I. Saúl Santillán

Revisor: Ing. Carlos Sánchez Mejía



MEXICO, D. F.

DICIEMBRE, 1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 ENSAYO DE IMPACTO TIPO CHARPY	6
1.3 OBJETIVO DE LA TESIS	7
1.4 PLANEACION	8
CAPITULO II	
2.1 ANTECEDENTES	9
2.2 CERAMICOS	10
2.2.1 Evolución de los cerámicos	11
2.2.2 Hombre y barro	11
2.2.3 Significado arqueológico de la cerámica	12
2.2.4 Evolución de la cerámica a través de los tiempos	13
2.3 TIPOS DE CERAMICOS	15
2.3.1 Alfarería común	15
2.3.2 Mayólica	16
2.3.3 Loza u objetos de barro	16
2.3.4 Gres	17
2.3.5 Porcelana y china	18
2.3.6 Porcelanas blandas y duras	19
CAPITULO III	
3.1 PROPIEDADES DE LA CERAMICA	21
3.1.1 Resistencia mecánica	21
3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA MECANICA	24
3.2.1 Estructura y textura	24
3.2.2 Diseño	25
3.2.3 Método de moldeado	25
3.2.4 Barniz	25
3.3 RESISTENCIA DE DIFERENTES TIPOS DE CERAMICA	27
3.3.1 loza feldespática	27
3.3.2 Vajilla de hotel vitrificado	27
3.3.3 Porcelana dura	27

3.3.4 China de huesos	29
3.3.5 Cerámica vítreas	29
3.4 COCCION	30

CAPITULO IV

4.1 ESPECIFICACION DE NECESIDADES	32
4.2 METODO DE DISEÑO	35

CAPITULO V

5.1 DISEÑO	39
5.2 METODO DE CRITERIO PARA SELECCION DE MECANISMOS	42
5.3 JUSTIFICACION DE PESO EN LOS CRITERIOS DE SELECCION	43
5.3.1 Costo	43
5.3.2 Mantenimiento	43
5.3.3 Durabilidad	44
5.3.4 Facilidad de maquinado	44
5.3.5 Estética	45
5.4 CUERPO DE LA MAQUINA	46
5.5 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y DISPARO	50
5.6 PENDULO	53
5.7 YUNQUES (SOPORTES DE PROBETA)	54
5.8 CONFIGURACION ADOPTADA	55

CAPITULO VI

6.1 MEMORIA DE CALCULO	56
6.1.1 Introducción	57
6.1.2 Desarrollo de los cálculos	59
6.1.3 Cálculo del centro de Percusión	67
6.1.4 Cálculo de energía del péndulo	68
6.2 JUSTIFICACION DE DISEÑO	70
6.3 APROXIMACION A LA CONFIGURACION DEL PENDULO	74
6.4 CONFIGURACION FINAL	77

CAPITULO VII

7.1 COSTOS Y EVALUACION ECONOMICA	80
7.1.1 Costo real	80

7.1.2 Costo estandar	80
7.1.3 Costos directos	81
7.1.4 Costos indirectos	82
7.2 ESQUEMA GENERAL	82
7.2.1 Evaluacion económica del proyecto	83

CONCLUSIONES	85
--------------	----

ANEXO	90
-------	----

- a) Lista de planos
- b) Planos
- c) Lista de partes compradas y manufacturadas
- d) Operación de la máquina

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Tradicionalmente la Ingeniería se ha definido como la aplicación de los conocimientos científicos para desarrollar formas de utilizar las fuerzas y materiales de la naturaleza en beneficio de la sociedad; es por ello una profesión tendiente a producir transformaciones creativas.

Nosotros los estudiantes de Ingeniería y futuros Ingenieros debemos considerar que dentro de nuestra formación académica, resulta indispensable, la aplicación de técnicas y procedimientos orientados a esa transformación, así como el aprovechamiento de los recursos humanos y naturales en beneficio de una colectividad. Llegando de esta manera a desarrollar exitosamente nuestra profesión.

Los Ingenieros debemos desarrollar una facultad que nos permita desempeñar nuestra especialidad de una manera eficaz. Facultad que será producto del desarrollo armónico entre el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes, mismas que nos permitirá emitir una personal e ineludible decisión cuando ésta sea necesaria.

Hoy que hemos finalizado el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica y basados en lo anterior, podemos hacer frente al reto de aplicar todo lo aprendido hasta hoy, para resolver un problema específico: "el diseño y fabricación de una máquina para pruebas de impacto en cerámicos arqueológicos".

La necesidad de una máquina como esta surge en el Instituto de Investigaciones Antropológicas y ha de satisfacerse a través de la colaboración de la Facultad de Ingeniería, mediante su centro de diseño mecánico.

El diseño de esta máquina queda en función de una serie de restricciones y limitaciones impuestas por el propio instituto y la

prueba misma de impacto en cerámicos. Sabemos que los materiales cerámicos arqueológicos, son materiales muy frágiles, es decir, tienen poca capacidad de absorber energía de deformación, consecuencia de ello diseñaremos una máquina de muy baja capacidad energética, de tamaño reducido, de bajo peso y mínimo precio.

Al diseñar esta pequeña máquina, crearemos un plan técnico para resolver nuestro problema, utilizando el análisis y la síntesis haremos más que cálculos y dibujos, planearemos cuidadosamente como y porque el concepto diseñado será desarrollado, manufacturado y mantenido.

De una manera muy breve pero sustanciosa, mencionaremos cada una de las etapas que el proyecto de diseño abarca; tratando de introducir al lector sin más problemas.

A) Primero que nada hubo que identificarse la necesidad de la existencia de una máquina para pruebas de impacto en cerámicos. Esta parte quedó en primera instancia en el propio Instituto de Investigaciones Antropológicas, con la finalidad de incrementar su eficacia.

B) Se definió el problema concretamente del tipo y características de la máquina apoyados por todas las restricciones impuestas.

C) Una vez que se ha identificado el problema nos allegamos de toda la información necesaria, tanto de libros, distribuidores de equipo, entrevistas e incluso visitamos algunos lugares donde realizan la prueba.

D) Hecho todo lo anterior estamos en condiciones de diseñar un par de soluciones, todas ellas capaces de satisfacer las restricciones impuestas. Posteriormente ha de hacerse un

análisis y síntesis de cada una de ellas, llegando a una conclusión de la máquina por fabricar.

K) Finalmente comunicaremos nuestro diseño adoptado, mediante dibujos, cálculos, reportes e incluso un prototipo de la máquina.

En muy pocas palabras esto será lo que desarrollaremos más adelante de una manera detallada.

CAPITULO I

PLANTRAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se encuentra el Instituto de Investigaciones Antropológicas (I.I.A.), en él se realizan investigaciones diversas, tendientes a conocer los rasgos físicos y los caracteres culturales de los diversos grupos humanos concretos en sus diversas etapas históricas y en sus distintos espacios geográficos, también se realizan arduas investigaciones tendientes a clasificar restos de material cerámico, provenientes de diversas regiones geográficas del país. Este tipo de clasificaciones resulta ser algo novedoso para el I.I.A. ya que solamente algunas Universidades de Estados Unidos practican con regular frecuencia este tipo de ensayos. Anteriormente algunos antropólogos realizaban pruebas manuales sobre la cerámica, estas consistían en fracturar la probeta con las manos y clasificarla como frágil, dura o media dura.

Originalmente en el I.I.A. se pensó en hacer pruebas en las cerámicas tales como:

- Ensayo de tracción
- Ensayo de dureza
- Ensayo de impacto
- Ensayo de compresión

Con todos estos ensayos podría clasificarse a las cerámicas arqueológicas de una manera completa, pero existía el gran inconveniente de que algunas de las pruebas resultan ser muy caras, ya que necesitan de un equipo especial, de personal capacitado para

realizar los diferentes ensayos, etc.

La persona encargada del proyecto por parte del I.I.A. después de hacer un estudio económico, decidió que la mejor opción era la máquina para pruebas de impacto. Esta resultaría mucho más barata y fácil de manejar que las otras, además se fundamenta en una propiedad importante de los materiales, su resistencia al impacto, mediante la cual se puede clasificar de una manera más formal a los materiales que como se venia haciendo hasta el momento.

Cabe la posibilidad que mediante este tipo de prueba se realiza una prospección del tipo de suelo donde se encontraba enterrada el resto del material cerámico. Este estudio puede resultar muy importante ya que mediante él se pueden realizar dataciones del inicio y período de vida de alguna cultura.

Al principio el I.I.A. pretendió comprar la máquina con algún distribuidor, pero al darse cuenta de su alto costo prefirió encargar el proyecto a la Facultad de Ingeniería a través del M.I. Saúl Santillán. El proyecto fué tomado por nosotros como tema de tesis, esperando realizarlo en un tiempo no mayor de seis meses.

ENSAYO DE IMPACTO TIPO CHARPY

Definicion: Es un método de ensayo que se utiliza para determinar la resistencia a la fractura por impacto de algunos materiales, indica la energía extraída de un pendulo en movimiento montado sobre una máquina, al fracturar la probeta.

La prueba es útil sobre todo como una guía para la conducta de fractura de un material para el que se ha establecido una correlación empirica entre la energía de impacto y cierto criterio riguroso de fractura. Es muy común que en este tipo de ensayos se practiquen en las probetas una muesca en forma de V con el fin de ocasionar una concentración de esfuerzos en el momento del impacto. Cualquier cambio brusco de sección transversal ocasiona que en esta zona ocurra el máximo esfuerzo, la concetración de esfuerzos causara la falla de los materiales si el esfuerzo concentrado es mayor que la resistencia última del material.

OBJETIVO DE LA TESIS

Este trabajo tiene como objetivo fundamental, el aplicar todo el cúmulo de conocimientos adquiridos durante mucho tiempo, en el diseño y fabricación de una máquina de pruebas de impacto en restos de cerámica arqueológica.

Al realizar esta prueba tan importante para el Instituto de Investigaciones Antropológicas (I.I.A.) les permitirá realizar una clasificación más atinada de los restos cerámicos, es decir, podrá contarse con una clasificación de cerámicos más formal a partir de sus propiedades mecánicas, tal como, la resistencia al impacto.

Con el desarrollo de este proyecto pretendemos satisfacer, aunque en pequeña medida, la necesidad de importar equipos de laboratorio de mediana y alta complejidad. Queremos aunque mínimamente contribuir a una independencia tecnológica, dado que gran cantidad de equipos y máquinas solamente pueden adquirirse mediante firmas extranjeras con muy altos costos.

Finalmente el móvil para desarrollar todo el proyecto anterior, es concluir con los requisitos necesarios para obtener el título que otorga el grado de Ingeniero mecánico electricista.

Al finalizar el proyecto, verificaremos en que medida fue cumplido nuestro objetivo, emitiendo con ello una conclusión mucho más creíble.

PLANEACION

Siempre es conveniente establecer una planeación para la realización de un proyecto, ya que mediante ésta, podemos organizar las acciones a tomar, los tiempos requeridos para cada una de ellas; confrontando la capacidad del diseñador y consecuentemente estableciendo su potencialidad, tiempos y costos.

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

- Auxiliar en el entendimiento del proyecto.
- Facilitar la coordinación entre los integrantes que realizarán el proyecto.
- Forzar el establecimiento de prioridades.
- Mejorar la asignación de recursos.

como mencionamos anteriormente, la planeación consiste en la programación de las actividades que se van a realizar, desde la gestación de un proyecto hasta la culminación del mismo, siendo estas actividades delimitadas, con una secuencia lógica y ordenada por el propio diseñador. También deben presentarse las fechas y el avance de las actividades programadas, teniendo así, los elementos necesarios para controlar en cada momento el desarrollo de las actividades, vease el siguiente calendario de actividades.

CALENDARIO DE ACTIVIDADES

PROYECTO:

"MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO"

DISEÑADORES:

Nolasco Miguel Marcos
Velázquez Medina Alfonso

ACTIVIDADES

OBJETIVO

PLANTEAMIENTO DE
NECESIDADES

RECOPILACION DE
INFORMACION

DEFINICION

ALTERNATIVAS

CONFIGURACION

SELECCION

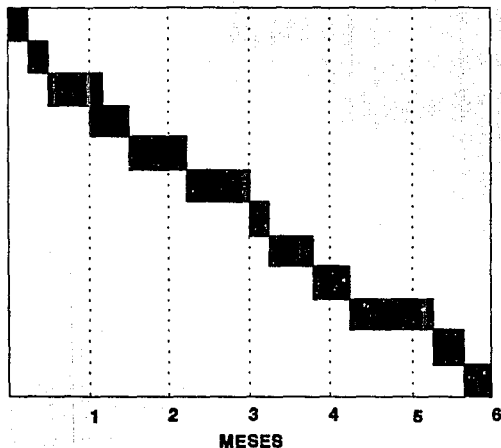
MEMORIA DE CALCULO

PLANOS

FABRICACION

PRUEBAS

ENTREGA



CAPITULO II

ANTECEDENTES

Este trabajo fue realizado con la finalidad de diseñar y fabricar una máquina para pruebas de impacto en restos de material cerámico. Por lo anterior, es nuestro mejor deseo introducir a los posibles lectores de una manera más completa, mostrándoles un panorama general a cerca de la cerámica arqueológica.

En esta breve introducción que daremos a continuación resolveremos cuestiones como las siguientes:

- a.- ¿Qué son las cerámicas arqueológicas?
- b.- ¿Cómo se fabricaban estas en la antigüedad?
- c.- ¿Cuáles son sus principales propiedades mecánicas?
- d.- ¿Cómo se lleva acabo el proceso de cocción?, etc.

resolver las preguntas anteriores nos acercará al entendimiento de por que crear una máquina de este tipo; además de resolver algunas dudas que muchos de nosotros tenemos respecto al tema.

Realizamos una investigación profunda del tema y elaboramos un extracto de lo que consideramos más importante sin caer en lo superficial o escueto, tratando únicamente los temas más importantes e interesantes para de esta manera tener una idea más completa del problema.

Cabe destacar que la investigación realizada es parte de la recolección de información y que no sólo nos basamos en libros de texto; sino que además realizamos entrevistas con las personas que elaboran en el I.I.A., investigadores del Instituto de Geología como en el caso de la entrevista sostenida con el Doctor De Pablo,

quien generosamente nos indicó el camino a seguir. Simultaneamente el Doctor Rojas del Instituto de Ingeniería nos prestó ayuda en la elaboración de algunos cálculos, finalmente otra fuente de información la formaron los distribuidores de equipo, quienes cuentan con folletería del tipo de máquinas, características, precios, etc.

CERAMICOS

Evolución de la cerámica.

La cerámica es la combinación perfecta de lo que los antiguos Griegos consideraban como los cuatro elementos de los cuales el mundo estaba constituido. Esta hecha con la tierra, moldeada con agua, secada al aire y consolidada mediante el fuego. Su manufactura comprende los mismos pasos que la horneada de pan, es decir, triturado, mezclado con agua, amasado, moldeado, secado y finalmente cocido.

El punto esencial en la realización de la cerámica es que, el producto es moldeado en estado frío y es entonces expuesto al calor. Al evolucionar la alfarería, fue embellecida mediante dibujos, color y cubierta.

Hombre y barro.

El material más abundante, omnipresente y accesible de la corteza terrestre es la arcilla. El hombre habiendo observado que tras fuertes lluvias la arcilla quedaba marcada con la imprenta de sus huellas, encontró que podía moldarlo con sus manos. Con ello descubrió que era plástica. La plasticidad, la más importante propiedad de la arcilla, hizo que los hombres prehistóricos tomarán conciencia del potencial de este material, que era la llave para el fundamento de la alfarería. Se dio cuenta de que los objetos realizados con barro conservaban su forma, y cuando eran expuestos al sol se volvían secos y firmes.

Puede ser que el hombre prehistórico tirara un recipiente con el objeto de destruirlo; o que se le cayera accidentalmente; o bien pudo tener la idea de hornearlo como un pan. Para él debió haber

sido una emocionante experiencia el darse cuenta que el recipiente expuesto al calor se había vuelto mucho más resistente, y que emitía al entrecuchar un placentero sonido. Subconscientemente tomó nota de los fenómenos debidos a la cocción (sinterización, reacciones químicas, formación de una fase cristalina), y del mismo modo se había ya dado cuenta de las características de la plasticidad.

Significado arqueológico de la cerámica.

La cerámica fue el primer material sintético descubierto por el hombre; una piedra artificial producida por la cocción de arcilla a una temperatura lo suficientemente alta como para cambiar las propiedades físicas y químicas del material original en una sustancia que presenta muchas de las características de una piedra. Es esta peculiaridad de ser similar a una piedra lo que hace que la cerámica sea algo inestimable para los arqueólogos, dado que aunque un jarro este fragmentado en piezas, éstas son imperecederas.

La cerámica apareció por primera vez alrededor de 15000-10000 años A.C., en los albores del neolítico. Es pues una característica de la vida sedentaria, su aparición y evolución determina un importante paso en la evolución del hombre.

Los arqueólogos dependen ampliamente de los tipos de cerámica para distinguir ciertas culturas y establecer su orden cronológico. La alfarería puede ser justificadamente denominada un calendario de la prehistoria; necesitamos por tanto clasificarla. Tan concienzudamente han catalogado los arqueólogos sus cambiantes estilos, que los fragmentos recogidos en una ruina pueden datar del nacimiento, cenit y caída de una ciudad dentro del plazo de medio siglo.

Las piezas de cerámica son especialmente bienvenidas como instrumento de datación en el antiguo mediterráneo. Los estilos de alfarería podían cambiar tan drásticamente y tan a menudo como la moda en el vestir en nuestros tiempos.

Evolución de la cerámica a través de los tiempos.

Por lo general se ha asumido que la cerámica fue precedida por la manufactura de cestos. Gran parte de la antigua cerámica era sin vidriar, aunque el barniz ya fuera conocido por los egipcios en el año 12000 A.C.

Prácticamente no existe información sobre la cocción de la antigua alfarería. Era la parte más misteriosa, y como tal era considerada como secreto del gremio. Tenemos una idea de la dificultad de la cocción, los antiguos griegos solicitaban la ayuda de los dioses, y los alfareros medievales ofrecían oraciones antes de la cocción.

Muchas arcillas están contaminadas, no solo con óxidos de hierro, sino también con arena y minerales feldespáticos y calcáreos. Estos reducen la plasticidad, lo que en ciertas arcillas muy finas es en realidad una ventaja, dado que de otro modo serían demasiado plásticas; las piezas realizadas de estas arcillas excesivamente plásticas se romperían durante el secado y la cocción. Al encontrar el hombre tan finas arcillas sin los minerales "contaminantes", aprendió a adicionarles materiales sin plasticidad. Los más a mano era no sólo minerales, tal como arenas, piedras calizas, etc, sino también paja, consiguieron prevenir la rotura mediante la incorporación de fragmentos de cerámica cocida finamente triturada.

Estos minerales auxiliares también afectan al comportamiento

durante la cocción, actuando la mayoría de la veces como fundente muy potente en el óxido de hierro, presente invariablemente en las arcillas próximas a la superficie de la tierra, es también el responsable del color de cocción, normalmente en varias tonalidades de marrón y rojos.

Se esforzó en conseguir cerámica blanca lo que consiguió por primera vez cubriéndola con barniz opaco: el resultado fue la Mayólica. Al verse más selectivo en la elección de arcillas, al incorporar mayores cantidades de materiales no arcillosos de cocción blanca, como el pedernal, y al incrementar la temperatura de cocción, produjo la loza de pasta blanca, la tierra de pipa, media porcelana, etc. Por otra parte, utilizando arcillas ricas en contaminantes fundentes, y cociendo a temperaturas suficientemente altas, consiguió productos no porosos y mas resistentes, los gres. Cuando , no obstante, su arcilla así como los otros materiales eran de muy bajo contenido en óxido de hierro, y la cocción era realizada a una temperatura muy alta, el material resultante no solo era no poroso, sino también blanco y traslucido, se denominó "porcelana".

TIPOS DE CERAMICA

La cerámica es un término que tiene tantos sentidos diferentes para diferentes personas. Algunos relacionan la cerámica con los objetos producidos por el alfarero, el campesino o de estudio.

La alfarería incluye los siguiente objetos cerámicos:

- Objetos de arte (piezas ornamentales, de fantasía, figuras, figurillas).
- Objetos de mesa (vajillas, servicios de té y café).
- Objetos para cocinar (objetos de horno resistentes al fuego).
- Objetos de cocina.

(véase tabla 1 al final del capítulo)

En un intento de clasificar las cerámicas, generalmente se hace una división entre los cuerpos porosos y densos, y estos a su vez subdivididos en cuerpos coloreados y blancos. De acuerdo con la A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) C242, los cuerpos blancos de textura fina son denominados "loza blanca"

La definición de los distintos tipos de cerámica son exactamente tan ambiguos como la palabra "cerámica" por si misma, si no todavía más.

Como hemos mencionado anteriormente la cerámica puede dividirse en dos grandes grupos, la cerámica porosa y la densa (véase tabla 2A y tabla 2B).

A) El grupo de los cuerpos porosos esta formado por:

Alfarería común

La alfarería común comprende una amplia gama de objetos, incluye tal vez las creaciones de toda la cerámica. Fue el primer

medio en el cual el hombre expreso sus sentimientos artísticos utilizando la arcilla tal como la encontraba, moldeada, decorada en el estado de arcilla, y cocida aproximadamente a 900°C, dispuesta a recibir el barniz. Este es aplicado por baño, y a veces pulverizado o pincelado. Los objetos reciben entonces la cocción final a aproximadamente 1000-1100°C, siendo madurados cuerpo y barniz a la misma temperatura. La alfarería común es porosa, y por ello comparativamente ligera en peso. Mecánicamente es más bien DEBIL.

Mayólica.

La mayólica denominada loza fina y también "faience", es un refinamiento de la alfarería común, el cuerpo no esta compuesto generalmente tan sólo de arcilla, sino que además contiene arena y en algunas ocasiones fundentes. La manufactura sigue las mismas líneas que la alfarería común, siempre es barnizada.

La mayólica, esta formada por un cuerpo poroso, que también esta cubierto por un barniz blanco opaco de estaño o bien con un engobe blanco y un barniz transparente.

Loza u objetos de barro.

El grueso de los objetos de mesa cerámicos está compuesto por un cuerpo blanco o casi blanco. Como toda la alfarería blanca, la loza es casi exclusivamente de fabricación industrial; es de fabricación en una escala de producción en masa, y ha perdido el sello individual del artista. En el continente europeo, la loza es clasificada en tres grupos: loza de arcilla, loza de cal y loza feldespática.

La loza de arcilla, también descrita como loza arcillosa, es la más antigua loza que surgió directamente de la alfarería común. Ha sido fabricada desde el siglo XII. Originalmente, consistía en

una pasta completamente de arcilla, con contenido no muy alto de hierro, pero sí en otras impurezas fundentes. Posteriormente se añadieron sílex, arena y otros tipos de cuarzo.

La loza de cal está compuesta por margas naturales, con alto contenido de cal, con o sin la adición de sílice libre en una u otra forma, o bien por la arcilla a la cual se adiciona cal en forma de uno de los carbonatos caliza, talco o mármol. A veces también se utiliza dolomita. Este tipo de loza es altamente porosa y por lo tanto ligera.

La loza feldespática, también conocida como "loza dura", contiene del 5-20 por ciento de materiales feldespáticos, tales como la pegmatita, considerando el resto en aproximadamente 50% de arcillas, y hasta el 45% de sílice libre, generalmente en forma de sílex calcinado.

La loza feldespática es cocida a una temperatura superior a los 1100°C, por lo tanto es más resistente que la arcilla y loza de cal, es una loza de muy alta calidad y es también más dura que algunas porcelanas duras debido a que es menos vítrea.

B) El grupo de los cuerpos densos está formado por:

Gres

El gres es denso, vitrificado, sus características particulares proceden exclusivamente del depósito de arcilla y no de la técnica utilizada. Las arcillas de gres son anormalmente ricas en fundentes y siempre que la temperatura de cocción sea suficientemente alta, hacen que el cuerpo se torne vitrificado y no poroso. El mismo efecto puede ser producido agregando fundentes a la arcilla. La temperatura de cocción varía de por debajo de los 1100°C, a aproximadamente 1300 grados centígrados, dependiendo del contenido de fundente.

El gres tiene una belleza áspera, casi tosca, falto de porosidad razón por la que presenta una resistencia mecánica muy superior a la alfarería común.

En el pasado el gres estuvo sometido a perfeccionamientos, el logro más profundo fué el jaspe y el basalto negro.

El jaspe podría ser descrito como una porcelana. el 50% del cuerpo está constituido por los ingredientes habituales de la alfarería: arcilla, piedra de Cornualles y sílex; el restante 50% son espátos pesados (baritas). El jaspe es el único cuerpo cerámico que contiene un sulfato como componente principal.

El basalto negro, realizado de un cuerpo ya negro, está compuesto por bolos o arcilla roja y altas cantidades de óxido de manganeso y/o ocre calcinado, ambos actuando no sólo como potentes agentes colorantes, sino también como fundentes.

Porcelana y china.

Este gran grupo de alfarería representa el mayor logro del alfarero: un cuerpo denso que no tan sólo es blanco sino que además es traslúcido. Actualmente en los Estados Unidos de Norteamérica los términos porcelana y china son definidos en base a su utilización: la porcelana es cerámica blanca vítrea, barnizada o sin barnizar, utilizada para fines técnicos, como puede ser la porcelana eléctrica, porcelana química, etc. de acuerdo con A.S.T.M. C242, y china significa cualquier cerámica blanca vítrea, barnizada o sin barnizar usada para propósitos no técnicos, es decir, vajillas, objetos sanitarios y objetos de arte, con la condición de que sean vítreos.

China vítrea y china semivítrea.

La china vítrea o vitrificada y particularmente la china semivítrea muestra traslucidez -la principal característica de la

porcelana- tan sólo si es de paredes delgadas.

La definición ha cesado de ser significativa , y los nombres dados a estos tipos de objetos depende más de la situación geográfica , usos del lenguaje y factores históricos y asociaciones que de criterios técnicos. La designación china vítrea o vitrificada deriva de la noción popular de que toda la alfarería blanca debe de ser china, y es un nombre inapropiado, dado que de acuerdo tanto a la definición oficial, china implica que el cuerpo es vítreo en cualquier caso.

Si en la loza el contenido de fundente feldespático es incrementado o si la temperatura de cocción del biscuit es aumentada, la porosidad es reducida y el producto se vuelve más denso y resistente. El material resultante fue denominado china semivítrea.

Las porcelanas blandas.

Las porcelanas blandas en su mayoría tienen la característica pronunciada de la tendencia al agrietamiento. No obstante, las razones por las que es llamada blanda es su baja temperatura de cocción, comparada con la de las porcelanas duras. Esta temperatura menor implica un contenido superior de fundente en el cuerpo. Ello no sólo significa una mayor fragilidad, sino también menos arcilla, que a su vez reduce la plasticidad. Se ha mostrado que la porcelana en general no era una invención, sino que procedía de un proceso evolutivo en la búsqueda del alfarero por la perfección. La porcelana fue fabricada por primera vez en China ya en el siglo X o IX a.C. y lo más probable es que fuera un tipo de porcelana blanda.

Las porcelanas duras.

La porcelana dura o porcelana de pasta dura es algo

considerado como la única porcelana verdadera. La composición clásica de la porcelana dura es: 50% de sustancias arcillosas, 25% de feldespato, 25% de cuarzo. Son posibles amplias variaciones en la composición, cuerpos para utensilios para el fuego son de composición más elevada en sustancias arcillosas y menores en cuarzo. Porcelanas duras altamente traslúcidas son más ricas en feldespato y cuarzo. A diferencia de la mayoría de los demás cuerpos cerámicos, la porcelana dura es primero sometida a una cocción de baja temperatura (900-1000°C), que representa un mero endurecimiento para hacerla suficientemente resistente para superar su inmersión en el barniz.

TABLA 1 Aplicación de los tipos de cerámica

<i>Tipo</i>	<i>Objetos de arte</i>	<i>Vajilla</i>	<i>Recipientes para cocinar</i>
Alfarería común [loza coloreada, terracota (sin barnizar)]	X	X	X
Mayólica (faience)	X	X	
Loza (loza fina)	X	X	X
Alfarería de litina			X
Gres	X		X
Jaspe y basalto negro de Wedgwood	X		
China semivítrea y vítrea		X	X
China de Belleek	X	X	
China fina americana		X	
China traslúcida inglesa		X	
Parian	X		
Porcelana dura	X	X	
China de huesos	X	X	X
Porcelana de cordierita			
Cerámicas vítreas		X	X

TABLA 2A Características de los tipos más importantes de cerámica
A Cerámica Porosa

<i>Tipo</i>	<i>Materias primas (%)</i>	<i>Temperatura de cocción (°C)</i>		<i>Color y características especiales</i>
		<i>Primera cocción (biscuit)</i>	<i>Cocción de barnizado</i>	
Alfarería común	Arcilla (impura)	900	1000-1100	Marrón-rojo A veces sin barnizar
Mayólica	Arcilla (impura) + arena y fundentes	900	1000-1100	Marrón pero cubierto por un barniz blanco opaco
Loza	Bolos 50 Arcilla china Minerales feldespáticos 5-20 Sílex u otros minerales de sílice 30-45	1050-1150	950-1050	blancuzco

TABLA 2B Características de los tipos más importantes de cerámica

B. Cerámica densa

Tipo	Materias primas (%)	Temperatura de cocción (°C)		Color y características especiales
		Primera cocción (biscuit)	Cocción de barnizado	
Gres	Arcilla (de fusión natural) o arcilla + fundentes y materiales de sílice	1100-1300	1000-1100	Gris, amaraillo, etc. A veces sin cocción de barniz, efecto de barniz obtenido por introducción de sal común al final de la primera cocción
China vítrea	Bolos + arcilla china Minerales fedespáticos Cuarzo 50 10-20 35-45	1100-1250	1000-1100	Blancuzco-blanco
Porcelana blanda	Arcilla china Feldespatos Cuarzo 30-40 30-40 25-35	900-1000	1250-1350	Blanco-blancuzco
Porcelana dura	Arcilla china Feldespatos Cuarzo 50 15-25 15-35	900-1000	1400	Blanco azulado Traslúcido
China de huesos	Arcilla china Piedra de Cornish Ceniza de huesos 25 25 50	1250	1100	Blanco puro Traslúcido

CAPITULO III

LAS PROPIEDADES DE LA CERAMICA

Las características de la cerámica son comunes a todos los tipos de cerámica, en términos generales, la cerámica es dura, no flexible, frágil, no es afectada por el calor o por el frío o agua, o las sustancias químicas habituales en la vida cotidiana, ni tampoco por ácidos fuertes. No se deteriora de motu proprio con el tiempo, sino que es duradera y virtualmente indestructible. Ello no significa que los objetos de cerámica no puedan ser agrietados o rotos, o que su barniz se arañe o desgaste bajo el uso constante.

Significativamente, las propiedades de las cerámicas vienen determinadas más por la textura que por la estructura.

La tabla 3 muestra las características físicas de algunos tipos de cerámica. Han sido publicados pocos datos numéricos sobre aquellos tipos que no tengan también alguna utilidad técnica, como el gres y la porcelana.

Resistencia mecánica.

La resistencia teórica de cristales individuales perfectos, y de un vidrio homogéneo perfecto, puede ser calculada a partir de las resistencias conocidas, de enlace entre los átomos constituyentes. Cuanto mayor sea la energía de enlace, mayor será la resistencia teórica, no obstante, algunas veces menores que los valores calculados.

Todos los cristales contienen defectos en su red, que son conocidos como dislocaciones. En metales, estas dislocaciones pueden moverse bajo tensiones relativamente bajas, y este

movimiento produce el deslizamiento a lo largo de ciertos cristales planos.

Los cristales iónicos y vidrios, los constituyentes de la cerámica tienen estructuras mucho más complejas que los metales, y las dislocaciones en estos materiales son prácticamente nulas. Consecuentemente podría esperarse que en tales casos las resistencias se aproximan a las calculadas partiendo de las energías de enlace. Sin embargo, ello no es así, debido a la presencia de imperfecciones, tales como grietas o superficies rayadas como grietas de Griffith, inevitables en materiales preparados normalmente. Estas grietas concentran las tensiones aplicadas en el extremo de la rotura, a valores que exceden la resistencia teórica, de modo que tiene lugar la fractura. En metales, tales defectos de superficie no son tan importantes debido a que habitualmente puede tener lugar un fluir plástico que embota el extremo de la grieta, reduciendo así la concentración de tensiones. En cerámicos, por otra parte, estos defectos (debido a la falta de ductilidad) provocan un enorme debilitamiento. La resistencia práctica de la cerámica es tan sólo alrededor de uno por ciento de la resistencia teórica de sus componentes (cristales o vidrios). Los cristales cerámicos, debido a sus altas energías de enlace, tienen la mayor resistencia teórica de los materiales sólidos, ascendiendo a varios cientos de miles de kg/cm^2 .

Las fibras cerámicas siempre alcanzan la resistencia teórica, dado que prácticamente no presentan grietas de Griffith. Otra fuente de debilidad en la cerámica es su heterogeneidad, las distintas expansiones termales de la fase (cristales de cuarzo, mulita, y vidrio) presentes, que dan lugar a tensiones adicionales. Valoración de la resistencia de cuerpos de cerámica.

La resistencia puede ser expresada de varios modos. La estructura atómica de cerámicas y vidrios (la inmovilidad de

dislocaciones) implica que son muy fuertes en cuanto a compresión, pero débiles bajo tensión: su resistencia compresiva es más de diez veces mayor que su resistencia tensil :el gres se muestra cincuenta veces más resistente bajo compresión que bajo tensión.

Medir la resistencia tensil en cerámica es algo difícil debido a que es casi imposible eliminar tensiones que no sean las tensiles. Se ha encontrado que los módulos de ruptura muestran valores que son el doble de las tensiles. La resistencia de la cerámica se expresa generalmente como módulos de ruptura que son fáciles de determinar. Dado que particularmente cuando se emplean cargas de tres puntos, la tensión se concentra en una extensión limitada de superficie, los módulos de ruptura denotan una resistencia superficial, más que una resistencia en volumen.

Un concepto comparativamente nuevo de expresar la resistencia en cerámicas ha sido adoptado por Clarke, el trabajo de la fractura. Si se aplica un choque , tanto térmico como mecánico, el material tiende a almacenar, momentáneamente, energía de deformación elástica. Allí donde la tensión de fractura del material es superada, la extensión del agrietado es limitada por la cantidad de energía almacenada. Ciertos factores, tales como el tamaño de los cristales en el cuerpo, pueden influenciar los módulos de ruptura y trabajo de la fractura de formas opuestas:el módulo de ruptura es incrementado por el decrecimiento de tamaño de grano, mientras que el trabajo de la fractura es incrementado con el incremento del tamaño de grano.

En la práctica, los defectos en la cerámica tienen lugar en su mayoría como resultado de algún tipo de impacto, y la resistencia mecánica es a menudo expresada como "impacto".

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA MECANICA

Estructura y textura.

La resistencia mecánica de los cuerpos de cerámica es controlada predominantemente por: porosidad, coeficiente cristal/vidrio, tamaño de los cristales, tipo de cristales.

Estos factores dependen de la fase a la cual las reacciones que ocurren durante el sinterizado son detenidas. Ello a su vez dirigido por la composición, contenido de impurezas y tamaño de las partículas de la materia prima, así como por la temperatura y otros aspectos de cocción.

La elevada porosidad y contenido de vidrio reduce la resistencia. Así, tanto los muy porosos y las altamente vítreas, son débiles. Idealmente, no debería haber porosidad si se desea obtener la más alta resistencia. No obstante, existe siempre algo de porosidad (verdadera) residual (que no puede ser eliminada), precisamente en cuerpos vitrificados. Ello restringe gravemente la resistencia obtenible.

El coeficiente cristal/vidrio debería ser tal alto como fuera posible, para conseguir una resistencia máxima. El ideal sería eliminar completamente el vidrio, lo que no es posible en la cerámica fabricada por métodos convencionales, como se hacía en la antigüedad.

La resistencia también es influenciada por el tamaño original de las partículas de relleno introducidas. No obstante, la resistencia no puede ser incrementada por disminución del tamaño del relleno más allá de un valor mínimo.

Los cristales deberían tener una expansión térmica regular y baja, compatible con la del vidrio, que no debería estar sujeta a inversiones, como por ejemplo, la sílice libre.

Diseño.

Debido a su fragilidad, la cerámica es susceptible de defectos causados por concentraciones de tensiones locales, debidas a cambios bruscos en la geometría (diseño) o de carga. Valores de resistencia en el material pueden ser totalmente variados por diferencias en la forma. La resistencias pueden ser alteradas por un factor de 30 a 1. Ello es mucho más de lo que puede lograrse por cambios en la composición del cuerpo.

Otro ejemplo de la gran importancia de comprobar la resistencia lo hallamos en el test de impacto de la A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials).

Método de moldeado.

Considerando la cerámica tradicional en general, su textura y por tanto su resistencia, está muy influenciada por el método de fabricación, por ejemplo, molde de colada, prensado manual, extrusión, etc., dan distintos valores de resistencia; presiones más altas no producen necesariamente mejor resistencia. Los objetos realizados por torneado, lo que implica presiones equivalentes, homogeneidad y anillos concéntricos espirales, son más resistentes que los realizados por otros métodos. Partículas similares a bastoncitos, introducidas por la wollastonita en cuerpos de loza o gránulos de barbotina, incrementan el impacto en un 300 %.

Barniz.

La adaptación cuerpo-barniz afecta a la resistencia mecánica y térmica. La composición del barniz tras la cocción sobre el cuerpo no es nunca la misma que antes de la cocción. Ello es debido a dos razones principales: volatilización (sólo muy ligera en barnices de alta temperatura, libres de plomo y boro), y todavía más, la interacción con el cuerpo, aparte intercambio de iones

entre cuerpo y barniz. Cambios en la composición conducen a expansiones alteradas que afectan la relación de tensiones entre el cuerpo y barniz, y por tanto, a su emparejamiento, las capas de reacción formadas en la interfase entre cuerpo y barniz pueden tener características de expansión indeseables, que a su vez, podrían conducir a una reducción en resistencias.

Así pues, el cuerpo de china de huesos a menudo se debilita por el barnizado pero a pesar de ello la resistencia de china de huesos permanece notablemente alta. La resistencia del cuerpo de loza, habitualmente se mejora por el barniz. Debido a la porosidad de dicho cuerpo es más fácil que el barniz lo ataque. Como resultado tiene lugar una mayor reacción que con un cuerpo denso, y la interfase formada es rica en cristales de mulita que tienden por sí mismos a aumentar la resistencia.

La superficie del cuerpo contiene por lo general grietas, tales como arañazos o rajaduras diminutas que actúan como fuentes de tensión. El barniz cubre dichas imperfecciones. Las investigaciones de Dinsdale, mostraron que en placas alargadas rotas no barnizadas, casi todas las fracturas se iniciaban en la superficie; con cilindros barnizados el 80 por ciento de las fracturas se iniciaba en el interior.

Resultados similares fueron obtenidos por Skarbye. Estableció que, debido a la menor expansión del barniz, la distribución de tensiones creadas en el sistema barniz-cuerpo es tal que la fractura siempre se origina en el interior del cuerpo y no en la superficie. El interior del cuerpo resiste tensiones mayores que las capas superficiales, debido a que en la superficie está expuesta a vapores de agua que, en una atmósfera normal reduce la resistencia. Consecuentemente, un cuerpo barnizado tiene más defensas que otro sin barnizar.

LA RESISTENCIA DE DISTINTOS TIPOS DE CERAMICA

Loza feldespática.

Es apreciablemente más fuerte que los otros dos tipos de loza, principalmente debido a su menor porosidad. En ciertos casos es igual de resistente que algunas porcelanas duras no barnizadas, tal como puede verse en los valores de módulos de ruptura de la tabla mostrada anteriormente.

Los esfuerzos para incrementar la resistencia de la loza se han centrado principalmente en el contenido de sílice libre. La eliminación de partículas de sílice mayores a 50 micras, comportó una mejora en la resistencia. Mayores aunque no espectaculares, perfeccionamientos se consiguieron mediante la eliminación completa de la sílice libre, reemplazándola por otros materiales de relleno (por ejemplo por alúmina) de expansión térmica más baja y libres de inversiones.

Vajillas de hotel vitrificadas.

Esta puede considerarse como loza feldespática con poca o ninguna porosidad aparente. Consecuentemente es mucho más fuerte que la loza y se ha demostrado que la resistencia mecánica más alta se alcanza justo antes de la vitrificación completa.

En el cuerpo de porcelana vítrea, contrariamente a la porcelana dura, los cristales de sílice libre introducidos originalmente no han empezado a diluirse, y son preservados en el cuerpo cocido. Así pues, se mantiene un alto coeficiente cristal/vidrio, y posiblemente debido a ello, la porcelana vítrea sea más fuerte que la porcelana dura. El reemplazar la sílice cristalina por alúmina y circón también incrementa su resistencia.

Porcelana dura.

Hablando en términos generales, tanto en la loza como en la porcelana vitrea, los cristales introducidos originalmente por los materiales de relleno permanecen sin cambio. En la porcelana dura las reacciones son llevadas a una fase ulterior para llevar a disolución algo de sílice libre, con el fin de formar más vidrio y acrecentar así la traslucidez. La disminución resultante en cristales e incremento en vidrio produce una reducción de la resistencia.

Un aumento en el contenido en cuarzo provoca un incremento en la resistencia de la porcelana dura, de acuerdo con algunos investigadores y una disminución según otros. Estos resultados aparentemente conflictivos pueden explicarse por el hecho de que se eligieran distintas composiciones de cuerpo como punto de partida.

Si en una composición alta en cuarzo se aumenta el contenido en dicho componente, los cristales de cuarzo adicionales no se disuelven en el vidrio presente, dado que ésta está "saturado" de sílice; el incremento resultante en la cantidad de cristales a expensas del vidrio es el responsable del aumento de la resistencia.

Por otra parte, si en porcelana con poco cuarzo (desde un 15% a un 20 o 25 %) se aumenta éste a expensas de la arcilla, el vidrio de feldespato no saturado, "hambriento de sílice", disuelve los cristales de cuarzo añadidos; el consecuente incremento en vidrio y decrecimiento en cristales de mulita, debido a la poca arcilla disminuye la resistencia. Haciendo balance, la mejora de la resistencia por incremento de la sílice libre en una porcelana de alto contenido en cuarzo es mucho menor que la conseguida por una sustancial disminución en sílice libre en una porcelana de bajo contenido en cuarzo, o por eliminación de toda la sílice libre. Los cuerpos de porcelana dura con poco a nada de sílice libre, no son solamente mucho más fuertes que la porcelana dura normal de la

composición clásica (50 por ciento de sustancia arcillosa, 25 por ciento de feldespato y 25 de cuarzo), sino que además sobrepasan a la china vítrea. Los cristales escamosos de mulita primaria, debidos al rompimiento de la red de arcilla, son considerados como la principal fuente de resistencia de tales porcelanas. La mulita secundaria (grandes cristales en forma de aguja) formada de la fusión del feldespato y orientada al azar, no contribuye a la resistencia.

China de huesos.

La china de huesos contiene aproximadamente un 71 % en cristales (44% fosfato tricálcico y 27% anortita) y 29% de vidrio. En la porcelana dura la proporción es inversa, los cristales son en la china de huesos mucho más pequeños que los de porcelana. Estos dos hechos son buenas razones para explicar por qué la china de huesos debería ser mucho más fuerte que la porcelana dura. Y de hecho es así. La primera evidencia fue proporcionada por Odelberg (1931) cuando publicó los resultados de pruebas realizadas por el Instituto de Pruebas del Gobierno Sueco.

Cerámicas vítreas.

La resistencia mecánica de este nuevo tipo de cerámica opaca puede ser atribuida a la gran cantidad de cristales y a su pequeño tamaño, a menos tensiones entre el cristal y vidrio, a menos grietas de Griffith y otras rajaduras que en la cerámica ordinaria, y sobre todo a la ausencia de poros tanto cerrados como abiertos.

COCCION

El fuego convierte la obra del alfarero en duradera y más hermosa. Al final, de los cuatro elementos que intervienen en la alfarería la tierra es la única que permanece. Al final aparece enormemente transformada. El cambio es permanente, pero la categoría de éste depende de la intensidad del tratamiento de calor.

La cocción era la operación menos comprendida y bajo menos control en la manufactura de la cerámica por lo que no es sorprendente que se sepa muy poco de como nuestros predecesores abordaban el más dificultoso y peligroso de todos los problemas de la alfarería.

El fenómeno físico que tiene lugar cuando se aplica calor a las cerámicas es conocido como "sinterizado", las partículas que están en contacto se aglomeran al ser calentadas a una temperatura apropiada con una disminución de la superficie y también en la porosidad del agregado. Al calentar, el material fluye de las zonas de baja a las de alta temperatura resultado de la formación de estrangulación entre partículas. La fuerza conductora de este proceso es la reducción resultante en la energía superficial, logrando que la distancia entre centros de las partículas decrezca, lo que conduce a la contracción del compuesto y al mismo tiempo una disminución en la porosidad. Con otro tratamiento de calor (temperatura y/o tiempo), la porosidad continua decreciendo, desapareciendo la estructura multiparticular original y permaneciendo sólo cierto número de poros cerrados. En estos poros cerrados quedan gases atrapados que ejercen presión resistiendo a una posterior densificación. Si el sinterizado es realizado en una atmósfera de hidrógeno u oxígeno se obtiene un material transparente sin poro alguno (alúmina) de densidad teórica, al

difundirse rápidamente estos gases a través de la alúmina.

En el complejo sistema que abarca la alfarería, el sinterizado es complicado por la presencia de una fase líquida debido al contenido en castina del cuerpo. Las fases sólidas son humedecidas por este líquido y son solubles en él hasta un punto que depende de la temperatura. Bajo estas condiciones, el líquido penetra entre las partículas sólidas y las conduce a juntarse por las fuerzas de presión y capilaridad. Si está presente el líquido suficiente, todos los poros abiertos están llenos de él, y se produce un cuerpo completamente denso. Un cuerpo tal es denominado vitrificado.

TABLA 3 Características físicas de algunos tipos de cerámica

<i>Tipo de cerámica</i>	<i>Loza</i>	<i>Gres</i>	<i>Vajilla de hotel vitrificada</i>	<i>Porcelana dura</i>	<i>China de huesos</i>	<i>Porcelana de cordierita</i>	<i>Alfarería de liña</i>	<i>Cerámicas vítreas</i>
<i>Referencia</i>	<i>B.C.R.A. (1967)</i>	<i>Singer (1961)</i>	<i>B.C.R.A. (1967)</i>	<i>Salmang (1961)</i>	<i>B.C.R.A. (1967)</i>	<i>Salmang (1961)</i>	<i>Salmang (1961)</i>	<i>McMillan (1964)</i>
Absorción de agua (%)	6-8	0.2-2.5	0.1 ^a	0.0-0.5	0-1	0.0-0.5	0-21	0
Peso específico	2.6	2.50-2.65	2.6	—	2.75	—	—	2.42-3.76
Densidad de masa (Kg m ⁻³)	2200	2030-2480	2800	2300-2500	2700	2100-2200	1800-2300	2720-5760
Resistencia compresiva								
Sin barnizar (MPa)	—	—	—	392-442	—	275-491	137-412	—
Barnizado (MPa)	—	571	—	442-940	—	—	—	—
Resistencia ténsil								
Sin barnizar (MPa)	—	—	—	23-34	—	25-34	19-37	—
Barnizado (MPa)	—	11	—	29-49	—	—	—	—
Módulo de ruptura								
Sin barnizar (MPa)	55-72	—	82-96	39-66	97-111	49-84	29-49	69-343
Barnizado (MPa)	—	34 ^b	—	59-98	—	—	—	—
Resistencia al impacto								
Sin barnizar (Nm ⁻¹)	—	1768	—	1766-2158	—	1766-2158	1864-2943	—
Sin barnizar ^c (Nm ⁻¹)	—	—	—	1167	2188	—	—	—
Resistencia al desportillado								
Barnizado ^c (Nm)	—	—	—	10.9-19.0	54.3-77.3	—	—	—
Módulo de elasticidad								
Sin barnizar (GPa)	55	69	82	69-79	96	69-108	—	79-1370
Coefficiente de expansión lineal térmica:								
20-1000°C ($\alpha \times 10^{-6} K^{-1}$)	—	4.1	—	3.5-4.5	—	1.1-1.5	—	-0.4-+18
20-700°C ($\alpha \times 10^{-6} K^{-1}$)	—	—	—	—	—	—	0.06-0.05	—
20-500°C ($\alpha \times 10^{-6} K^{-1}$)	7.3-8.3	—	7.3-8.3	—	8.4	—	—	—
Conductividad térmica								
20-100°C (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	1.26	1.57	—	1.16-1.63	1.26	1.98-2.32	—	2.21-3.47

^a B.S. 4034. ^b Referencia: Kingsbury(1939). ^c Referencia: Dinsdale(1961).

CAPITULO IV

ESPECIFICACION DE NECESIDADES

Resulta indispensable para desarrollar cualquier proyecto, el reunir una serie de requisitos que nos ayuden a delimitarlo, teniendo de esta manera un mejor control del proceso de solución; facilitándose así la toma de decisiones cuando estas sean necesarias en el proceso de diseño y/o fabricación misma.

Estos requisitos en gran medida marcan las pautas a seguir durante el desarrollo del proyecto, habrá proyectos cuyo requisito primordial sea la economía o la estética, la funcionalidad, el mantenimiento y en su mayoría una combinación acertada de todos o algunos de los aspectos anteriores.

Para nuestro caso particular, la máquina para pruebas de impacto, muchas de las necesidades que debe cubrir quedan determinadas por normas tanto internacionales como nacionales. Por ejemplo la norma oficial ASTM-256 (Internacional). Por otro lado también existen una serie de requisitos impuestos por el I.I.A. de los cuales depende en gran medida el diseño de la máquina. Entre los más importantes están:

- a) Que cumpla con las normas ASTM-256
- b) De bajo costo, debido a la imposibilidad de financiar una máquina comercial por su alto costo. El presupuesto asignado es de N\$2500.00 aproximadamente.
- c) De fácil mantenimiento, evitando que los mecanismos sean muy complicados. Deben utilizarse piezas comerciales en su mayoría con alto grado de calidad.
- d) De fácil manejo, incluyendo tanto procedimiento para hacer

la prueba como la lectura de resultados.

- e) Que sea fácil de transportar.
- f) De baja capacidad, es decir, que la energía total de impacto sea de 0.341 (J), debido a que se trata de cerámica arqueológica con gran fragilidad, cuya energía de impacto máxima es 0.5 (J) (dato obtenido de pruebas preliminares en I.I.A).

Es importante mencionar que la máquina también cumplirá con las normas oficiales mexicanas NOM-B-120-1987¹, las cuales establecen lo siguiente:

- a) La máquina debe ser del tipo péndulo, de construcción rígida y capacidad suficiente para fracturar la probeta de un solo golpe.
- b) Deberá estar equipada con una superficie maquinada adecuada para poder nivelarla.
- c) Deberá tener escalas graduadas en grados o en energía directamente.
- d) Las dimensiones del péndulo deben ser tales que su centro de percusión coincida con el centro de impacto, con una tolerancia máxima del 1% de la distancia del eje de rotación al centro de impacto.

El plano de oscilación del péndulo debe ser perpendicular al eje transversal del yunque o soporte de la probeta Charpy.

- e) La velocidad tangencial del péndulo en el centro de percusión no debe ser menor de 3 ni mayor de 6 m/s, al momento del impacto.
- f) Las probetas deben separarse de la máquina con la mínima

¹ Norma basada en la ASTM-256

interferencia y no deben rebotar en el péndulo antes de que éste completamente una oscilación.

- g) Los apoyos y péndulo deberán ser conforme a las dimensiones mostradas en la figura 1.

Una vez planteadas las necesidades del instituto y los requerimientos de las normas oficiales, procedimos a plantear nuestras propias necesidades, enlistadas a continuación:

- a) La máquina deberá ser pequeña en tamaño y de capacidad suficiente para fracturar la probeta de un sólo golpe.
- b) De costo mínimo. Aproximadamente N\$2500.00
- c) Fabricada en no más de 2 meses.
- d) Deberá fabricarse con un número mínimo de piezas.

La suma de todas estas restricciones serán quienes nos muestren el camino a seguir, en el desarrollo de nuestro proyecto, es por ello muy importante tomarlas en consideración a cada momento y prestarles la atención debida.

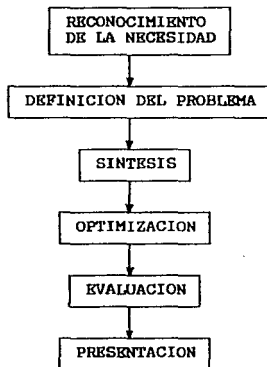
METODO DE DISEÑO

El diseño de un nuevo producto principia con la identificación de una necesidad y con la decisión de hacer algo al respecto, conjuntando alternativas fundamentales para crear una solución, el proceso de diseño finaliza con la presentación de los planes para satisfacer tal necesidad.

El diseño mecánico es el diseño de objetos y/o sistemas de naturaleza mecánica hablemos de piezas, mecanismos, máquinas e instrumentos diversos, el diseño mecánico se apoya fundamentalmente en las matemáticas, las ciencias de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería.

El diseño de ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca a todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos.

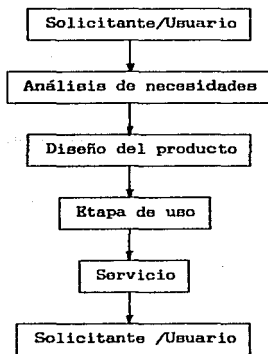
Las fases fundamentales del diseño son:



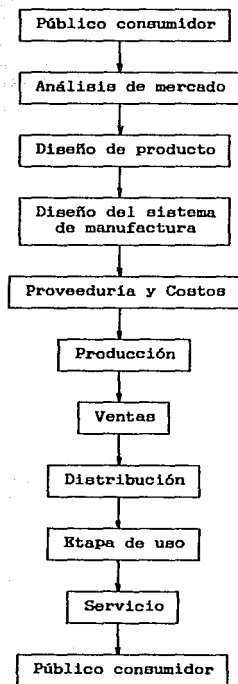
El diseño de un nuevo producto dependerá en gran medida del volumen de producción que este tendrá, de esta forma podemos hablar del diseño de productos únicos y del diseño de productos en serie. La diferencia primordial se encuentra en el tipo de necesidades que pretenden satisfacer , mientras uno cubre una necesidad puntual, el otro la cubre para un público consumidor, consecuencia de lo anterior es el número de etapas involucradas desde su gestación hasta la consolidación en un satisfactor.

Por ello las repercusiones del diseño son muy diferentes y muy importantes. Debemos considerar también que cada diseño, ya sea único o en serie, tienen etapas muy definidas y precisas, las cuales se muestran a continuación:

CICLO DE PRODUCTO UNICO



CICLO DE PRODUCTO SERIE



Debemos tener muy en cuenta que el diseño de un producto tiene un 70% de influencia sobre el costo final del producto y solamente un costo final del 5%. Esta trascendencia tan marcada en el buen diseño de un producto hace importante diferenciar entre un producto único y uno en serie, lógicamente que para un producto en serie las consecuencias del diseño pueden ser catastróficas, ya que un mal diseño puede conllevar a grandes pérdidas económicas.

Por otro lado y tomando en cuenta lo anterior, la máquina para pruebas de impacto que diseñaremos, resulta ser un producto único, ya que solamente será fabricada para satisfacer las necesidades del Instituto de Investigaciones Antropológicas. Consecuencia de ello es que utilizaremos el método de diseño único retroalimentando cada una de las etapas, para obtener un mejor diseño.

CAPITULO V

DISEÑO

Para una correcta selección del diseño como ya mencionamos, fue necesario realizar una investigación que comprendiera: La prueba de impacto, su finalidad, tipos de máquinas existentes y capacidades energéticas, propiedades de la cerámica. Esta investigación arrojó entre muchas otras cosas lo siguiente:

- 1.- Las máquinas existentes en el mercado en su mayoría son muy robustas, es decir, la energía de impacto que estas poseen es muy grande para realizar pruebas de impacto en cerámicos, las energías oscilan entre los 100 (J) y 300 (J). Además son máquinas totalmente importadas y de difícil adquisición debido a su elevado costo.

Cabe destacar que debido a que son máquinas poco utilizadas por la industria y laboratorios (dado que la prueba misma no arroja resultados muy definitivos y reales) es complicada su adquisición, debe uno esperar determinado tiempo.

- 2.- Solamente una casa distribuidora de equipo para laboratorio aseguró conseguir una máquina propia para la prueba en cerámicos arqueológicos: la BLI de SATEC systems, inc.

Esta pequeña máquina, la BLI, tiene una capacidad de 1 a 16 pie-lb graduada a cada 2 pie-lb y con una resolución de 0.01 pie-lb.

La velocidad en el momento de impacto en el centro

de percusión es de 11 pie/s (3.35 m/s). La BLI cumple con las especificaciones de la prueba de impacto ASTM-256; además esta máquina posee diferentes péndulos y yunques para ampliar la capacidad de la máquina. Debemos mencionar que y con todo lo anterior, esta máquina no funcionaría adecuadamente para lo que se requiere, ya que su capacidad aún esta sobrada. Se requiere una energía de impacto menor a 1 (J). (Datos proporcionados por el propio Instituto).

3.- En la Universidad existen varias máquinas para prueba de impacto, pero todas ellas demasiado grandes, tienen capacidades de aproximadamente 300 (J), razón por la que es imposible que sean utilizadas para nuestros propósitos. Otro inconveniente es que estas máquinas se encuentran lejos del I.I.A. como para realizar pruebas cuando se requiera. Una de las máquinas se encuentra en el laboratorio de pruebas mecánicas de la Facultad de Ingeniería (UNAM), la otra en la unidad de posgrado de la Facultad de Química, ahí mismo se localiza un pequeño escleroscopio.

Una máquina para pruebas de impacto consiste básicamente, de un péndulo cuya masa proporcionará la energía cinética suficiente para fracturar la probeta colocada en su camino de un sólo golpe; de un yunque o apoyo lo suficientemente rígido para soportar así la probeta y recibir el impacto; de un medio para medir la energía absorbida por la probeta después de que ha sido fracturada y por supuesto de un cuerpo lo suficientemente rígido y pesado que soporte los 3 sistemas básicos mencionados antes.

Con lo anterior podemos encontrar dos tipos de ensayo principales: El primero conocido como Ensayo charpy y un segundo

llamado Izod.

La diferencia entre estos dos tipos de ensayo radica básicamente de la forma en que se sujetan las probetas. En el primero las probetas se apoyan en forma de viga simple, es decir, apoyada sobre sus dos extremos y en el segundo se trata de una viga en voladizo. De ahí que lo que varíe es la forma de sujeción de la probeta para ensayo.

Puesto que en I.I.A. desea una máquina tipo Charpy, hemos, en esta parte desechado la opción de fabricar una tipo Izod.

La máquina de Charpy se ha dividido en cuatro sistemas básicos con subsistemas a su vez:

1.- PENDULO

[Sistema de rodamiento
Forma del péndulo (masa)
Sujeción y disparo

2.- EL YUNQUE

3.- DISPOSITIVO
DE MEDICION

[Carátula
Agujas indicadoras

4.- CUERPO DE LA MAQUINA

Los cuatro sistemas anteriores serán estudiados por separado determinando cuál de las correspondientes opciones es la más adecuada para satisfacer nuestras necesidades; el estudio se hará basados en el método del criterio, descrito a continuación.

METODO DE CRITERIO PARA SELECCION DE MECANISMOS

El método de criterio se utiliza para elegir de entre varias opciones, que contengan los mismos atributos o características, aquella que satisfaga más ampliamente las restricciones impuestas. El problema principal consiste en saber que peso, calificación o ponderación numérica se debe dar a cada característica.

La función criterio es la estandarización para juzgar y evaluar alternativas y se expresa como sigue:

$F_0 = \sum A_i X_i$ en donde A_i es igual al peso, valor o calificación (asignado a cada alternativa), y X_i es el peso, valor o calificación (asignado a cada criterio).

La función criterio deberá ser máxima o mínima según las características del problema, por ejemplo, en el caso de buscar una economía máxima, F_0 será máxima.

Con el objeto de distinguir y comparar los criterios y las alternativas, se les asociará algún grado o ponderación numérica que permita establecer su cuantificación. A fin de efectuar una comparación válida de porcentajes, es conveniente delimitar el rango dentro de los siguientes valores;

$$0 < A_i < 100 \quad \text{y} \quad \sum A_i = 100$$

los requisitos para la ponderación de los criterios es semejante, ya que estos tienen diferente importancia en relación con el problema de estudio e incluso a cada alternativa, por lo que es conveniente delimitarlo como sigue;

$$0 < X_i < 100$$

la asignación de valores tanto en las opciones de solución como en los criterios deberá ser semejante, dándoles valores más altos a aquellos que sean más importantes.

Para el caso concreto de nuestro diseño se han asignado valores tomando en cuenta las siguientes consideraciones útiles:

JUSTIFICACION DE PESO EN LOS CRITERIOS DE SELECCION

Costo.

El costo para esta máquina no resulta ser tan determinante a la hora de fabricarla y diseñarla debido a que sólo se fabricara una máquina o un prototipo, en un principio se estableció que el costo de la máquina al adquirirla en el mercado resultaba muy alto, pero al fabricarla nosotros el costo disminuye muy por debajo del costo original, siendo de esta manera poco significativo a la hora de considerar las ponderaciones. Hemos dado un peso de tan sólo 15 puntos de total.

Debemos recordar que estamos trabajando un producto único y que de este dependerán gran cantidad de las decisiones tomadas a lo largo del desarrollo del producto.

Mantenimiento.

El mantenimiento de esta máquina resulta en realidad ser casi nulo, a al menos así esta proyectado desde la fase de diseño, y como lo mencionamos anteriormente la máquina ha de fabricarse con el menor número de piezas complicadas y con el mayor número de piezas maquinadas de manera fija, es decir, estarán exentas de fallas en la medida de lo posible. Seleccionaremos de aquellas partes comerciales, las de mejor calidad y las más aptas para el trabajo encomendado, disminuyendo con ello la posibilidad de falla.

El mantenimiento de la máquina tiene un peso propuesto de 10 puntos.

Durabilidad.

Cuando hablamos de durabilidad, nos estamos refiriendo al tiempo deseado de servicio correcto por parte de la máquina, abarcando todos sus sistemas en general, pero dándole mayor

importancia a la rigidez del cuerpo. Debido a que de éste depende en gran medida la calidad de la prueba, no debiendo estar flojo y mucho menos desalineado.

La durabilidad es un término estrechamente ligado con el mantenimiento y como no es nuestro deseo, que sea una máquina que requiera de mucho mantenimiento y si muy durable, le asignamos un valor de 15 puntos.

Facilidad de maquinado.

Este resulta ser uno de los puntos medulares para nosotros, ya que de la facilidad de maquinado, podemos fabricar una máquina que cumpla con todas nuestras expectativas o no. Habrá un diseño que sea excelente para nosotros, pero probablemente sea muy difícil de maquinar, ya sea, porque necesite una maquina especial o el proceso de fabricación no existe en los talleres de la facultad teniéndose que mandar a fabricar fuera de las instalaciones del plantel. De la facilidad o complejidad del proceso de manufactura dependerá el tiempo que transcurra desde el inicio de la fabricación hasta su finalización, por ello le hemos dado un peso de 25 puntos.

Resulta lógico pensar que en la fabricación de productos se optará por la selección de aquellos procesos de fabricación que resulten ser más fáciles, permitiendo con ello un ahorro sustancial de trabajo, dinero, tiempo, etc. Sin embargo existirán procesos en los que no se tenga otra salida que un proceso de fabricación más caro o con mayor número de etapas, siendo ésta la mejor opción.

Funcionalidad.

Esta característica, es para nosotros; fundamental, ya que de ella dependerá en gran medida el diseño de la máquina adoptada. Deseamos fabricar una máquina que cumpla muy por encima las restricciones pedidas, que sea sencilla en su estructura y de muy

fácil operación. No es nuestra intención introducir mecanismos complicados o caros, pero sí el satisfacer las necesidades del instituto de investigaciones antropológicas ampliamente.

El peso asignado a esta característica fue de 30 puntos. Cabe mencionar que fue el puntaje más alto concedido.

Estética.

Existen muchos productos en los que interviene la mano del ingeniero, y se dice que estos carecen de belleza, es decir, no son muy estéticos. Por esta razón nos atrevimos a considerar la característica de estética, para tratar de hacer un producto que sea agradable a la vista, sin embargo, hemos de mencionar que estos productos antes de ser estéticos deben ser funcionales, no omitiendo por supuesto el buen gusto. A la característica de estética le hemos asignado un valor de 10 puntos, con los cuales creemos salvar, ciertas medidas, reputación de persona carente de sensibilidad estética.

CUERPO DE LA MAQUINA

Primero se realizará un estudio del cuerpo de la máquina, debido a que esta parte será la encargada de alojar a todos los demás sistemas, resultando ser una pieza importante de todo el conjunto. Dependiendo de ésta, Los demás elementos de la máquina obtendrán un lugar y forma.

Sabemos que el cuerpo deberá contar con la suficiente rigidez y peso, evitando con ello la pérdida de energía en forma de vibraciones transmitidas a todo el conjunto e impidiendo así mismo la inestabilidad al encontrarse el péndulo en movimiento rumbo a su destino. Hemos pensado en una máquina que sea lo suficientemente ligera, sin afectar los aspectos anteriores, dando así la opción de poder transportarla fuera del laboratorio para realizar trabajos incluso en el campo, contemplado esto, la máquina debe ser de fácil y rápido mantenimiento, evitando utilizar herramientas fuera de lo común.

Es deseable que el conjunto de la máquina contenga piezas comerciales, de fácil adquisición y precio bajo; procurando que el número de estas sea mínimo, es decir, la mayoría de las piezas serán maquinadas o fabricadas por otro método pero ajenas a una falla.

Entre las posibilidades que así se presentan para el cuerpo de la máquina están:

- 1.- Cuerpo hecho en una sola pieza fundida, con posteriores maquinados para el alojamiento de los demás subsistemas. Un cuerpo de fundición tiene la ventaja de eliminar múltiples maquinados, eliminación de soldadura y tornillos de sujeción. Otra gran ventaja que posee, es la gran rigidez del cuerpo, evitando con ello posibles desalineaciones o aflojamientos del cuerpo, produciendo

error en la prueba.

Entre las desventajas que posee es el hecho de tener que fabricar un modelo del cuerpo exacto para que con él obtener un molde de arena y poder fundir. Otra desventaja presentada es la dificultad de fundir acero en cualquier lugar, para realizar la fundición, tendría que mandarse a fundir con especialistas. Por supuesto que nosotros haríamos los cálculos necesarios.

2.- Una segunda opción consiste de un cuerpo hecho por partes y unidas mediante soldadura, cada una de la partes deberá maquinarse por separado y posteriormente soldarse para dar forma al cuerpo. Las partes a maquinar son:

- Base del cuerpo
- Columna
- Soporte de péndulo y carátula
- Soporte para probetas.

Para esta opción debe tenerse mucho cuidado cuando las partes se solden ya que deberán quedar perfectamente escuadradas y alineadas, para prevenir errores posteriores. Tanto en el caso anterior como en este existe la inconveniencia de una máquina fija, en todas sus partes, los que no permitiría desarmarse para ser transportada.

3.- La tercera opción consiste en hacer un cuerpo por partes unidas mediante tornillería. A cada tornillo se le maquina en caja, para que se aloje dentro de esta. Al igual que el caso 2 las piezas se maquinas por separado y posteriormente serían roscadas y atornilladas. Esta opción presenta la gran ventaja de poder desarmarse en su

totalidad para poder ser transportada cómodamente y la desventaja de poder sufrir desalineación entre las piezas cada vez que se desarme o arme. Las cuerdas podrían sufrir también algún tipo de daño si no se tiene el cuidado debido.

- 4.- Una cuarta opción consiste en fabricar el cuerpo de madera, presentaría grandes ventajas respecto a su maquinado, sin embargo para conseguir la rigidez y peso necesarios, tendría que ser muy robusta.

En cada una de las cuatro opciones anteriores encontramos ventajas y desventajas, algunas nos eliminan mucho tiempo de maquinado de piezas, reduciendo su funcionalidad en caso de traslado. Todas esas ventajas y desventajas tendrán que ponerse en una balanza, para determinar cuál de ellas satisface mejor nuestras necesidades.

A continuación se muestra la tabla, que utilizando el método del criterio, nos ayudara a determinar cual de las alternativas propuestas es la mejor, en los renglones (X_1) se muestran las diferentes alternativas para fabricar el cuerpo de la máquina siendo estas: fundición, soldadura, atornillada y madera; para comparar estas alternativas se fijaron los criterios de comparación (A_1) mostrados a continuación: costo, mantenimiento, durabilidad, facilidad de maquinado, funcionalidad y estética.

Para obtener un valor de cada alternativa deben multiplicarse los valores dados a cada criterio por cada una de las alternativas, una vez hecho esto se procede a sumar los valores obtenidos en forma de columnas. Para este caso la que tenga mayor valor será la alternativa seleccionada. Por supuesto que esto debe hacerse una vez que se han dado los valores tanto a los criterios como a las

alternativas. Los valores dados a los criterios fueron justificados anteriormente.

CRITERIO (A_i)	OPCIONES X_i			
	FUNDICION	SOLDADA	ATORNILLADA	MADERA
Costo (15)	15(15) 225	25(15) 375	20(15) 300	40(15) 600
Mantenimiento (10)	40(10) 400	30(10) 300	20(10) 200	10(10) 100
Durabilidad (10)	35(10) 350	30(10) 300	25(10) 250	10(10) 100
Facilidad de (25) Maquinado	15(25) 375	25(25) 625	25(25) 625	35(25) 875
Funcionalidad (30)	40(30) 1200	30(30) 900	20(30) 600	10(30) 300
Estética (10)	40(10) 400	20(10) 200	35(10) 350	10(10) 100
$\Sigma A_i X_i$	2950	2700	2325	2075

De la tabla anterior observamos que la alternativa que satisface mejor nuestros requerimientos es la propuesta en fundición, por lo tanto el cuerpo de la máquina ha de fabricarse mediante este proceso.

Como mencionamos anteriormente esta alternativa nos brinda grandes ventajas, tal es el caso de la absorción de vibraciones producidas al momento del impacto, gran rigidez en la estructura, ensamble y alineación correcta entre los elementos que constituyen la máquina, etc..

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y DISPARO DEL PENDULO

Este mecanismo para soltar el péndulo de su posición inicial debe permitir soltarlo sin impulso inicial, retraso o vibración lateral. Este mecanismo debe realizarse lo más sencillo posible sin caer en lo infuncional. Para ello hemos propuesto cuatro posibles mecanismos, los que mencionamos a continuación:

Polea con manivela.

Este mecanismo como todos los demás, pretende cubrir dos necesidades al mismo tiempo. Por un lado deberá colocar en la posición de disparo el péndulo y al mismo tiempo liberarlo cuando esto sea necesario.

Esto se hace con la intención de eliminar mecanismos, para ello hacer una máquina sencilla y al mismo tiempo ahorrar espacio, tiempo y dinero. Comúnmente todas las máquinas de impacto poseen dos mecanismos diferentes, uno para posicionar y otro para disparar, generalmente esto se hace debido al gran tamaño de las máquinas. Dado que la muestra es muy pequeña podemos realizar esto sin mayor problema.

Al utilizar polea con manivela, pretendemos levantar el péndulo hasta su posición de disparo. El péndulo estará unido a otra varilla por medio de un gatillo, el cual lo liberará en el momento deseado.

Este mecanismo tiene la ventaja de posicionar exactamente el péndulo; al tener una relación entre las poleas, la fuerza necesaria para levantar el péndulo es mínima; le da a la máquina cierta elasticidad. Las desventajas que posee son varias y muy atinadas por ejemplo:

Resulta ser un sistema complicado, además de ser caro y un poco difícil de maquinar. Tiene el gran inconveniente de ser mucho

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y DISPARO DEL PENDULO

Este mecanismo para soltar el péndulo de su posición inicial debe permitir soltarlo sin impulso inicial, retraso o vibración lateral. Este mecanismo debe realizarse lo más sencillo posible sin caer en lo infuncional. Para ello hemos propuesto cuatro posibles mecanismos, los que mencionamos a continuación:

Polea con manivela.

Este mecanismo como todos los demás, pretende cubrir dos necesidades al mismo tiempo. Por un lado deberá colocar en la posición de disparo el péndulo y al mismo tiempo liberarlo cuando esto sea necesario.

Esto se hace con la intención de eliminar mecanismos, para ello hacer una máquina sencilla y al mismo tiempo ahorrar espacio, tiempo y dinero. Comúnmente todas las máquinas de impacto poseen dos mecanismos diferentes, uno para posicionar y otro para disparar, generalmente esto se hace debido al gran tamaño de las máquinas. Dado que la muestra es muy pequeña podemos realizar esto sin mayor problema.

Al utilizar polea con manivela, pretendemos levantar el péndulo hasta su posición de disparo. El péndulo estará unido a otra varilla por medio de un gatillo, el cual lo liberará en el momento deseado.

Este mecanismo tiene la ventaja de posicionar exactamente el péndulo; al tener una relación entre las poleas, la fuerza necesaria para levantar el péndulo es mínima; le da a la máquina cierta elasticidad. Las desventajas que posee son varias y muy atinadas por ejemplo:

Resulta ser un sistema complicado, además de ser caro y un poco difícil de maquinar. Tiene el gran inconveniente de ser mucho

para lo que se pretende, ya que el péndulo en realidad no tiene ningún peso.

Eje de rotación con seguro.

Este sistema esta pensado también para cumplir una doble función, posicionar y soltar el péndulo para hacer el ensayo. Este mecanismo resultaría en realidad muy sencillo, ya que sólo constaría de un perno que se clavaría dentro de un orificio practicado sobre el eje sobre el que gira el péndulo, de un columpio para liberar el perno y junto con él el péndulo.

El péndulo tendrá que levantarse a su posición de disparo manualmente, en su camino, el eje sobre el que gira se encontrara con el perno, él cual debido a su peso caerá dentro del barreno practicado en el mismo, quedando de esta manera fijo. Al momento de hacer la prueba, se liberará al eje del perno por medio de un columpio colocado sobre este. Cabe mencionar que en ninguno de los mecanismo a utilizar se colocara sistema de frenado.

Manual.

Otro sistema posible, que no incluye mecanismos complejos, es el levantar hasta la posición de disparo el péndulo manualmente realizar la prueba totalmente en forma manual, es decir, deberá levantarse y soltarse el péndulo con la mano para realizar cualquier prueba. Tiene la gran desventaja de ser poco exacta la posición desde la que se libere el péndulo, además puede incurrirse en el error de impulsarle al momento de liberarlo.

Estas tres alternativas serán estudiadas bajo el método del criterio para determinar cual de ellas es la conveniente.

CRITERIO (A_i)	OPCIONES (X_i)		
	COLUMPIO	POLRA Y GATILLO	MANUAL
Costo (15)	40(15) 600	10(15) 150	50(15) 750
Mantenimiento (10)	40(10) 400	20(10) 200	40(10) 400
Durabilidad (10)	40(10) 400	30(10) 300	30(10) 300
Facilidad de Maquinado (25)	40(25) 1000	15(25) 375	45(25) 1125
Funcionalidad (30)	60(30) 1800	40(30) 1200	0(30) 0
Estética (10)	50(10) 500	50(10) 500	0(10) 0
$\Sigma A_i X_i$	4700	2725	2450

Como puede observarse la alternativa que presenta un mayor puntaje, es la que utiliza el columpio como medio posicionador y disparador. Siendo esta la elegida en nuestro diseño.

PENDULO

El péndulo resulta ser una de las partes fundamentales de la máquina, ya que es el encargado de proporcionar la energía suficiente para un sólo golpe a las muestras. Por lo tanto este deberá tener la masa suficiente para cumplir satisfactoriamente con su objetivo, además en él estará el centro de percusión. Al impactar el péndulo a las probetas con su centro de percusión eliminamos la posibilidad de pérdidas de energía transmitidas al sistema mediante vibraciones. El diseño del péndulo queda restringido por las normas oficiales mexicanas NOM-B-120-1987 y tiene que ser del tipo "C" o del tipo "U". Hemos de mencionar en esta parte que la energía total que posee el péndulo, incluye la energía proporcionada por su propia masa, la masa tanto de la varilla que soporta el péndulo como la del eje sobre el que girará así como sus respectivos momentos de inercia, todos ellos proporcionan cierta cantidad de energía que al sumarse, darán la energía total de impacto (aproximadamente 0.5 Joule).

El péndulo que diseñaremos será único, es decir, sólo puede conseguirse con él cierta cantidad de energía, nunca más o menos de la establecida al principio del diseño.

Este péndulo estará apoyado sobre rodamientos que le permitirán tener movimiento oscilatorio. Los rodamientos deberán carecer en la medida de lo posible, de fricción. Utilizaremos chumaceras.

YUNQUES

Los yunques tienen la finalidad de soportar las probetas a la hora de la prueba, estos deberán ser lo suficientemente rígidas para no sufrir deformaciones a la hora del impacto. Al mismo tiempo deberán permitir que el péndulo pase sin dificultad alguna y que al momento de fracturar la probeta, ésta no choque o rebote contra ellos.

- Deben fabricarse en acero con una dureza no menor de 55 Rc.
- Deben permitir el alojamiento de diferentes tipos de probetas, es decir, diferentes largos.
- Deberán fabricarse conforme a la norma NOM-B-120-1987.

CONFIGURACION ADOPTADA

El resultado del análisis de las alternativas anteriores, muestra que la mejor configuración para el sistema será aquella que contenga lo siguiente:

- 1) Un cuerpo formado de una sola pieza fundida con posteriores maquinados para el alojamiento de subsistemas.
- 2) De un sistema de posicionamiento y disparo formado por un columpio.
- 3) De un péndulo tipo "C".
- 4) De un sistema de yunques maquinados y montados sobre el cuerpo fundido mediante tornillos allen.
- 5) De un sistema de medición formado por agujas y carátula.

Es preciso señalar que hasta aquí la solución dada es un tanto burda, es decir, no se tiene aún los detalles exactos de la solución, como podrían ser los materiales, sus dimensiones y tolerancias, la forma específica de montaje etc., en suma no tenemos aún la solución al problema en forma comunicable. La solución al problema quedará completada cuando elaboremos el diseño de detalle, en él se establecerán todas las características dimensionales de fabricación y materiales utilizados durante el proceso de construcción del prototipo, etc.

CAPITULO VI

MEMORIA DE CALCULO

Los cálculos necesarios para diseñar y fabricar la máquina para pruebas de impacto se enuncian a continuación dando una pequeña explicación del porque de ellos.

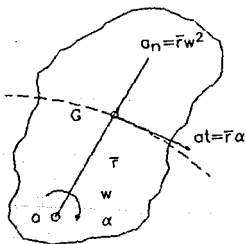
- Los referentes a la localización del centro de percusión del péndulo, ya que al encontrar este punto aseguramos que toda la energía que posee el péndulo será transmitida íntegramente a la probeta de material cerámico, es decir, no se disipará en forma de vibraciones transmitidas al resto del conjunto, por lo tanto la probeta absorberá en su mayoría la energía del péndulo. Decimos que en su mayoría, ya que existen pérdidas de energía debido a la fricción que tiene el péndulo tanto con el aire, al momento de oscilar, como la fricción generada en los rodamientos. Existe otra fuente de fricción que origina pérdidas, ésta se localiza en el mecanismo indicador de la energía absorbida por la probeta éste funciona de la siguiente manera: Cuando el péndulo es liberado, junto con él se desplaza angularmente una aguja que se encuentra en el eje de rotación, éste describe el mismo ángulo que el péndulo, al encontrarse en movimiento, arrastrando así otra aguja que se encuentra sobre la carátula, y marcando el ángulo de elevación final del péndulo después de haberse impactado contra la cerámica.
- También se incluyen los cálculos pertinentes a la masa total que debe poseer la máquina, estos quedan normalizados, ya que debe ser no menor de 40 veces la masa del péndulo, con la finalidad de evitar desequilibrio al encontrarse el péndulo en movimiento

- Finalmente la velocidad de impacto del péndulo se recomienda que sea entre los 3 y 6 m/s.

En esta parte también mostramos como realizar los cálculos para obtener estas velocidades. Es conveniente aclarar que la velocidad se encuentra normalizada también.

Introducción.

Se hace el análisis para un cuerpo rígido restringido a girar sobre un eje fijo que no pasa por su centro de masa, debido a que éste péndulo gira sobre un eje excentroidal.



El centro de masa G del cuerpo se mueve sobre un círculo de radio r centrado sobre el punto O, que es donde pasa el eje de rotación.

Representando la velocidad angular por ω y la aceleración angular por α de la línea OG se tiene que:

$$\bar{a}_t = \bar{r}\alpha ; \bar{a}_n = \bar{r}\omega^2$$

Igualando momentos con respecto al punto O se tiene:

$$\Sigma M_o = I_o + (m\bar{r}\alpha)\bar{r} = (I + m\bar{r}^2)\alpha$$

En donde I : Representa el momento de inercia centroidal.

En base al teorema de los ejes paralelos.

$$I + m\bar{r}^2 = I_o$$

En donde I_o : Representa el Momento de inercia con

respecto a un eje fijo que pasa por O. Por lo que:

$$\boxed{\Sigma M_o = I_o \alpha} \quad \text{.....A}$$

Energía cinética de un cuerpo en movimiento.

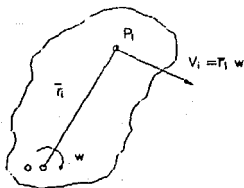
La energía cinética de un cuerpo en movimiento se define como:

$$T = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

En donde el primer término representa un movimiento traslacional de un cuerpo rígido, mientras que el segundo término representa un movimiento rotacional centroidal. Debido a que en nuestro caso no existe movimiento traslacional, la ecuación se simplifica a un movimiento rotacional.

Movimiento rotacional exentroidal.

Considerese nuevamente a un cuerpo rígido restringido a girar sobre un eje fijo que no pasa por su centro de masa.



El cuerpo gira con una velocidad angular ω sobre un eje fijo que pasa por O.

Para un movimiento con rotación centroidal se tiene que:

$$T = \frac{1}{2}I\omega^2$$

Para el caso de rotación exentroidal consideremos una partícula P_1 de masa m_1 que se encuentra a un radio r_1 y lleva una velocidad V_1 como se muestra en la figura.

Se tiene que la energía cinética del cuerpo será.

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta m_i (V_i)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta m_i (r_i \omega)^2$$

$$T = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n r_i^2 \Delta m_i \right) \omega^2$$

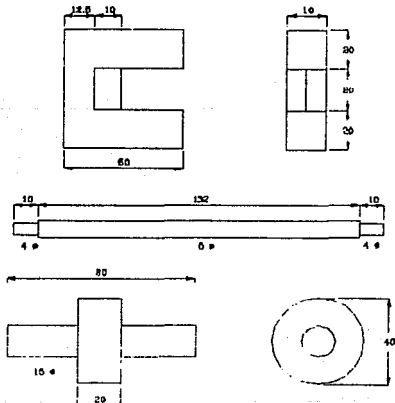
$$T = \frac{1}{2} I_o \omega^2$$

.....B

DESAROLLO DE LOS CALCULOS

Analizaremos el comportamiento dinámico de nuestro péndulo en base a la ecuación A.

Se esquematizan las partes componentes de nuestro péndulo en estudio.



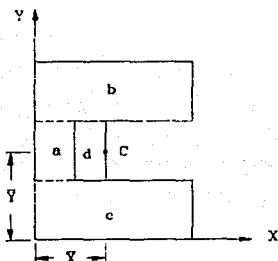
Momento de inercia del péndulo con respecto al eje X-X'.

Este problema nos conduce a calcular los momentos de inercia de cada una de las piezas que componen al péndulo con respecto al eje X-X'. Nos auxiliaremos del teorema de los ejes paralelos:

$$I_{X-X'} = I + m\bar{r}^2$$

Por ser la masa de impacto la más sofisticada merece especial atención y comensaremos con ella.

Centroide de la masa de impacto (C).



Cuerpo	Dimensiones	Vol	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$	$\bar{X}V$	$\bar{Y}V$	$\bar{Z}V$	m
		cm ³	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	gr
a	(1.25x2x1)	2.5	0.625	3	0.5	1.562	7.5	1.25	19.40
b	(6x2x1)	10.0	2.5	5	0.5	25	50	5	77.59
c	(8x2x1)	10.0	2.5	1	0.5	25	10	5	77.59
d	(1x1x.6x2)	1.0	1.538	3	0.5	1.583	3	0.5	7.76
E		23.5				53.145	70.5	11.75	

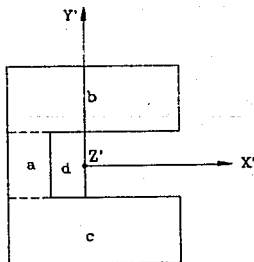
$$\bar{x} = \frac{\sum xV}{\sum V} = \frac{53.1455}{23.5} = 2.26 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum yV}{\sum V} = \frac{70.5}{23.5} = 3 \text{ cm}$$

$$\bar{z} = \frac{\sum zV}{\sum V} = \frac{11.75}{23.5} = 0.5 \text{ cm}$$

Cálculo del momento de inercia centroidal de la masa de impacto.

Se calcula el momento de inercia centroidal en base al teorema de los ejes paralelos. En este caso el centroide corresponde con el centro de masa por ser del mismo material.



$$I_{x'x'} = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2) + md^2 = \frac{1}{12} (19.4) (1.25^2 + 2^2) + (19.4) (1.635)^2$$

$$= 60.85 \text{ gr cm}^2$$

$$I_{x'b} = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2) + md^2 = \frac{1}{12} (77.59) (5^2 + 2^2) + (77.59) (.24^2 + 2^2) \\ = 502.34 \text{ gr cm}^2$$

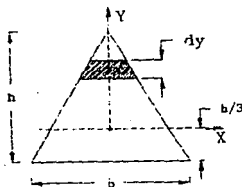
$$I_{x'c} = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2) + md^2 = \frac{1}{12} (77.59) (5^2 + 2^2) + (77.59) (.24^2 + 2^2) \\ = 502.34 \text{ gr cm}^2$$

$$I_{x'd} = \frac{1}{18} m(6l^2 + h^2) + md^2 = \frac{1}{18} (7.76) [6(2)^2 + 1^2] + (7.76) (.666)^2 \\ = 14.22 \text{ gr cm}^2$$

* Ver desarrollo del momento de inercia para un prisma triangular.

$$I_{x'_{\text{total}}} = 1,079.75 \text{ gr cm}^2$$

Determinación del momento de inercia de un prisma triangular.



Momento de Area de un triángulo con respecto al eje x

$$I_A = \int y^2 dA$$

$$dA: \text{ Para } y = \frac{h}{3} ; \text{ base} = \frac{2}{3}b$$

$$dA = \left(\frac{2}{3}b - \frac{by}{h} \right) dy$$

$$I_A = \int_{-\frac{b}{3}}^{\frac{2}{3}h} y^2 dA = \int_{-\frac{b}{3}}^{\frac{2}{3}h} \left(\frac{2}{3}by^2 - \frac{b}{h}y^3 \right) dy = \left(\frac{2}{3}b \frac{y^3}{3} - \frac{b}{h} \frac{y^4}{4} \right) \Big|_{-\frac{b}{3}}^{\frac{2}{3}h}$$

$$I_A = \left(\frac{2}{9}by^3 - \frac{b}{4h}y^4 \right) \Big|_{-\frac{b}{4}}^{\frac{3}{4}h} = \frac{2}{9}b \left(\frac{8h^3}{27} \right) - \frac{b}{4h} \left(\frac{16h^4}{81} \right) + \frac{2}{9}b \frac{h^3}{27} + \frac{b}{4h} \frac{h^4}{81}$$

$$I_A = \frac{2}{9}b \left(\frac{9}{27}h^3 \right) - \frac{15}{81}h^3 \frac{b}{4} = \frac{2}{27}bh^3 - \frac{5}{108}bh^3 = bh^3 \left(\frac{216-131}{2916} \right)$$

$$I_A = bh^3 \frac{81}{2916} = \frac{1}{36}bh^3 \dots\dots\dots 1$$

Momento de inercia centroidal de un prisma triangular delgado (placa plana).

$$I_m = \int r^2 dm$$

pero

$$m = \rho t \frac{bh}{2} \quad dm = \rho \frac{bh}{2} t$$

$$dm = \rho t dA$$

$$I_m = \int r^2 \rho t dA = \rho t \int r^2 dA$$

$$I_m = \rho t I_A \dots\dots\dots 2$$

sust. 1 en 2

$$I_m = \rho t \left(\frac{1}{36}bh^3 \right) = \frac{\rho t bh^3}{36} = \frac{1}{18}mh^2$$

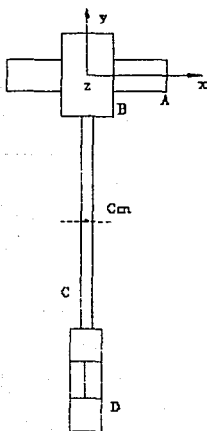
Momento de inercia de un prisma triangular.

$$I_x = I_{x'} + \int_0^L (\frac{h^2}{18} + x^2) \rho \frac{bh}{2} dx = \frac{\rho bh}{2} (\frac{h^2}{18} L + \frac{x^3}{3} \Big|_0^L)$$

$$I_x = \rho \frac{bh}{2} (\frac{h^2}{18} L + \frac{L^3}{3}) = m (\frac{h^2}{18} + \frac{L^2}{3})$$

$$I_x = \frac{1}{18} m (6L^2 + h^2)$$

Cálculo del centro de masa del péndulo.



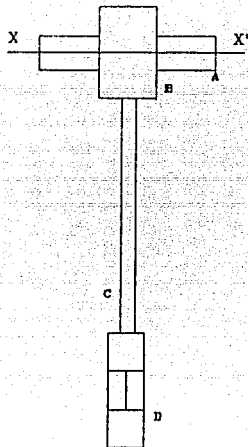
Cuerpo	Dimensiones	Vol	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$	$\bar{XV}$	$\bar{YV}$	$\bar{ZV}$	m
		cm ³	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	gr
A	$[\pi/4(1.5)^2(8)]$	14.14	0	0	0	0	0	0	109.7
B	$[\pi/4(4^2-1.5^2)2]$	21.80	0	0	0	0	0	0	167.6
C	$[\pi/4(.5)^2(13.2)]$	2.59	0	-8.6	0	0	-22.3	0	20.11
D		23.80	0	-18.2	0	0	-427.7	0	182.3
Σ		61.83				0	-450	0	479.7

$$\bar{X} = \frac{\Sigma XV}{\Sigma V} = 0$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma YV}{\Sigma V} = -\frac{450}{61.83} = -7.28$$

$$\bar{Z} = \frac{\Sigma ZV}{\Sigma V} = 0$$

Cálculo del momento de inercia del péndulo respecto al eje X-X'.



$$I_{X-X'} = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} (109.72) (0.75)^2 = 30.86 \text{ gr cm}^2$$

$$I_{X-X'} = \frac{1}{2} m (r_s^2 - r_I^2) = \frac{1}{2} (167.6) (2^2 - 0.75^2) = 288.06 \text{ gr cm}^2$$

$$I_{X-X'} = \frac{1}{12} m (3r^2 + L^2) + m d^2 = \frac{1}{12} (20.11) (3(0.25)^2 + 13.2^2) +$$

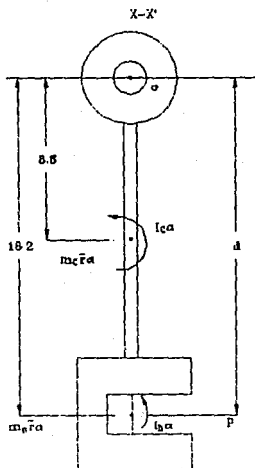
$$+ (20.11) (8.6)^2 = 1,779.65 \text{ gr cm}^2$$

$$I_{X-X'}_p = I_{x'}_{total} + md^2 = 1,079.75 + (182.34)(18.2)^2 = 61,478.0 \text{ gr cm}^2$$

$$I_{X-X'}_{pendulo} = 63,576.59 \text{ gr cm}^2$$

Calculo del centro de percusión

El centro de percusión es la distancia d , a la cuál para toda fuerza P que actúa sobre el péndulo, las reacciones sobre el eje de rotación es CERO. Con ésto se eliminan las vibraciones. El valor de d es independiente del valor de P , en otras palabras el CENTRO DE PERCUSION es una propiedad única del cuerpo que depende de la distribución de su masa.



$$\sum M_o = \sum_{i=1}^n (I_i + m_i \bar{r}_i^2) \alpha = I_o \alpha$$

ya que

$$I_o = I_i + m_i \bar{r}_i^2$$

SUMA DE MOMENTOS

$$(\sum M_A)_{DCL} = (\sum M_A)_{DIN}$$

Es decir las fuerzas aplicadas equivalen a los efectos dinámicos

$$\therefore Pd = I_{X-X'} \alpha \quad \dots\dots\dots 3$$

SUMA DE FUERZAS

$$m_c \bar{r} \alpha + m_p \bar{r} \alpha = P$$

$$\alpha = \frac{P}{m_c \bar{r} + m_p \bar{r}} \quad \dots\dots\dots 4$$

Sustituyendo 4 en 3

$$Pd = I_{x-x'} \left(\frac{P}{m_c \bar{r} + m_p \bar{r}} \right)$$

$$d = \frac{I_{x-x'}}{m_c \bar{r} + m_p \bar{r}}$$

$$d = \frac{63,576.59 \text{ gr cm}^2}{[(20.11)(8.6) + (182.34)(18.2)] \text{ gr cm}^2}$$

$$d = 18.2 \text{ cm}$$

~ distancia del centro de percusión, desde el eje de rotación a la masa de impacto.

Calculo de la energia del pendulo

$$\Sigma M_A = I_A \alpha$$

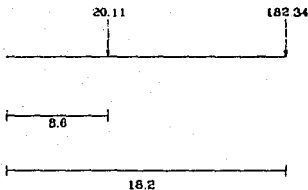
$$(172.95 + 3318.59) \text{ gr cm} =$$

$$63,576.59 \text{ gr cm}^2 (\alpha)$$

$$\alpha = \frac{(3491.54 \text{ gr cm})(978 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2})}{63,576.59 \text{ gr cm}^2}$$

$$= \frac{3'414,726.12 \frac{\text{gr cm}^2}{\text{s}}}{63,576.59 \text{ gr cm}^2}$$

$$\alpha = 53.71 \text{ s}^{-2}$$



Sabemos que:

$$T = \frac{1}{2} I_o \omega^2 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{2T}{I_o}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2(3'414,726.12 \frac{grcm^2}{s^2})}{63,576.59 grcm^2}}$$

$$\omega = 10.36 s^{-1}$$

Debe notarse que la energía potencial que el péndulo tiene antes del impacto es tal que equilibre los momentos que producen las masas que lo componen.

$$\therefore \text{ENERGIA} = 3'414,726.12 \frac{grcm^2}{s} = 0.341 Kg \frac{m}{s^2} m$$

$$\text{ENERGIA} = 0.341 \text{ Joules}$$

Se hace la comprobación considerando el centro de masa de el péndulo. (energía potencial disponible).

$$E = m_c g h_c = (0.4798) (9.98) (0.0728) = \underline{0.341 \text{ Joules}}$$

JUSTIFICACION DE DISEÑO

En base a los eventos realizados en el I.I.A. sobre algunas probetas de cerámica, se calculó que la energía promedio necesaria es de solo 0.125 Joules, considerando que este valor representa la energía promedio necesaria podemos asumir que este valor deberá representar la lectura media del rango de la capacidad de la máquina diseñada.

En el diseño de la capacidad de la máquina, se debe tomar en cuenta la gran incertidumbre de error que se tiene cuando la lectura de algún evento rebasa el 80% de la capacidad de la máquina (Norma Oficial Mexicana NOM-B120-1987):

"Los valores de energía mayores de 80% de la capacidad de la máquina son inexactos y deben informarse como aproximados. Teóricamente, una prueba de impacto debe conducirse a una velocidad constante. En una prueba del tipo péndulo, la velocidad disminuye conforme progresa la fractura. Para probetas que tengan energía de impacto próximas a la capacidad de la máquina, la velocidad del péndulo disminuye durante la fractura a un punto que no se obtiene la exactitud en valores grandes de energía de impacto".

Otro factor importante de diseño es considerar la fricción total y pérdidas, de acuerdo a la NOM-B120-1987:

"La fricción total y pérdidas debidos al viento de la máquina durante la oscilación en la dirección del impacto, no deben exceder de 0.75% de la capacidad de la escala y la energía perdida por fricción del péndulo en el mecanismo indicador no debe exceder de 0.25% de la capacidad de la escala".

Por lo que las pérdidas totales no deben ser mayores del 1% de la

capacidad de la escala.

En base al rango aceptable de 0-80%, para diseño, el valor promedio de energía necesaria (0.125 J) debe de encontrarse en el 40% de la capacidad de la máquina, por lo que:

Energía promedio (Σ_p = 40% de la energía necesaria (Σ_n))

$$\Sigma_p = 0.4 \quad \Sigma_n \text{ ----} 1$$

y la energía total (Σ_T)= Energía necesaria (Σ_n) + pérdidas.

$$\Sigma_T = \Sigma_n + 0.01 \Sigma_T \text{ ----} 2$$

para una energía promedio: $\Sigma_p = 0.125$

se tiene una energía necesaria: $\Sigma_n = 0.3125$

y por lo tanto una ENERGIA TOTAL: $\Sigma_T = 0.3156$

Por otro lado inicialmente se fabricó un prototipo con una capacidad total de 0.847 Joules, y en base a pruebas hechas en el I.I.A. observamos que dicha máquina se encontraba demasiado sobrada de energía, pues se realizaron ensayos sobre probetas de vidrio de 3x3mm de sección transversal, lo que conducía a una lectura de 3 ó 4 grados en una escala de 0 a 90° produciéndose además una mayor incertidumbre en la lectura, esto nos condujo a la decisión de bajar la capacidad de la máquina.

Se ha elaborado el análisis de diseño con más detalle y se han corregido los errores obtenidos en el prototipo. En primer lugar se menciona el cambio que se obtuvo en el tipo de material y método de fabricación del cuerpo de la máquina (ver matriz de decisión). Otro punto muy importante es que en prototipo el punto de impacto se encontraba desplazado con respecto al eje vertical del centro de masa del péndulo, al momento del impacto lo cual nos conduce a un error aunque pequeño pero representativo para cuando se hacen pruebas a materiales muy frágiles.

Para el nuevo método de diseño se tomó en cuenta la simetría de la masa de impacto y de todo el péndulo, la distribución de masa para obligar que el centro de percusión coincidiera con el centro de masa de la masa de impacto. se cuidó también la uniformidad de las piezas del péndulo en cuanto a material para obligar a coincidir centroides con centro de masa y reducir cálculos. En otras palabras se realizó una distribución de masa de tal manera de eliminar los posibles efectos dinámicos producidos durante el ensayo.

Partiendo del prototipo fabricado es necesario reducir la energía de 0.847 Joules a 0.3156 Joules.

En primera instancia el diseño no implica reducir solo al 38% la masa de impacto y con esto reducir la energía al valor necesario.

El diseño de una máquina para pruebas Charpy estriba principalmente en diseñar una "configuración" de tal manera que proporcione la energía necesaria y suficiente sin pérdidas por efectos dinámicos. Para las necesidades específicas, es decir para eliminar los efectos dinámicos el centro de percusión debe ser el mismo que el punto de impacto del péndulo y el centro de percusión es una propiedad única del cuerpo, que depende de la distribución de su masa, en otras palabras para cada "configuración" que se tenga (forma y tamaño del péndulo) cambiarán las coordenadas del centro de percusión. En el diseño se tiene la labor de encontrar una configuración de tal manera que el centro de percusión coincida con el punto de impacto del péndulo y a la vez que ésta configuración proporcione una energía 0.3156 Joules.

Nosotros tenemos que partir necesariamente de una primera configuración, pues como se ha dicho el centro de percusión y por consecuencia la energía total es propiedad única de cada configuración, por lo que se tendrán que sugerir diferentes

configuraciones.

Si observamos en, la configuración del péndulo para la máquina prototipo, podemos decir que el diámetro de la barra del eje de rotación del péndulo esta obligado a ser el mismo pues para esta máquina se usará el mismo tamaño de balero y el mismo mecanismo de sujeción, por lo que solo tenemos que variar las dimensiones de la barra del péndulo y de la masa de impacto. Cabe decir que podríamos empezar nuevamente a hacer un diseño con una configuración completamente diferente, pero lo más viable es basarse en el diseño previamente obtenido, identificar sus fallas y mejorarlo. Por otro lado estamos sujetos a fijar ciertas magnitudes para el caso del diámetro interno y externo del balero el cual es estándar.

APROXIMACION A LA CONFIGURACION DEL PENDULO

Partimos de la configuración mostrada en la figura.



Nuestro objetivo es buscar la configuración que cumpla con no tener efectos dinámicos y tener una energía de 0.3156 Joules.

Para la figura mostrada tenemos que encontrar el valor de L , D , M y la configuración propia de la masa de impacto.

La energía total y el centro de percusión son función de los momentos de inercia para cada cuerpo.

Comenzaremos a fijar algunos valores constantes y otro supuestos (válidos para fines de aproximación) de los momentos de inercia.

El momento de inercia total de la masa de impacto para la configuración de la máquina prototipo (apéndice A) es de $I_{xp}=190,312 \text{ gr cm}^2$ y el momento de inercia centroidal de esta misma masa es solo de $I_{z\text{-}TOTAL} = 1718 \text{ gr cm}^2$ y representa solo el 0.9% del momento de inercia total. Por lo que vamos a fijar un valor de $I_{z\text{-}TOTAL}$ aproximado (que después justificaremos).

Ahora para una masa rectangular de (8.3 x 5cm) se tiene $I_{z\text{-}TOTAL} = 1,917 \text{ gr cm}^2$ supongamos que reducimos la masa a una equivalente de (5 x 5cm) se tiene que $I_{z\text{-}TOTAL} = 813 \text{ gr cm}^2$, fijaremos el valor $I_{z\text{-}TOTAL} = 1000 \text{ gr cm}^2$.

Tenemos los valores de momentos de inercia para los cuerpos A

y B que son fijos.

Vamos a recurrir a un sencillo programa que nos va a permitir hacer iteraciones y aproximaciones a una configuración cercana a la que elegiremos:

```
? - Lc
? - Dc  => Vc
        => Mc
        => Ic
? - Md  => Id
        => ITOTAL
        => d
        => Et
```

Este pequeño programa resumido involucra jugar con la longitud y diámetro de la varilla C con lo cual llegamos a su momento de inercia (I_D) y con valores de masa M_D para llegar a un momento de inercia I_D por último se obtiene un momento de inercia total (I_{TOTAL}). Y con esto la distancia al centro de percusión (d) y la energía que proporciona (ΣT).

A continuación presentamos la siguiente tabla de aproximación para la elección de las magnitudes L, D y M aproximadas:

TABLA DE APROXIMACION

M[gr]	L[cm]	D[cm]	(Y-P)cm	E _{TOTAL}
200	15	0.7	0.52	0.433
200	13	0.7	0.32	0.382
200	10	0.7	0.03	0.312
200	15	0.5	0.13	0.413
200	13	0.5	3×10^{-4}	0.368
200	10	0.5	0.19	0.304
180	15	0.7	0.57	0.394
180	13	0.7	0.35	0.349
180	10	0.7	0.03	0.284
180	15	0.5	0.14	0.373
180	13	0.5	3×10^{-4}	0.333
180	10	0.5	0.21	0.274
150	15	0.5	0.16	0.315
150	13	0.5	4×10^{-4}	0.280
150	10	0.5	0.25	0.230

(Y-P) es la distancia en cm del centro de percusión al centro de impacto.

CONFIGURACION FINAL.

En base a los cálculos de diseño elaborados y a la selección de todas y cada una de las partes componentes de la máquina, se ha determinado la configuración final de nuestra máquina:

a) Cuerpo de la Máquina.

La estructura de la máquina tendrá un peso aproximado de 11 Kg. y será fabricada por fundición en Acero ASTM-A-286. La configuración y dimensiones del cuerpo de la máquina fueron diseñadas en base a las dimensiones del conjunto péndulo, debiendo ser lo suficientemente pesada para lograr la estabilidad de la misma. Ver plano MI-12.

b) Péndulo.

En base a la tabla de aproximación (pag. 76), se observa que el valor de energía de 0.333 (J) es el más aproximado al valor de 0.341 (J) que perseguimos, con la condición de que el valor (Y-P) sea mínimo. Para éstos valores se tiene un valor de $M=180$ (gr)., $L=13$ (cm). y $D=5$ (mm), como valores aproximados. En el cálculo de diseño resultaron los siguientes valores:

- $M=182.34$ (gr).
- $L=13.2$ (cm) y
- $D=5$ (mm).

Estas piezas serán fabricadas en acero inoxidable ASTM-A-304. ver planos: MI-01, MI-02 y MI-10.

c) Columpio, seguros y yunques.

En general todas las demás piezas componentes tales como el sistema de columpio, seguros y yunques serán fabricados en acero

inoxidable ASTM-A-304. Ver detalle de diseño en los planos: MI-03, MI-04, MI-05, MI-08 y MI-09; a excepción de la aguja de la carátula que será en Acero 1010, ver plano MI-06 y la carátula que será con base de material acrílico.

El sistema de rodamiento consistirá en dos Baleros estandares acoplados con chumaceras a la parte frontal de la máquina, los cuáles serán los soportes para los extremos del eje del péndulo, la característica principal de dichos Baleros será tener la mínima fricción para disminuir las pérdidas de energía.

Los yunques han sido diseñados móviles para aumentar o disminuir el claro que separa a ambos, ver plano MI-11.

En la figura 1, se observa el detalle de la configuración final adoptada. Con esto hemos finalizado el diseño de la máquina, y en buena medida hemos cumplido con los objetivos propuestos. Estamos satisfechos con los resultados pues se ha logrado la fabricación de la máquina con un presupuesto diez veces menor que el precio al que se encuentran en el mercado. Este es y debe ser uno de los principales objetivos de los Ingenieros: "desarrollo de la propia tecnología y solución de los problemas, siempre en búsqueda de la mejor alternativa para el desarrollo y bienestar de la sociedad".

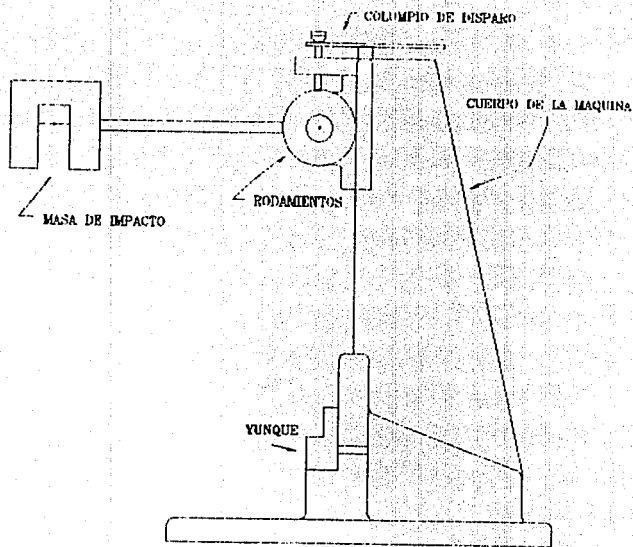


FIGURA 1 CONFIGURACION FINAL

CAPITULO VII

COSTOS Y EVALUACION ECONOMICA

La evaluación económica es parte integral del proceso de administración que debe llevarse a cabo en todo proyecto y que lo proporciona el costo del producto, métodos de producción y procedimientos de compra. Y establece el volumen de utilidad que se puede lograr al término de éste.

El objetivo del análisis de los costos es:

- Determinar los costos y las utilidades para determinado proyecto.
- Determinar los precios de venta.

Básicamente existen dos tipos de sistemas de control de costos: Real y Estándar.

- 1) El costo real acumula y resume todos los costos a medida que se presentan y determina el costo del producto final después de efectuadas todas las operaciones de fabricación; esto es sumando los costos reales de los materiales usados, los gastos de mano de obra y los gastos administrativos.
- 2) En el sistema de costos estándar todos los gastos están predeterminados antes de que se ejecute la producción.

Ambos métodos pueden usarse combinados con el método de costos por orden de trabajo específico o con el método de costos de acuerdo al proceso de fabricación.

Método de costos por orden de trabajo específico.

Cuando se envía a fabricación una orden de trabajo específico que cubre uno o varios productos, esto se identifican a través de todos los procesos de manufactura por lo que resulta mas apropiado controlar su costo por cada una de las ordenes que se envían. Los costos de una orden de fabricación se registran y acumulan en una hoja de costos para el pedido específico, donde finalmente se muestra el costo total del pedido cuando éste se termine.

En nuestro proyecto utilizaremos este método para el cálculo del costo total de nuestro prototipo.

Método de costos según el proceso.

Es cuando el proceso de producción se ejecuta en un flujo continuo, cuando las unidades que se producen no pueden separarse contablemente. La medida de la eficiencia se hace evidente al comparar la cantidad producida y el costo unitario del producto.

En todo proyecto antes de la elaboración de los precios de venta es absolutamente indispensable conocer a fondo los costos de materiales, mano de obra, equipos, gastos administrativos, utilidad, etc.

En términos generales los costos se pueden clasificar en:
Costos directos.

Los costos directos podemos definirlos como los gastos de:
MATERIALES: El costo incluye la compra de materiales y accesorios.
MANO DE OBRA: El costo por la mano de obra que se ejecuta directa e inmediatamente sobre le material que va a formar parte del producto final.

Costos indirectos.

Todos los costos indirectos podemos definirlos como la suma de los gastos técnico-administrativos necesarios para la correcta realización de cualquier proceso productivo.

Estos costos se pueden analizar y estimar previamente, se pueden controlar durante la ejecución de producto y mantenerlos dentro de los límites prefijados. Y se pueden clasificar en términos generales como:

- Gastos administrativos (honorarios, depreciación, gastos de oficina, etc).
- Gastos generales del proyecto (transporte, empaque, pintura, varios).
- Fianza, seguro, intereses, imprevistos.

ESQUEMA GENERAL

Costo Total (CT)= Costos Directos (CD) + Costos Indirectos (CI)

Precio de Venta (PV)= Costo Total (CT) + Utilidad (U)

La utilidad se expresa como un porcentaje de la suma de los costos directos y los costos indirectos este porcentaje esta basado en el riesgo o naturaleza del proyecto y entre otros factores que pueden influir en la determinación de la utilidad pueden ser: grado de dificultad, características propias del proyecto, magnitud del proyecto, volumen de producción, precios de venta, mercado, etc.

Evaluación económica del proyecto.

COSTOS DIRECTOS (CD)

a) Materiales:

Cuerpo de la maquina	
Modelo p/fundición	N\$750.00
Fundición	N\$350.00
Péndulo y Yunque	
Material p/fabricación	N\$150.00
Baleros y chumaceras	N\$200.00
Carátula	N\$100.00

b) Mano de obra:

Maquinado de pieza fundida	N\$100.00
Maquinado de péndulo y yunque	N\$500.00
Maquinado p/chumaceras	N\$ 50.00

subtotal

N\$2200.00

COSTOS INDIRECTOS (CI)

a) Gastos administrativos	N\$ 20.00
b) Gastos generales	N\$ 50.00
c) Imprevistos (5% del C.D.)	N\$110.00

subtotal

N\$180.00

C.D. = N\$2200.00

C.I. = N\$ 180.00

C.T. = N\$2380.00

UTILIDAD (U)

Consideremos un factor de utilidad (f), de 1.2

$$U = f (C.T.)$$

$$U = 1.2 (2380) = 2856$$

PRECIO DE VENTA (PV)

$$PV = C.T. + U$$

$$PV = N\$2380 + N\$2856$$

$$PV = N\$5236$$

CONCLUSIONES

Sin lugar a dudas el trabajo de tesis realizado, ha representado uno de los mayores retos durante nuestra carrera; en él hemos plasmado mucho de nuestro pensamiento, así como, gran cantidad de los conocimientos adquiridos; no sólo durante cinco años de permanencia en la Facultad; sino, los conocimientos adquiridos durante toda nuestra vida. Es por ello que este trabajo resulta ser muy significativo para nosotros. Por medio de él conseguiremos el título que otorga el grado de Ingeniero Mecánico Electricista.

El trabajo realizado es una síntesis de las iniciativas tomadas para resolver un problema concreto, en él sustentamos el porque de un diseño y simultáneamente nos percatamos de la dificultad de realizar un proyecto y culminarlo, debiendo localizar las posibles fuentes de error para posteriormente retroalimentarnos y continuar adelante, tan fué así que previamente realizamos un prototipo de la máquina. Este primer prototipo nos brindo la posibilidad de encontrar todos aquellos errores inadvertidos hasta el momento, el resultado de corregir todos estos errores fué la creación de un segundo prototipo del cuál nos sentimos muy orgullosos y seguros en cuanto a sus características y funcionalidad.

Entre las desventajas del primer prototipo se encuentran:

- Excesiva energía de impacto, aproximadamente 0.9 (J), lo que ocasionaba grandes errores de medición, ya que el péndulo llega a la altura en la cuál existe gran dificultad para realizar las mediciones, localizadas en el rango de 80% al 100% de la capacidad de la máquina.
- El centro de percusión del prototipo se encontraba desplazado aproximadamente dos centímetros hacia arriba. Lo

que ocasionaba pérdidas de energía en forma de vibraciones transmitidas a todo el conjunto.

- El sistema de medición o la carátula presento algunos problemas, concretamente en la aguja arrastrada; ya que esta no quedaba en su posición final de una manera segura.
- Finalmente al haberla fabricado en partes y unidades mediante tornillería se acarreo el problema de no conseguir una correcta alineación entre los diferentes elementos.

Todos estos problemas fueron detectados en el prototipo y corregidos en el segundo modelo, dándonos con ello la confianza suficiente para fabricarlo.

El presente trabajo nos ha enseñado bastante de lo que significa plantearse un objetivo y llevarlo hasta sus últimas consecuencias para nosotros pone de manifiesto dificultades tales como organización entre los integrantes de grupo, imposibilidad de allegarse de información necesaria, pérdida de tiempo por no cumplir con la planeación al 100%, etc.. Todo ello me hace reflexionar acerca de la importancia de trabajar en equipo, de ser líder en cierto momento y en otros no; de trabajar de acuerdo a una planeación de objetivos. Distinguir las cuestiones importantes de las superficiales o intrascendentes en cualquier trabajo etc. Todas ellas importantes para un mejor desempeño de mi profesión.

Sin temor a equivocarme destacaría una cuestión trascendental de la tesis; el permitirme observar y vivir bajo todas las anteriores circunstancias para con ello evitarlas en la medida de lo posible en un futuro próximo.

Todo trabajo de esta magnitud implica lógicamente un gran esfuerzo por parte del (o los realizadores), ya que implica que fuera de una aula de clases trabajar y tener la capacidad para no distraerse y perder el tiempo o perderse uno mismo; será el primer trabajo que fuera de una escuela realizáramos solos, debiendo tener

la suficiente capacidad por discernir en lo importante y lo superficial no debiendo perder la calma y la cordura.

Alfonso Velázquez Medina.

CONCLUSIONES

Todos y cada uno de los hombres se plantean ciertas metas, ciertos objetivos; algunos a corto, mediano o largo plazo, algunos quizá inalcanzables, pero estos objetivos son la fuerza motriz que nos motiva cada día a la superación personal y son los que constituyen la semilla de cada día para alimentarnos y darnos fuerza para seguir luchando al día siguiente y así por siempre.

El hombre por naturaleza es insaciable, en cuanto alcanza un objetivo se plantea otro quizá más grande y difícil, acorde a su capacidad y seguirá haciéndolo por siempre hasta el fin de su ansiedad por alcanzar la grandeza.

En lo personal uno de mis objetivos, inculcado por mis padres fue el de lograr una preparación académica y luchar por ello, pese a los grandes obstáculos que se nos presentan a todos y cada uno de los hombres capaces a luchar y llegar a concluir sus propios ideales, reflejándolo en un importante desarrollo profesional y humano.

Durante nuestra estancia en la Universidad (y no solo en la Universidad sino también en las demás instituciones educativas que la proceden), hemos adquirido cierto nivel ético en todas las ramas

de la ciencia y que por el momento lo llegamos a representar por éste, nuestro "último" trabajo, que nos da la oportunidad de consolidar nuestra preparación a través de muchos años; denominado: TESIS PROFESIONAL para obtener "EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA".

Difícilmente en un solo trabajo con un tema particular podremos abarcar todas las áreas y conocimientos adquiridos en nuestro estudio, pero tratamos de hacer hasta lo posible por ser claros y concisos y sobre todo tener la oportunidad de poder aplicar dichos conocimientos.

Es para mi una gran satisfacción concluir esta etapa, y que por un lado nos da paso y seguridad de seguir con nuestra continua superación y por otro lado nos abre una puerta y nos da la oportunidad de enfrentarnos al mundo real.

Esta tesis nació a raíz de satisfacer una necesidad y nosotros como ingenieros que pretendemos ser, en base a nuestros conocimientos tenemos que utilizar todos los medios para satisfacer en buena medida todas las necesidades que se plantean en nuestra vida cotidiana y lograr con esto un bienestar personal, nacional y universal.

Como se ha dicho, el tema de tesis nació a través de la necesidad del Instituto de Investigaciones Antropológicas de contar con una máquina para pruebas de impacto, para realizar pruebas de prospección sobre materiales cerámicos.

Desde un inicio en las primeras etapas de nuestro trabajo, adquirimos la documentación referente tanto de Historia, Mercado, Normalización Nacional e Internacional, Diseño, etc; aplicables a nuestro tema. Esto nos llevo a lograr hacer una Tesis más completa, mayor documentada y un prototipo funcional.

Se pensó en diferentes alternativas de fabricación de la máquina seleccionando justificadamente el proceso más adecuado.

Se realizó un análisis minucioso en lo que constituye el cálculo fino del proyecto: la configuración adecuada que proporcione la energía suficiente para la capacidad diseñada, fijando perfectamente el centro de percusión. Se conjuntaron todas las ideas y conocimientos para dar inicio y fin a la realización del trabajo escrito y la fabricación de la máquina.

Cabe aclarar que dicha máquina será donada al Instituto de Investigaciones antropológicas. indicando con esto, por un lado nuestro interés de servir en lo posible a nuestros semejantes, y por otro lado de alguna manera agradecer lo mucho que hemos recibido de nuestra Universidad.

Marcos Nolasco Miguel.

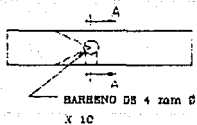
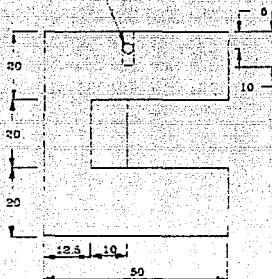
ANEXO

ANEXO

LISTA DE PLANOS "MAQUINA DE IMPACTO"

PLANO	TITULO
MI-01	MASA DE IMPACTO
MI-02	VARILLA DEL PENDULO
MI-03	PALANCA DEL COLUMPIO
MI-04	BASE PARA COLUMPIO
MI-05	SEGURO PARA AGUJA INTERIOR
MI-06	AGUJA PARA CARATULA
MI-07	SEGURO PARA AGUJA POSTERIOR
MI-08	SEGURO PARA FIJACION DE PENDULO
MI-09	CONTRAPARTE DEL SEGURO
MI-10	EJE DEL PENDULO
MI-11	SOPORTE PARA PROBETAS
MI-12	CUERPO DE LA MAQUINA

BARRENO ROSCADO
1/8" 40 UNC - 3mm



CORTE A - A



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACOT.
EN INCH

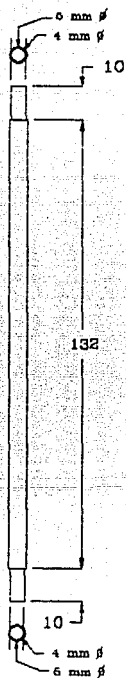
D. EMB.

PIEZA: MASA DE IMPACTO

ESCALA
1 : 1

MI-01

MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACUT.
KILIN

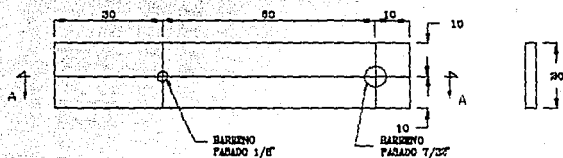
Dr. FARR

PIEZA: VARILLA DE PENDULO

ESCALA:
1 : 1

MI-02

MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACOT.
ESTRATA

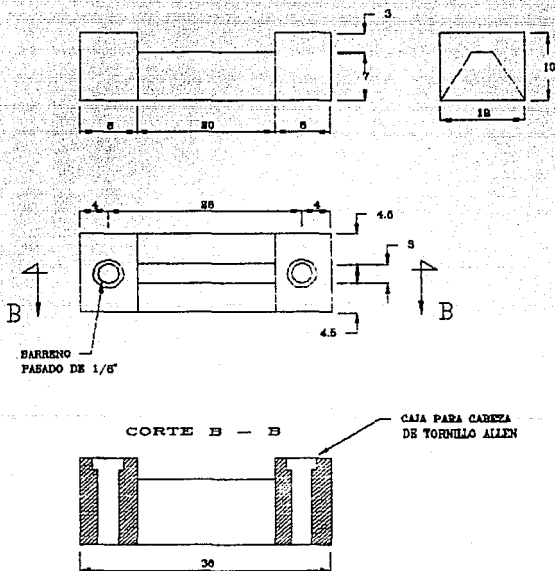
IN. PLANO

PIEZA: PALANCA DEL COLUMPIO

ESCALA:
1 : 1

MI-03

MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACOT.
MILIM

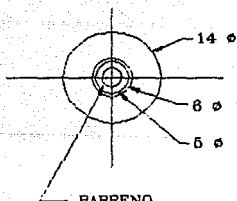
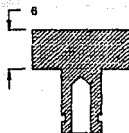
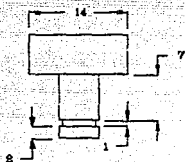
N.º 40

PIEZA: BASE DE COLUMPIO

MATERIAL: ACERO INOX. A304-A304

ESCALA:
2 : 1

MI-04



BARRENO
ROSCADO
1/8"-40 UNC-10mm

PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACOT.

ELITE

D. F. M.

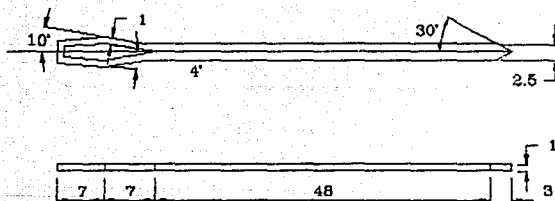
PIEZA: SEGURO PARA AGUJA ANTERIOR

ESCALA:

2 : 1

MI-05

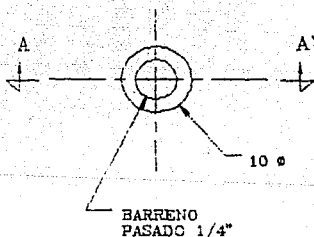
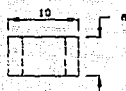
MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304



LA AGUJA PARA CARATULA POSTERIOR ES
SIMILAR CON UNA LONGITUD TOTAL DE
75 mm Y UN DOBLES A 90° 10 mm
ANTES DE LA PUNTA

PROYECTO:	MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO	ACOT. mm	h. 100
PIEZA:	AGUJA CARATULA ANTERIOR	ESCALA: 2 : 1	MI-06
MATERIAL: ACERO 1010			

CORTE A - A'



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACOT.
mm

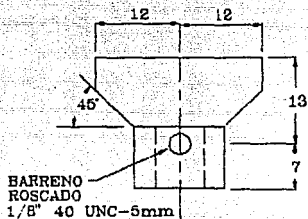
h. P. 22

PIETA: SEGURO PARA AGUIA POSTERIOR

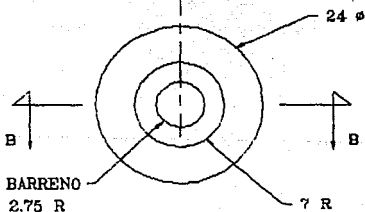
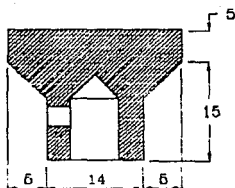
ESCALA:
2 : 1

MI-07

MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304



CORTE B - B



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

UNID.
mm

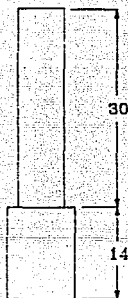
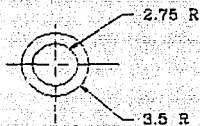
h. 112

PIEZA: SEGURO PARA FIJACION DEL PENDULO

ESCALA:
2 : 1

Mi-08

MATERIAL: ACERO INOX ASTM-A304



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

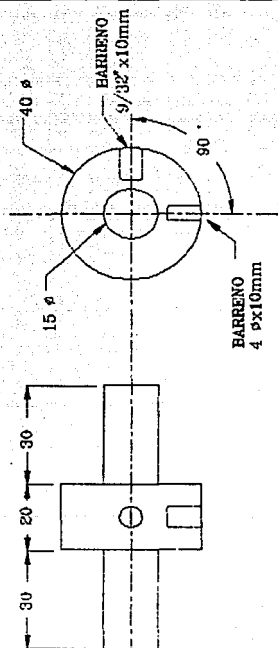
ACOT.
MILIM.

IN. PULG.

PIEZA: CONTRAPARTE DE SEGURO
MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304

ESCALA:
1 : 1

MI-09



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACOT.
mm

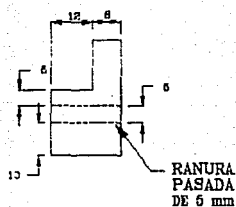
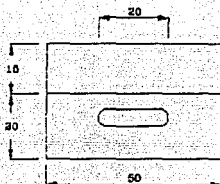
IN. RUS

PIEZA: EJE DE PENDULO

MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304

ESCALA:
1 : 1

MI-10



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

SCOT.
MIN.

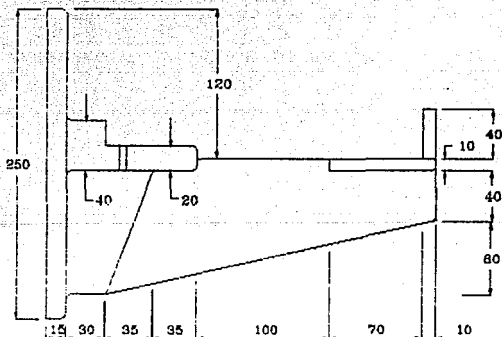
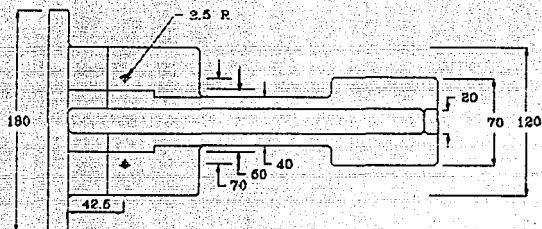
% RAB

PIEA: SOPORTE PARA PROBETAS

ESCALA:
1 : 1

ME-11

MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304



PROYECTO: MAQUINA PARA PRUEBAS DE IMPACTO

ACOT.
mm

En PLD

PIEZA: CUERPO DE LA MAQUINA

ESCALA:
1 : 3

MI-12

MATERIAL: ACERO INOX. ASTM-A304

LISTA DE PARTES COMPRADAS

PARTIDA	DESCRIPCION	CANTIDAD
01	Baleros porta-bala de bronce lubricados con aceite. diámetro interior 15mm.	2 pzas.
02	Chumaceras de piso NP, para balero de diámetro interior 15mm.	2 pzas.
03	Tornillo allen 3/16" x 2"	2 pzas.
04	Tornillo allen 1/8" x 1/2"	2 pzas.
05	Tornillo allen 1/8" x 1"	2 pzas.

LISTA DE PARTES MANUFACTURADAS

PARTIDA	DESCRIPCION	PROCESO	CANTIDAD
05	Cuerpo de la máquina.ASTM-A286	Fundición	1 pza.
06	Masa de impacto.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
07	Varilla de péndulo.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
08	Eje de péndulo.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
09	Soporte p/probetas.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
10	Base de columpio.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
11	Palanca de columpio.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
12	Seguro para péndulo.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
13	Seguro para aguja.ASTM-A304	Maquinado	1 pza.
14	Aguja para carátula.AISI-1010	Corte	2 pzas.
15	Carátula en acrílico	Corte y grabado	1 pza.

OPERACION DE LA MAQUINA

Para realizar las pruebas correctamente, deberá tenerse el cuidado de (cumplir) checar los siguientes puntos:

- 1) La máquina deberá colocarse en una superficie perfectamente nivelada o en su defecto deberá nivelarse mediante algún procedimiento, empleando para ello un nivel de burbuja.
- 2) Deberán prepararse varias probetas previamente.
- 3) Colocar la probeta sobre los apoyos.
- 4) Levantar manualmente el péndulo hasta la posición de disparo, esta posición será la línea horizontal, cuando el péndulo se encuentre en esta posición el seguro caerá en el orificio practicado sobre el eje, manteniendo de esta forma el péndulo en su posición de disparo.
- 5) Colocar la aguja indicadora en la posición de cero grados o cero energía absorbida.
- 6) Con el columpio liberar el péndulo, para que éste impacte a la probeta, después de una oscilación completa deberá frenarse manualmente (debe recordarse que es muy pequeño y por ello podemos frenarlo).
- 7) Una vez realizado el impacto se procede a la toma directa de la lectura de energía absorbida por la probeta, registrada por la aguja indicadora sobre la carátula de la máquina.
- 8) Para nuevos ensayos deberá repetirse los pasos 1 a 7.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Society Test of Materials
Book of A.S.T.M. standards.
- 2.- Askeland, Donald R.
La Ciencia e Ingeniería de los Materiales
Primera edición (México: Mc Graw-Hill, 1987)
- 3.- Baumeister y Marks
Manual del Ingeniero Mecánico
Reimpresión Mc Graw-Hill, 1986
- 4.- Beer Ferdinand y Johnston E. Russell
Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica (tomo II)
México: Mc Graw-Hill 1990, quinta edición.
- 5.- Cunnif P.F. and Anad D.K.
Mecánica para Ingenieros, Dinámica
Edit. CECSA
- 6.- Dominguez Aguirre Norberto
Apuntes de problemas de Ingeniería
México: Facultad de Ingeniería UNAM.
- 7.- Faires, Virgil Morning
Diseño de elementos de máquinas
Primera reimpresión España: Mantaner y Simón S.A. Editora 1977.
- 8.- Fernandez Chiti Jorge
Historia de la cerámica
Argentina. Condorhuasi 1986.

- 9.- Fernandez Chiti Jorge
 Diagnosticos de materiales cerámicos
 Argentina. Condorhuasi.
- 10.- Keyser Carl
 Tecnicas de laboratorio para pruebas
 LIMUSA. 1972
- 11.- Lucchesi, Domenico
 Ensayos de los materiales metálicos
 México. Labor
- 12.- Matthes, Wolf E.
 Vidriados cerámicos
 Barcelona. Omega 1990
- 13.- Pado, Paul
 Introducción a la tecnología de la cerámica
 Barcelona. Omega.
- 14.- Padoa Leone
 La cocción de productos cerámicos
 Barcelona. Omega.
- 15.- Ramirez R. Alejandro
 Método de Diseño y su realización Tesis de licenciatura
 México. F.I. UNAM.
- 16.- Shigley, J. E.
 Diseño en Ingeniería Mecánica
 México. Mc Graw-Hill