



01149 7  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**AREA MECANICA**

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DE  
COMBUSTIBLE NUCLEAR**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN INGENIERIA**  
**P R E S E N T A :**  
**MARGARITO CARBAJAL SUAREZ**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. SAUL SANTILLAN GUTIERREZ**



**MEXICO, D.F.**



**2002**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**

**Tesis Digitales**

**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Por cada instante de nuestra vida compartida

**A mi esposa:**

**Susana García Hernández**

Con eterno cariño, para quienes me dieron la oportunidad de ser. Otra vez lo logramos!

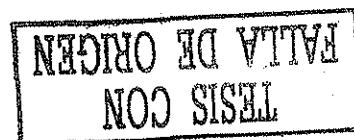
**A mis queridos padres:**

***Sr. Margarito y Sra. Audelia***

Por compartir un esfuerzo realizado

**A mis hermanos:**

***Pedro  
Gregorio<sup>†</sup>  
Jesús  
Eloy  
Teresa  
Guadalupe  
Agustina  
Yolanda***



## AGRADECIMIENTO

*Al Ing. Gabriel Castañeda Jiménez*

Va de nuevo. Ingeniero, gracias por compartir sus conocimientos e iniciativa conmigo.

Un reconocimiento especial al *Dr. Saúl Santillán Gutiérrez*

Por sus consejos y apoyo que en todo momento me brindó para la realización de este trabajo.

*Al equipo de personas del Laboratorio de Ensayos No Destructivos, por su constante apoyo.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# ÍNDICE

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción                                                      | 1  |
| Objetivos                                                         | 3  |
| Alcances                                                          | 4  |
| Contribución                                                      | 4  |
| CAPÍTULO 1 CONCEPTOS DE RADIACIÓN                                 |    |
| 1.1 Materia                                                       | 4  |
| 1.1.1 Isótopo                                                     | 6  |
| 1.1.2 Masa y energía                                              | 7  |
| 1.1.3 Estabilidad nuclear                                         | 8  |
| 1.2 Características de los diferentes tipos de radiación          | 9  |
| 1.2.1 Métodos de desintegración                                   | 9  |
| 1.2.1.1 Desintegración alfa ( $\alpha$ )                          | 10 |
| 1.2.1.2 Desintegración Gamma ( $\gamma$ )                         | 11 |
| 1.2.1.3 Desintegración Beta                                       | 11 |
| 1.2.1.3.1 Desintegración Beta Menos ( $\beta^-$ )                 | 11 |
| 1.2.1.3.2 Desintegración Beta Más ( $\beta^+$ )                   | 12 |
| 1.3 Interacción de la Irradiación con la materia                  | 12 |
| 1.3.1 Interacción de las partículas $\alpha$ con la materia       | 13 |
| 1.3.2 Interacción de las partículas $\beta$ con la materia        | 14 |
| 1.3.3 Interacción de la radiación electromagnética con la materia | 14 |
| 1.3.3.1 Efecto fotoeléctrico                                      | 15 |
| 1.3.3.2 Efecto Compton                                            | 15 |
| 1.3.3.3 Producción de pares                                       | 16 |
| 1.4 Neutrones                                                     | 17 |
| 1.4.1 Clasificación según su energía                              | 17 |
| 1.5 Actividad                                                     | 18 |
| 1.5.1 Constante de decaimiento ( $\lambda$ )                      | 19 |
| 1.5.2 Ley exponencial de decaimiento radiactivo                   | 19 |
| 1.6 Detección de la radiación                                     | 20 |
| 1.6.1 Detectores por ionización de gas                            | 21 |
| 1.6.2 Detectores de centelleo                                     | 22 |
| 1.7 Magnitudes y unidades                                         | 23 |
| 1.7.1 Exposición                                                  | 23 |
| 1.7.1.1 Rapidez de exposición ( $x$ )                             | 24 |
| 1.7.2 Dosis absorbida (D)                                         | 24 |
| 1.7.3 Dosis equivalente (H)                                       | 25 |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO 2 INSTALACIONES

|       |                                                      |    |
|-------|------------------------------------------------------|----|
| 2.1   | Características generales del reactor Triga Mark III | 27 |
| 2.1.1 | Aplicaciones e instalaciones                         | 27 |
| 2.1.2 | Medidas                                              | 27 |
| 2.1.3 | Rapidez de exposición                                | 28 |
| 2.1.4 | Núcleo                                               | 29 |
| 2.1.5 | Elementos combustibles                               | 30 |
| 2.2   | Descripción de instalaciones de irradiación          | 31 |
| 2.2.1 | Columna térmica                                      | 31 |
| 2.2.2 | Puertos de haces radiales                            | 32 |
| 2.2.3 | Puertos de haces tangenciales                        | 32 |
| 2.2.4 | Cuarto de exposición                                 | 32 |
| 2.2.5 | Sistema rotatorio                                    | 33 |
| 2.2.6 | Sistema fijo                                         | 33 |
| 2.2.7 | Sistema neumático                                    | 33 |
| 2.3   | Celdas calientes                                     | 34 |

## CAPÍTULO 3 DISEÑO CONCEPTUAL

|         |                                                             |    |
|---------|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.1     | Planteamiento de la necesidad                               | 36 |
| 3.2     | Especificaciones                                            | 37 |
| 3.2.1   | Especificaciones de componentes del proceso de traslado     | 38 |
| 3.2.1.1 | Especificaciones del elemento combustible                   | 38 |
| 3.2.1.2 | Especificaciones del blindaje para trasladar combustibles   | 39 |
| 3.2.1.3 | Especificaciones de grúa viajera                            | 39 |
| 3.2.1.4 | Especificaciones de grúa en celdas calientes                | 40 |
| 3.2.1.5 | Especificaciones del manipulador de celdas calientes        | 40 |
| 3.2.2   | Especificaciones de la herramienta para manejar combustible | 40 |
| 3.2.2.1 | Descripción de especificaciones de diseño                   | 41 |
| 3.3     | Diseño conceptual                                           | 43 |
| 3.3.1   | Generación de opciones de solución                          | 43 |
| 3.3.2   | Evaluación y selección de alternativas de solución          | 45 |
| 3.3.3   | Conceptualización de la herramienta                         | 48 |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO 4 DISEÑO DE DETALLE

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 4.1 Sistema de sujeción del combustible            | 53 |
| 4.1.1 Descripción de piezas fabricadas             | 55 |
| 4.1.2 Descripción de piezas de adquisición         | 60 |
| 4.2 Asegurar sujeción                              | 63 |
| 4.2.1 Desplazar el sistema de sujeción             | 64 |
| 4.3 Acoplar al sistema de traslado                 | 66 |
| 4.3.1 Tapón de la herramienta                      | 67 |
| 4.3.2 Forma de acoplamiento al sistema de traslado | 68 |

## CAPÍTULO 5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 5.1 Descripción de la herramienta                        | 70 |
| 5.2 Pruebas                                              | 73 |
| 5.2.1 Desarrollo experimental                            | 74 |
| 5.2.2 Niveles de rapidez de exposición                   | 78 |
| 5.2.2.1 Rapidez de exposición en tapón de la herramienta | 78 |
| 5.2.2.2 Rapidez de exposición del combustible            | 80 |

## CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 6.1 Análisis de resultados                                    | 84 |
| 6.1.1 Especificaciones propuestas contra resultados obtenidos | 86 |
| 6.2 Conclusiones                                              | 87 |

|             |    |
|-------------|----|
| REFERENCIAS | 89 |
|-------------|----|

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| APÉNDICE I TABLAS DE DISEÑO | 92 |
|-----------------------------|----|

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| APÉNDICE II PLANOS DE LA HERRAMIENTA | 100 |
|--------------------------------------|-----|



## INTRODUCCIÓN

Este proyecto de tesis se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares "Dr. Nabor Carrillo Flores" en el Departamento del Reactor, con la colaboración del Centro de Diseño y Manufactura de la UNAM y bajo la asesoría del Dr. Saúl Daniel Santillán Gutiérrez. El presente trabajo está dividido en 6 capítulos. En el capítulo 1 a manera de antecedentes, se describe en forma general lo que es la radiación, como se produce y además como se detecta, así como también las unidades que se utilizan para cuantificarla.

En el capítulo 2 se habla sobre algunas cuestiones y consideraciones que se hicieron antes de iniciar el diseño de la herramienta para manejar combustible nuclear como son: conocer las instalaciones del Reactor Nuclear de Investigación Triga Mark III, así como el equipo con el que cuenta. Todo esto con la única finalidad de diseñar la herramienta que más se adecue a sus necesidades.

El capítulo 3 se inicia planteando la necesidad que se tiene en el Departamento del Reactor, así como las especificaciones y consideraciones de diseño. Posteriormente, se presenta la generación de opciones de solución, para a continuación hacer la evaluación y selección de alternativas de solución.

Consecuentemente en el capítulo 4 se presentan las alternativas de solución tomadas para la construcción de la herramienta así como las piezas que forman ésta. Se hace una descripción detallada de las piezas y componentes comerciales incluyendo el tipo de materiales utilizados para su fabricación, tolerancias, acabados superficiales, dimensiones, etc.

En el capítulo 5 se hace una descripción de la herramienta; así como también del procedimiento de manejo de combustibles irradiados de la piscina del reactor a celdas calientes con dicha herramienta diseñada.

Para finalmente, en el capítulo 6, analizar los resultados obtenidos y proponer las conclusiones generales del presente trabajo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Diseño, fabricación y puesta en marcha de una herramienta para el manejo de combustible nuclear, la cual será utilizada como un dispositivo auxiliar para la trasportación y manipulación de combustibles irradiados.

### **Objetivos particulares:**

- Diseñar la herramienta en función de las especificaciones planteadas por el Departamento del Rector del Instituto.
- Supervisar la construcción de todos los componentes diseñados y adquirir las partes comerciales que pudiera requiera la herramienta.
- Diseñar de tal manera que la fabricación de las piezas no requiera maquinaria de gran precisión.
- Los materiales para la elaboración de la herramienta deben ser económicos y fáciles de adquirir en el mercado, sin que el proyecto pierda calidad.

## **ALCANCES**

Para la realización del proyecto de la herramienta, se propuso al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares entregarle un prototipo de una herramienta para manejar combustible nuclear que cumpliera con las especificaciones planteadas por El Departamento del Reactor. Además de presentar la puesta en marcha y planos de construcción.

## **CONTRIBUCIÓN**

Es importante mencionar que con la realización de este proyecto se contribuye al desarrollo de tecnología nacional ya que normalmente el proveedor de herramienta e instrumentos del reactor Triga Mark III es General Atomic de San Diego California E.U.A.

# ***CAPÍTULO 1***

## ***CONCEPTOS DE RADIACIÓN***

Se atribuye la hipótesis atómica a los antiguos filósofos griegos que especularon sobre los misterios de la naturaleza. En el siglo quinto antes de Cristo, Demócrito creyó que las sustancias elementales (tierra, agua, fuego y aire) estaban formadas por pequeñas partículas indivisibles llamadas átomos (del griego a=sin, tomo=división). Se tomó esta vaga teoría filosófica como un hecho hasta que John Dalton, entre 1803 y 1808 mostró como determinar las masas (peso atómico) entre diferentes átomos.

En 1816 William Prout creyó (basado en los pocos pesos atómicos que se conocían) que los pesos atómicos eran números enteros y múltiplos del peso atómico del hidrógeno. Pensó que se podían construir los pesos atómicos de todos los elementos basados en el peso atómico del hidrógeno. Su concepto perdió valor cuando se mostró que elementos, como el cloro, tienen un peso atómico de 35.453. De aquí en adelante se empiezan a construir las tablas de elementos, se estudia más sobre el átomo sufriendo modificaciones a su paso hasta llegar al modelo de Neils Bohr en 1913, continuando hasta llegar a lo que se conoce como teoría cuántica.

## 1.1 Materia

La materia está constituida por partículas llamadas átomos; éstos son eléctricamente neutros y poseen un núcleo donde está concentrada la mayor parte de la masa. El núcleo está formado por protones y neutrones; la carga del núcleo es positiva y se debe únicamente a los protones ya que los neutrones no poseen carga eléctrica. La carga necesaria para neutralizar el átomo la proporcionan los electrones, de masa mucho menor que la del protón, pero de carga eléctrica de la misma magnitud y de signo opuesto. Un átomo neutro, por lo tanto, consiste de número determinado de protones y del mismo número de electrones. Cuando el átomo pierde uno o más electrones queda cargado positivamente y es llamado ion.

### 1.1.1 Isótopo

En física nuclear en ocasiones es necesario referirse a un núcleo más que a un elemento en general, debido a que al hablar de éste nos estamos refiriendo a una familia de átomos que tienen el mismo número de protones pero el número de neutrones puede variar. Por ejemplo al hablar del hidrógeno nos referimos a una familia compuesta por tres tipos de átomos cuya característica común es la de tener un protón en su núcleo, pero el primer tipo, llamado protio, no tiene ningún neutrón, el segundo tiene un protón y un neutrón y se llama deuterio mientras que el tercero, el tritio tiene un protón y dos neutrones. En este caso, a cada miembro de la familia se le llama isótopo. Los isótopos por lo tanto son átomos que tienen el mismo número atómico pero diferente número de neutrones, es decir, son del mismo elemento químico.

Cuando se desea hablar de un átomo o núcleo específico, es decir cualquier núcleo con un número específico de protones y neutrones, que de aquí en adelante denominaremos como núclido, se utilizara una notación sencilla como sigue:



donde:

E, representa el símbolo químico del elemento al cual pertenece el núclido.

Z, es el número de protones llamado número atómico (número de carga).

N, es el número de neutrones.

A, es el número de masa igual a la suma de neutrones y protones.

Como los neutrones y protones se encuentran en el núcleo se acostumbra llamarlos nucleones, por lo tanto A es el número de nucleones.

### 1.1.2 Masa y Energía

De acuerdo con la teoría de la relatividad de Einstein se sabe que existe una equivalencia entre masa y energía dada por la ecuación siguiente:

$$E = mc^2$$

Donde E es la energía total contenida en un sistema de masa m y c es la velocidad de la luz, es decir  $c = 2.999792 \times 10^{10}$  cm/s. Al hablar entonces de la masa de un núcleo nos podemos referir también a su energía equivalente; así, si se tiene una unidad de masa atómica tenemos lo siguiente:

$$m = 1 \text{ uma} = 1.660565 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$c = 2.999792 \times 10^{10} \text{ cm/s}$$

y la energía equivalente es:

$$E = (1.660565 \times 10^{-24} \text{ g})(2.999792 \times 10^{10} \text{ cm/s})^2$$

$$E = 1.492 \times 10^{-3} \text{ erg}$$

En el campo de la energía nuclear es utilizada otra unidad de energía llamada electron-volt (eV), definida como la cantidad de energía necesaria para transportar un electrón a través de una diferencia de potencial de un volt. De acuerdo con esto se obtiene que:

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-12} \text{ erg}$$
$$E = 1.492 \times 10^{-3} \text{ erg} = 931.5 \text{ MeV}$$

### **1.1.3 Estabilidad Nuclear**

Los átomos se mantienen íntegros porque existen fuerzas de atracción de corto alcance, llamadas fuerzas nucleares, que se ejercen entre protones, entre neutrones y entre neutrones y protones.

Para que el núcleo se mantenga en estado estable es necesario que las fuerzas nucleares estén en equilibrio con las fuerzas eléctricas. Si esto no sucede entonces el núcleo se encuentra en estado excitado (inestable) y tiende a buscar su estabilidad emitiendo energía por medio de algún mecanismo. Esta energía consiste en la emisión de partículas de algún tipo dependiendo del núcleo.

La radiación, se define como, el fenómeno de emisión espontánea de partículas desde un núcleo atómico que se encuentra en estado excitado y busca por este medio llegar a su estado estable.

## 1.2 Características de los diferentes tipos de radiación

Existen tres tipos de radiación emitidas por sustancias radiactivas, a las cuales se les asignaron los nombres arbitrarios de radiación  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . La radiación  $\alpha$  es detenida por una hoja de papel o por algunos decímetros de aire, produciendo una ionización alta de los átomos o moléculas del material en que se inciden, se ha identificado como núcleos de helio y son emitidos con energías típicas del orden de 5 MeV. La radiación  $\beta$  requiere varias hojas de aluminio o varios metros de aire para ser detenida por completo, y su poder de ionización es intermedio. La radiación  $\beta$  se ha identificado como electrones y sus energías son del orden de 1 MeV.

En contraste, la radiación  $\gamma$  es la más penetrante y para detenerla se necesitan gruesas paredes de concreto o acero, y produce una ionización relativamente baja. La radiación  $\gamma$  son radiaciones electromagnéticas de la misma naturaleza que la luz visible y los rayos X. La radiación  $\gamma$  emitida por sustancias radiactivas tiene energías del orden 1 MeV en comparación con energías del orden de 1 eV y de 1 KeV de la luz visible y de los rayos X respectivamente.

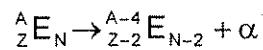
### 1.2.1 Métodos de desintegración

La emisión de radiaciones por sustancias radiactivas es solamente un aspecto del proceso de desintegración radiactiva. El proceso involucra el cambio o transmutación de los núcleos de la sustancia radiactiva al emitir las radiaciones. A continuación se estudian los diferentes modos de desintegración que se han observado en sustancias radiactivas.

La radiación, se define como, el fenómeno de emisión espontánea de partículas desde un núcleo atómico que se encuentra en estado excitado y busca por este medio llegar a su estado estable.

### 1.2.1.1 Desintegración Alfa ( $\alpha$ )

Como la radiación alfa está formada por núcleos de  ${}^4_2\text{He}_2$  los cuales tienen dos protones y dos neutrones, entonces el núcleo producto tiene dos neutrones menos que el núcleo que sufre este tipo de desintegración.



Obviamente, el elemento de esta desintegración es diferente en sus propiedades de carga y masa que el elemento que le dio origen. Ver figura 1.1.

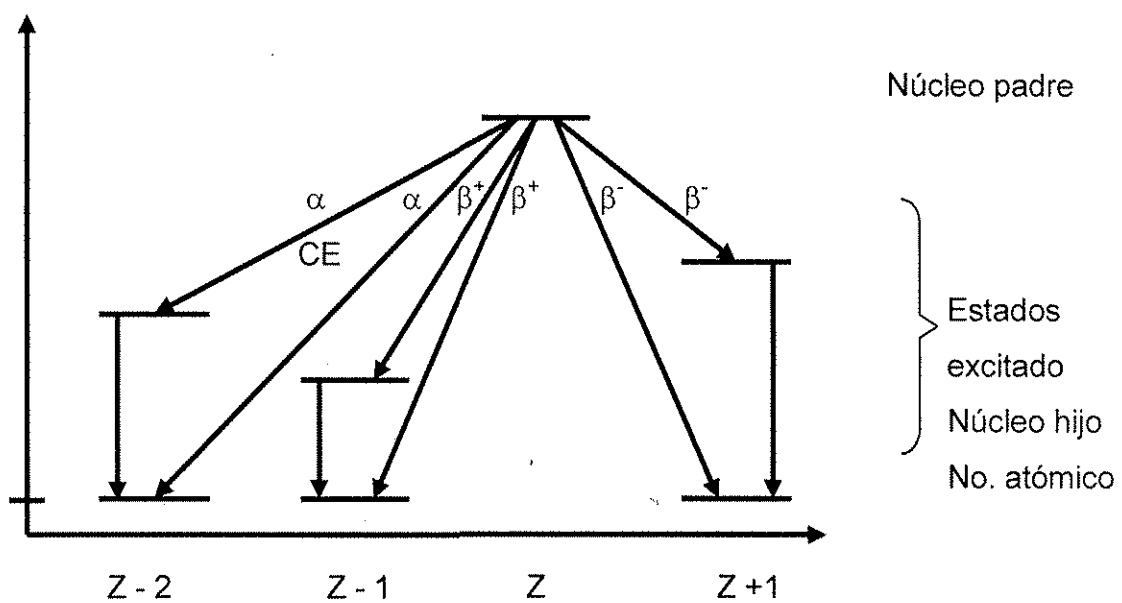
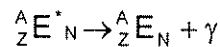


Figura 1.1 Electrónica general de desintegración, donde CE es la captura electrónica

### 1.2.1.2 Desintegración Gamma ( $\gamma$ )

Como la radiación  $\gamma$  carece de carga y de masa en reposo, los núcleos que la emiten y los núcleos resultantes tienen los mismos números de carga y de masa, por lo tanto son núcleos isómeros. De hecho estamos en presencia de dos estados diferentes de un mismo núcleo, uno con exceso de energía con respecto al otro. La desintegración  $\gamma$  correspondiente se escribe:



Donde:

$E^*$  = Núcleo original

$E$  = Núcleo hijo

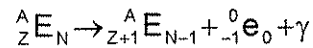
### 1.2.1.3 Desintegración Beta

Existen dos modos diferentes de decaimiento beta, el primero de los cuales se descubrió en las sustancias radiactivas naturales y el segundo se conoció por primera vez en sustancias radiactivas artificiales.

#### 1.2.1.3.1 Desintegración Beta Menos ( $\beta^-$ )

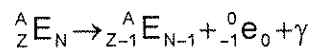
Como la radiación  $\beta^-$  está formada por electrones ordinarios cuya carga es  $-e$  y cuya masa es mucho menor que la de los núcleos, resulta que el núcleo producto tiene un número de carga mayor en una unidad y un número de masa igual que el número correspondiente del núcleo que sufre este tipo de desintegración. Ambos núcleos corresponden a elementos diferentes.

Entonces el esquema de desintegración es el siguiente:



### 1.2.1.3.1 Desintegración Beta Más ( $\beta^+$ )

La radiación ( $\beta^+$ ), está formada por positrones, o electrones positivos, que son partículas con carga  $+e$  y masa igual a la de los electrones ordinarios. En consecuencia, el núcleo producto de una desintegración  $\beta^+$  tiene un número de carga una unidad menor y un número de masa igual que los números correspondientes del núcleo original. Nuevamente, ambos núcleos corresponden a elementos diferentes. Por lo tanto, el esquema de desintegración es el siguiente:



## 1.3 Interacción de la radiación con la materia

En el estudio de la radiactividad se identificaron tres tipos de radiación,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  de acuerdo con sus poderes crecientes de penetración en la materia. Las radiaciones  $\alpha$  y  $\gamma$  son emitidas monoenergéticamente y la radiación  $\beta$  es emitida en un continuo de energías, de cero a un valor máximo. De las partículas cargadas conviene hacer notar la gran diferencia entre las masas de los rayos  $\alpha$  y de los rayos  $\beta$ . Las diferencias en propiedades de carga, masa, energía, etc.; de estas radiaciones, da lugar también a diferencias en sus comportamientos al penetrar en la materia.

Por otra parte, estas radiaciones tienen la propiedad común de producir excitaciones ionizantes y atómicas en la materia que penetran.

Para comprender los diferentes comportamientos de las radiaciones ionizantes en su paso a través de la materia, es conveniente distinguir las partículas cargadas pesadas, las partículas ligeras y la radiación electromagnética.

La naturaleza diferente de estas radiaciones se refleja, desde luego, en sus diferentes poderes de penetración en la materia. Más concretamente, podemos considerar sus correspondientes espectros de absorción o distribución del número de radiaciones que llegan a atravesar un cierto absorbedor, en función del espectro del material.

### **1.3.1 Interacción de las partículas $\alpha$ con la materia**

La radiación  $\alpha$ , emitida durante el decaimiento de núclidos, es expulsada con energías comprendidas en un rango de 2 a 8 MeV, dependiendo del núclido. Debido a su gran masa (mayor de 4 uma) y a su carga relativamente grande, es una partícula que sufre fuertes interacciones con la materia y una capa de aire relativamente delgada o una de papel es capaz de detener y absorber casi totalmente este tipo de radiación. El poder de penetración de la radiación  $\alpha$  es inferior al de la  $\beta$  y éste, inferior al de la  $\gamma$ .

La partícula, al moverse más lentamente pasa mayor tiempo en los alrededores de los átomos, aumentando así la probabilidad de que los ionice. Comparando el poder de ionización de las partículas  $\alpha$ , es mayor que el de la  $\beta$  y que los fotones  $\gamma$ .

La ionización se produce por la atracción coulombica entre la carga positiva de las partículas  $\alpha$  y los electrones orbitales de los átomos vecinos, arrancándolos y produciendo un par de iones. Al interaccionar en esta forma, la  $\alpha$  va perdiendo energía gradualmente, disminuyendo su velocidad; debido a esto pasa cada vez mayor tiempo cerca de los átomos y produciendo mayor número de ionizaciones. En esta forma, llega un momento en que su velocidad ha disminuido hasta ser prácticamente cero, captura dos electrones y se convierte en un átomo de  $^4\text{He}$ .

### 1.3.2 Interacción de las partículas $\beta$ con la materia

Las partículas  $\beta$  tienen la mitad de carga que las  $\alpha$  y una masa menor. También producen ionización al interactuar con los electrones de otros átomos, repeliéndolos y frecuentemente arrancándolos de su órbita. Debido a esto las  $\beta$  van perdiendo energía cambiando su velocidad y su dirección. La trayectoria seguida es muy irregular, si el espesor del material es lo suficientemente grande, la partícula  $\beta$  no saldrá de él.

A diferencia del caso de las partículas  $\alpha$ , en el que todas las partículas recorren aproximadamente la misma distancia en el absorbedor y es posible definir un alcance para ellas, en el caso de la radiación  $\beta$  una cierta proporción de ellas es absorbida por completo para cada espesor y sólo es posible definir un alcance máximo.

### 1.3.3 Interacción de la radiación electromagnética con la materia

En el caso de la radiación electromagnética, como los rayos X o rayos  $\gamma$ , que son fotones que no tiene carga ni masa; y en los cuales se observan una ley de absorción exponencial, es decir, para un cierto espesor adicional de absorbedor, la intensidad de la radiación se reduce a la mitad de su valor inicial; el espesor correspondiente  $X_{1/2}$  se llama capa hemirreductora, donde X es el espesor del material absorbedor.

Los procesos principales de interacción de la radiación gamma con la materia son: efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares, los cuales se describen a continuación.

### 1.3.3.1 Efecto Fotoeléctrico

En el efecto fotoeléctrico el rayo  $\gamma$  o X incidente sobre un átomo, transfiere toda su energía a uno de los electrones fuertemente ligados al átomo expulsándolo del mismo, tal como se muestra en la figura 1.2.

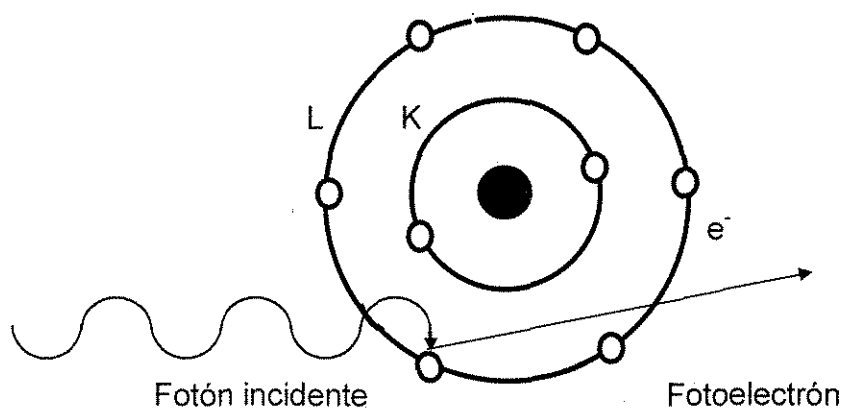


Figura 1.2 Representación esquemática del efecto fotoeléctrico

### 1.3.3.2 Efecto Compton

Consideremos un electrón poco ligado a un átomo o un electrón prácticamente libre, sobre el cual incide un rayo  $\gamma$  o X. En este caso el electrón dispersa la radiación y observamos como resultado que el electrón adquiere parte de la energía de la gamma incidente y sale como electrón Compton, el resto de la energía incidente se dispersa, como se representa esquemáticamente en la figura 1.3.

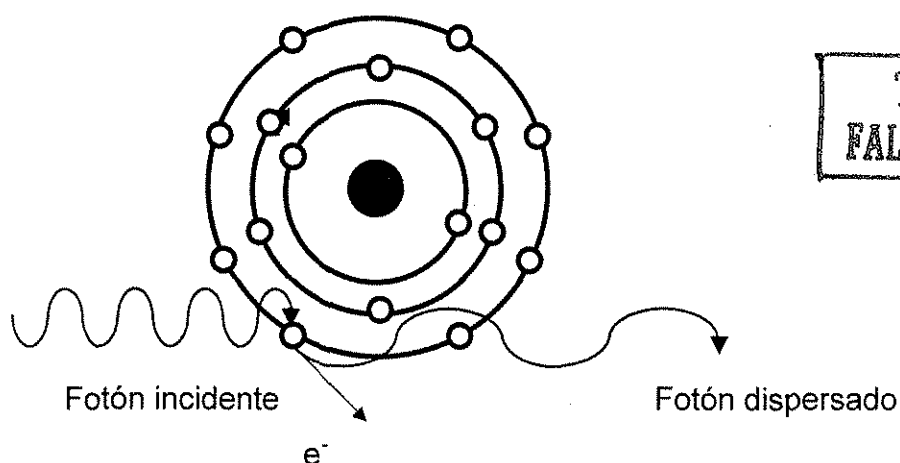


Figura 1.3 Representación esquemática del efecto Compton

### 1.3.3.3 Producción de Pares

Cuando la energía de la radiación  $\gamma$  es mayor a 1.022 MeV, puede ocurrir el proceso de creación de un par-electrón. Para satisfacer la conservación de energía y cantidad de movimiento, proceso tiene que ocurrir en presencia de un átomo. En tal proceso el rayo  $\gamma$  se transforma, dando lugar a la creación de un electrón y de un positrón. Esto se puede observar en la figura 1.4.

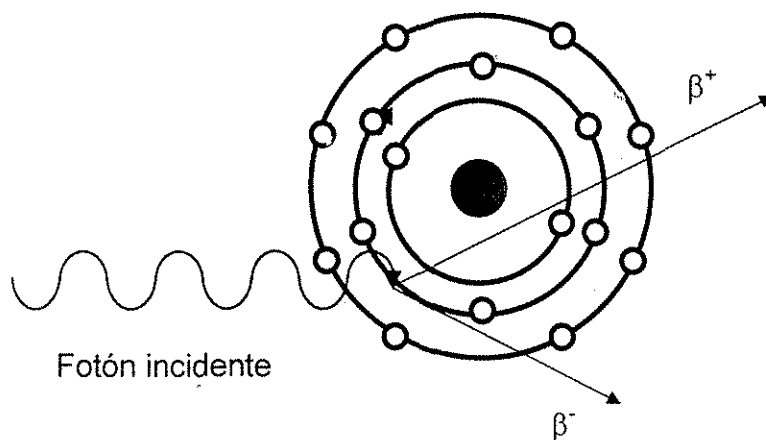
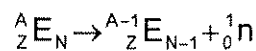


Figura 1.4 Representación esquemática de la producción de un par

## 1.4 Neutrones

Los neutrones son partículas subatómicas con carga eléctrica neta igual a cero y su masa es aproximadamente igual a 1 uma. Existen algunos núcleos que decaen emitiendo neutrones por lo que su número de masa disminuye en una unidad por cada neutrón emitido pero su número atómico no cambia, es decir, este tipo de radiación se presenta en pocos casos y se pueden representar por medio de la reacción siguiente:



El hecho de que el neutrón carezca de carga eléctrica hace que su comportamiento al penetrar en la materia sea muy diferente a los comportamientos de partículas cargadas y de radiación electromagnética.

### 1.4.1 Clasificación según su energía

Los neutrones interaccionan con los átomos del material en que penetran, de acuerdo con diferentes mecanismos que dependen de la energía cinética de los neutrones y del tipo de núcleos del material. Conviene entonces clasificar a los neutrones según su energía cinética:

|              |                  |
|--------------|------------------|
| Alta energía | 10 MeV           |
| Rápidos      | 10 KeV – 10 MeV  |
| Intermedios  | 100 eV – 10 KeV  |
| Lentos       | 0.03 eV – 10 KeV |

A medida que los neutrones atraviesan un material, ellos pierden energía en una serie de colisiones y eventualmente alcanzan el equilibrio térmico en el medio. Cuando se

habla de neutrones térmicos, se trata de neutrones en equilibrio a temperaturas ordinarias.

## 1.5 Actividad

La actividad se debe relacionar con el tiempo ya que es de suma importancia saber si una cierta cantidad de núcleos radiactivos se desintegran en un segundo, en un período de años a lo hace en un período de miles de años.

Cuando relacionamos el número de desintegraciones que ocurren en un cierto período de tiempo estamos llegando a un nuevo concepto que llamaremos actividad, es decir, la actividad de una muestra es el número de desintegraciones que ocurren en la misma por unidad de tiempo. Si la muestra de material contiene núcleos estables además de radionucléidos, la actividad es únicamente debida a desechos radionucléidos ya que los estables no tienen ninguna actividad y su presencia no afecta en este aspecto.

La actividad no es afectada por los agentes físicos o químicos comunes como cambios de temperatura o de presión. La definición matemática esta dada por:

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (1.1)$$

Esta ecuación es la derivada de N (número de radionucléidos) con respecto a t (tiempo); se debe de entender como la velocidad de desintegración donde el signo negativo nos indica que el número de radionucléidos que va disminuyendo con el transcurso del tiempo, también la actividad decrece proporcionalmente.

Puesto que la actividad es el número de desintegraciones que ocurren con respecto al tiempo. La unidad empleada ampliamente en la actividad es el Curi cuyo símbolo es

Ci. La definición de Curi se basó en el número de desintegraciones por segundo que experimento una muestra de 1 gramo del isótopo 226 del Radio,  $^{226}\text{Ra}$ , que es de  $3,70 \times 10^{10}$  desintegraciones entre segundo. Dentro del sistema internacional de unidades se ha definido el Becquerel, símbolo Bq, igual a 1 desintegración entre segundo.

### 1.5.1 Constante de Decaimiento ( $\lambda$ )

La actividad de una muestra radiactiva es directamente proporcional al número de radionucléidos contenidos en la misma, es decir:

$$A = \lambda \times N \quad (1.2)$$

Donde  $\lambda$  es la constante de proporcionalidad llamada constante de decaimiento y corresponde a la fracción del número de radionucléidos presentes en la muestra en cualquier instante que se desintegran en la unidad de tiempo. Esta constante de decaimiento es característica de cada tipo de radionucléido y su valor no se ve afectado por el estado físico de la muestra; su unidades es  $\text{s}^{-1}$ .

### 1.5.2 Ley Exponencial de Decaimiento Radiactivo

La forma en que varía la actividad de una muestra con respecto al tiempo es lo que se llama ley de decaimiento radiactivo y es una variación de tipo exponencial, como se muestra a continuación.

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad (1.3)$$

donde:

A, Actividad final

$A_0$ , Actividad inicial

$\lambda$ , constante de decaimiento

t, tiempo

El intervalo de tiempo que tiene que transcurrir para que la actividad se reduzca en una cierta proporción depende del radionucléido y es una característica del mismo. El intervalo de tiempo más usado se llama vida media o período de semidesintegración y corresponde al tiempo necesario para que la actividad se reduzca a la mitad del valor inicial de su actividad, ver la figura 1.5. El símbolo que se usa convencionalmente para representar la vida media es:  $T_{1/2}$ .

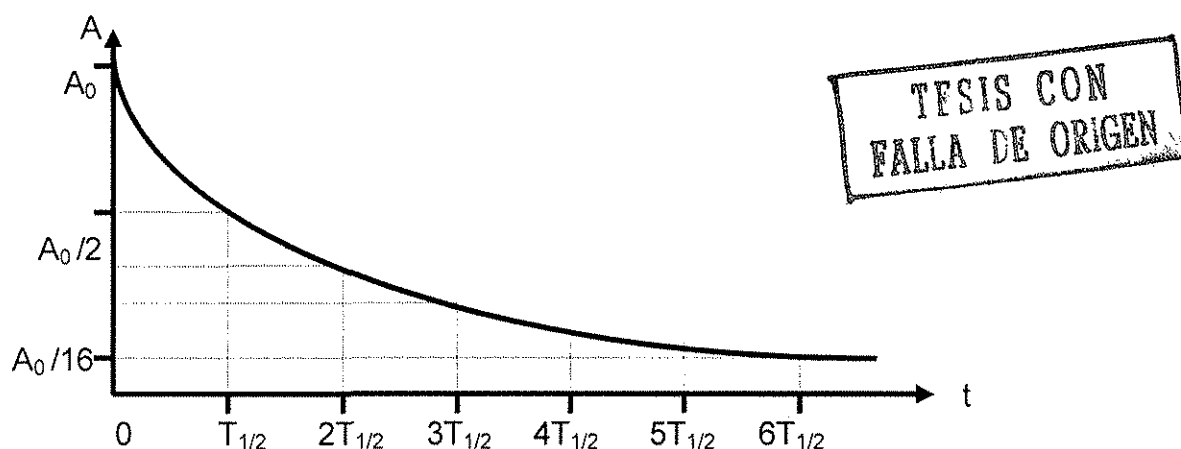


Figura 1.5 Comportamiento de la actividad respecto al tiempo, decrecimiento exponencial y vida media

La relación que existe entre la vida media ( $T_{1/2}$ ) y la constante de decaimiento  $\lambda$  es:

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (1.4)$$

## 1.6 Detección de la Radiación

La radiación emitida por una sustancia radiactiva no es percibida por los sentidos humanos. La detección de la radiación se basa en el efecto que produce dicha radiación sobre la materia con la que interacciona.

Los métodos de detección más empleados se basan en el uso de ionización de gas y centelladores.

### **1.6.1 Detectores por Ionización de Gas**

El paso de un fotón, neutrón o partícula cargada a través de la materia, saca un electrón de un átomo neutro o molécula de la materia, dando lugar a la formación de un par de iones, el cual está compuesto de electrones libres y átomos o moléculas residuales. Las partículas cargadas como las alfa y las beta, producen pares de iones en forma directa. Los fotones producen pares de iones por acción directa a través de tres efectos principales (Compton, fotoeléctrico y creación de pares).

Los neutrones producen pares de iones por acción indirecta, ya que no tienen carga eléctrica, el proceso por el cual interacciona con la materia produce partículas cargadas, las cuales a su vez forman pares de iones.

Uno de los sistemas más comúnmente empleados en la detección de la radiación nuclear se basa en la recolección de los iones que produce la radiación al interaccionar con la materia. El dispositivo adecuado para coleccionar los iones es bastante sencillo en su diseño, basta con disponer de dos electrodos cargados para que los iones se dirijan a ellos y sean colectados, particularmente cuando se utiliza un gas como medio de interacción. Se puede emplear un sencillo arreglo de dos placas paralelas o electrodos a través de los cuales se aplica una diferencia de potencial a dos cilindros coaxiales, uno de ellos puede ser simplemente un alambre delgado o filamento, separado del cilindro exterior por un aislante eficiente, como se muestra en la figura 1.6.

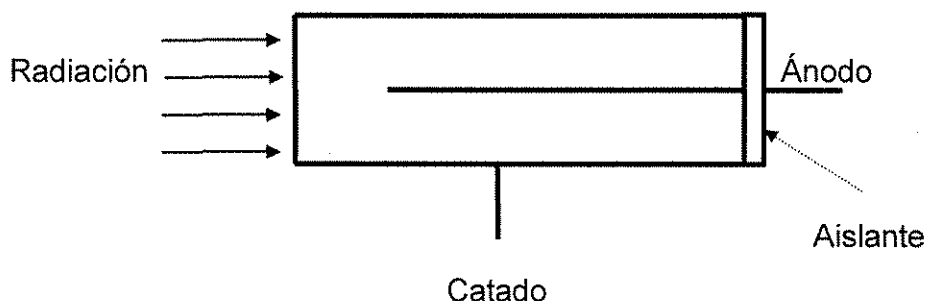


Figura 1.6 Esquema de un detector por ionización de gas

### 1.6.2 Detectores de Centelleo

Este método de detección se basa en los destellos luminosos producidos por la radiación nuclear en ciertos materiales. La absorción de energía por una sustancia y su remisión como luz visible o cercana a la visible, se conoce como luminiscencia. El centelleo que produce la radiación nuclear se debe a ionización y excitación.

El tubo fotomultiplicador es un cilindro de vidrio que contiene en un extremo una placa sensible a la luz (fotocátodo), generalmente formado por capas alternas de antimonio y cesio, que emite electrones cuando recibe radiación luminosa (efecto fotoeléctrico). Los electrones desprendidos del cátodo viajan hacia el primer dínodo impulsados por la diferencia de potencial aplicada entre éste y el cátodo (300 V aproximadamente); esto les proporciona energía suficiente como para que al llegar al primer dínodo sean capaces de arrancar 2 ó 3 electrones por cada electrón incidente. Ya que el siguiente dínodo tiene un potencial mayor que el anterior, el proceso se repite produciendo una multiplicación de electrones, de manera que al ánodo llega multiplicado el número de electrones para cada electrón inicial, como se muestra en la figura 1.7. La corriente formada por los electrones da lugar a una caída del potencial del ánodo, lo que constituye un pulso.

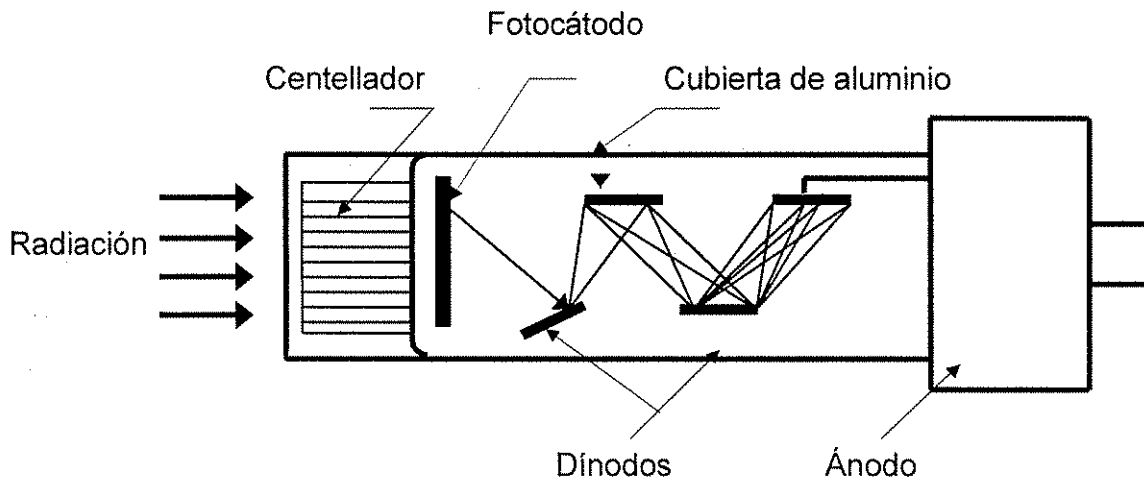


Figura 1.7 Diagrama de un tubo fotomultiplicador

Los detectores nucleares entregan pulsos de corriente al ser excitados por la radiación. Tales pulsos son recibidos por circuitos electrónicos encargados de acondicionarlos, medirlos y analizarlos, para proporcionar datos relativos a la intensidad, energía y algunas otras características de la radiación detectada.

## 1.7 Magnitudes y Unidades

La radiación ionizante transfiere energía al medio con el que interactúa, produciendo ionización. La ionización de un gas permite determinar los niveles de radiación; sobre la base de este fenómeno se han definido varias magnitudes y unidades usadas en protección radiológica, algunas de las cuales se presentan a continuación.

### 1.7.1 Exposición

La exposición  $X$ , es la cantidad de carga eléctrica que la radiación electromagnética forma o produce en una unidad de masa de aire y sus unidades son el Röentgen (R). El Röentgen se define como la cantidad de radiación electromagnética que en  $1 \text{ cm}^3$

de aire seco en condiciones normales de presión y temperatura, producen una unidad electrostática de carga.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (1.5)$$

Donde  $\Delta Q$  es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producido en el aire, cuando todos los electrones liberados por los fotones en una masa de aire  $\Delta m$  se frenan completamente en una masa de aire.

#### 1.7.1.1 Rapidez de Exposición ( $\dot{X}$ )

La rapidez de exposición ( $\dot{X}$ ) se entiende como la rapidez con la que la radiación electromagnética produce cargas en el aire y es el cociente de  $\Delta X$  entre  $\Delta t$ , y su unidad es  $C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ ;

$$\dot{X} = \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (1.6)$$

#### 1.7.2 Dosis Absorbida (D)

La dosis absorbida,  $D$ , es la cantidad de energía que absorbe un material al ser expuesto a la radiación. La unidad para la dosis es el Rad definida como la cantidad de cualquier radiación que deposite 100 erg de energía en un gramo de cualquier material. Actualmente se está empleando la unidad del Sistema Internacional de Unidades llamada Gray cuyo símbolo es Gy y equivale a 100 rad.

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad (1.7)$$

Donde  $\Delta E$  es la energía promedio depositada por la radiación ionizante en una porción de materia de masa  $\Delta m$ .

### 1.7.3 Dosis Equivalente (H)

La dosis absorbida es insuficiente para predecir la severidad o la probabilidad del efecto bajo condiciones no especificadas; por ello se ha introducido otra cantidad que interrelaciona la dosis absorbida con los efectos más importantes. Esta cantidad se denomina Dosis Equivalente, H. La unidad especial de dosis equivalente es el rem, actualmente se está empleando la unidad del Sistema Internacional de Unidades llamado Sievert, cuyo símbolo es Sv y es equivalente a 100 rem, y donde se define como:

$$H = D \times (FC) \quad (1.8)$$

Donde D, es la dosis absorbida y FC (es el factor de calidad que representa el daño que cualquier tipo de radiación causa con relación al daño causado por la radiación gamma).

## ***CAPÍTULO 2***

### ***INSTALACIONES***

Ya que el proyecto de diseño de una herramienta para manejar combustible nuclear se realizó en el Reactor Triga Mark III del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, es muy importante plantearse algunas consideraciones antes de iniciar el diseño de la herramienta. En el transcurso de este capítulo se hablará sobre las características e instalaciones que tiene el reactor Triga-Mark III, esto con el propósito de diseñar la herramienta que más se adecue a sus necesidades, restricciones y requerimientos.

## **2.1 Características generales del reactor Triga-Mark III**

### **2.1.1 Aplicaciones e instalaciones**

El Reactor TRIGA MARK III, es un reactor seguro, diseñado para la investigación en el campo nuclear, así como para la producción de radioisótopos y entrenamiento de personal. El reactor opera rutinariamente en estado estacionario a niveles de potencia térmica de hasta 1000 kw, y tiene la capacidad de ser pulsado repetitivamente hasta una potencia pico de 1825 kw.

El reactor cuenta con instalaciones (ver figura 2.1) para realizar estudios con radiación gamma y neutrones, pruebas de efectos de la radiación en grandes volúmenes y activación de muestras. Estas instalaciones incluyen puertos de haces radiales y transversales, columna térmica horizontal con espacio para experimentación y puerta de blindaje de concreto de alta densidad, columna térmica vertical, dos instalaciones de producción de radioisótopos que rodean al núcleo; sistema rotatorio de cápsulas (SIRCA) y sistema fijo (SIFCA), un sistema de transferencia neumático (SINCA), instalaciones para irradiaciones dentro de la misma y un cuarto de exposición en seco para altos niveles de radiación.

### **2.1.2 Medidas**

La piscina del reactor e instalaciones experimentales están rodeadas por una estructura de blindaje de concreto que se eleva hasta 7.90 m sobre el piso del cuarto del reactor, la estructura en su conjunto ocupa un área de 9.80 m de ancho por 17.40 m de largo, en la parte superior del blindaje del reactor existe una plataforma de circulación rodeada por un barandal metálico.

El núcleo del reactor es operado cerca del fondo de la piscina y está suspendido de un puente móvil que viaja en sentido longitudinal de la misma, la piscina tiene 7.60 m de longitud, 3.0 m de ancho y 7.90 m de profundidad.

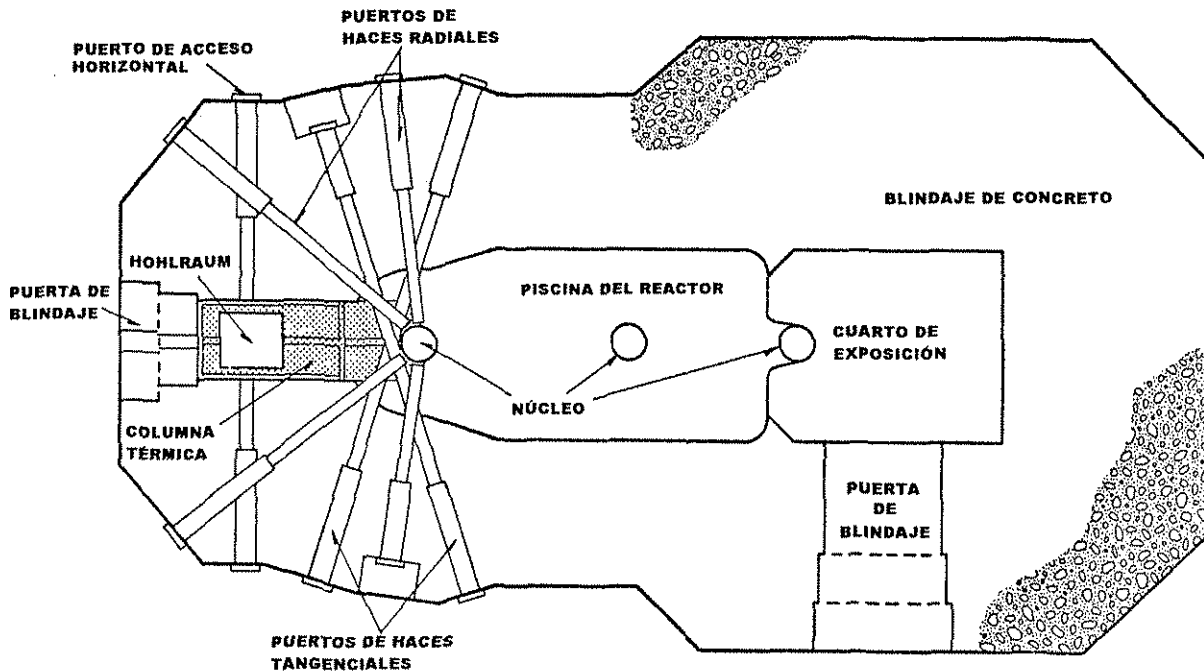


Figura 2.1 Vista de planta del reactor Triga Mark III.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 2.1.3 Rapidez de exposición

El blindaje vertical necesario es proporcionado por 6 m de agua sobre el núcleo, la rapidez de exposición promedio medido experimentalmente a 55 cm de la superficie del agua es de  $6.45 \times 10^{-6} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $25 \text{ mR} \cdot \text{h}^{-1}$ ) proveniente de radiación gamma directa del núcleo con el reactor a 1 MW de potencia. El blindaje de agua entre las dos posiciones extremas de la piscina es suficiente para permitir el montaje de experimentos en un extremo mientras que el reactor está siendo operado en el otro. 1.5 m de concreto bajo la piscina proporciona un blindaje que evitará activación del

suelo. La rapidez de exposición promedio medida experimentalmente en el extremo de los puertos de haces tangenciales y radiales, con el núcleo en la posición de la columna térmica y con el reactor a 1 MW es  $25.9 \times 10^{-9} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $0.1 \text{ mR} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

## 2.1.4 Núcleo

El núcleo del reactor consiste de un arreglo cilíndrico único de elementos combustible-moderador, barras de control y fuente de neutrones de americio berilio. El agua (moderador) que rodea a estos componentes ocupa un tercio de volumen del núcleo, 59 elementos comerciales para reactores Triga y 26 elementos FLIP junto con tres barras de control con seguidor de combustible y una barra de control transitoria con seguidor de aire, el anillo mas externo del núcleo contiene 34 elementos de grafito. Los componentes del núcleo están contenidos entre dos placas (superior e inferior) de aluminio y están rodeados por una carcaza de aluminio que las sostiene, las placas ubican y soportan los componentes del núcleo, la placa superior tiene 127 agujeros para elementos combustibles y barras de control arreglados en seis anillos concéntricos alrededor de un agujero central, ver figura 2.2.

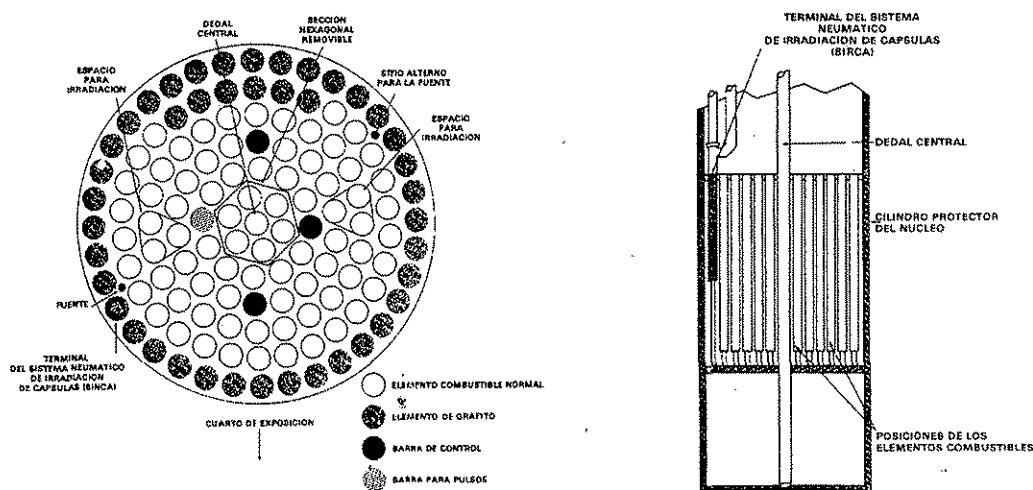


Figura 2.2 Vista de planta y lateral del núcleo del reactor

### 2.1.5 Elementos combustibles

Los elementos combustible-moderador consiste de una mezcla homogénea de uranio e hidruro de circonio en el cual la razón de átomos H a Zr es aproximadamente 1.7 a 1. Los elementos estándar están enriquecidos al 20 % y los elementos FLIP al 70 % en U-235; estos últimos contienen erbio como veneno quemable, la porción activa de los elementos combustibles es de 381 mm de largo y 36.3 mm de diámetro. Los elementos están encamisados en acero inoxidable, ver figura 2.3.

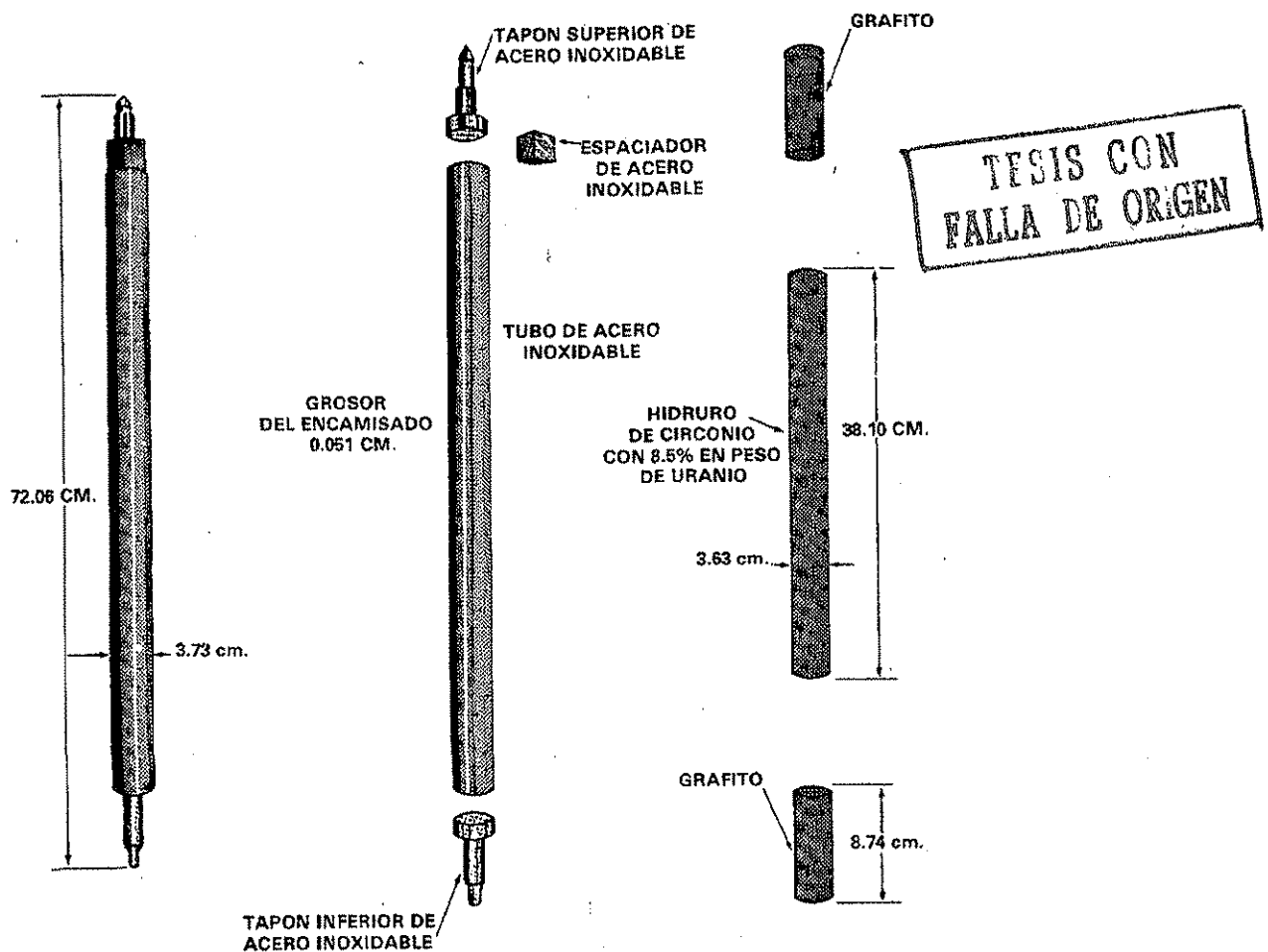


Figura 2.3 Elemento Combustible

## 2.2 Descripción de instalaciones de irradiación

El sistema de Reactor Triga Mark III está diseñado para proporcionar flujos intensos de neutrones y radiación ionizante para la investigación, entrenamiento y producción de radioisótopos. Algunas de las instalaciones experimentales y de irradiación asociadas con el reactor, están situadas a ambos extremos de la piscina, mientras que otras están en el núcleo mismo.

### 2.2.1 Columna Térmica

En el extremo norte de la estructura de la piscina, una columna térmica de grafito contenida en aluminio se extiende desde la periferia del núcleo del reactor hasta la estructura del blindaje de concreto.

El acceso horizontal y el blindaje para la columna térmica son proporcionados por una puerta de concreto de alta densidad,  $3.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . La puerta es operada por un motor, la cual está montada sobre rieles. Existe un puerto radial (HN) removiendo el grafito y los blindajes de plomo alineados con el puerto a través de la puerta. Dos puertos de haces (HE y HO) de 15.24 cm de diámetro intersectan de lado a lado la cavidad denominada "hohlraum" de sección transversal de 91 cm por 91 cm y una longitud de 1,00 m aproximadamente. La cavidad, hohlraum, está rodeada de boral (reduce el número de capturas de gamas) de 3.17 mm de espesor, 50.8 mm de polietileno y bloques de grafito de 101.6 mm por 101.6 mm y 1.27 m de largo. En la parte exterior de la columna térmica, un cubo de 80 cm de grafito colocado sobre la cavidad provee una columna térmica vertical (VN); un tapón de concreto con escalonamiento proporciona el blindaje vertical.

Todas las instalaciones en el extremo de la columna térmica pueden ser utilizados simultáneamente. En la columna térmica tanto vertical como horizontal no se tiene presencia de agua.

## 2.2.2 Puertos de haces radiales

En el extremo de la columna térmica existen cuatro puertos de haces radiales (RE1, RE2, RO1 y RO2) de 15.24 cm de diámetro que van desde la periferia del núcleo a través de agua y del concreto hasta la superficie exterior de la estructura del blindaje.

## 2.2.3 Puertos de haces tangenciales

Dos tubos de haces de 20.32 cm de diámetro intersectan de lado a lado la columna térmica en forma inmediatamente adyacente al núcleo para constituir cuatro puertos de haces tangenciales (TE1, TE2, TO1 y TO2).

## 2.2.4 Cuarto de exposición

En el extremo opuesto de la estructura de la piscina existe un cuarto de exposición (CE) a la radiación recubierto de concreto boratado con 2.7 m de altura, 3.0 m de ancho por 3.6 m de largo, en el cual se pueden irradiar grandes volúmenes para experimentos biológicos y de ingeniería. Un segmento de la piscina de aluminio se proyecta dentro del cuarto de exposición; el tamaño de este segmento permite el máximo escape de radiación dentro del cuarto y proporciona 180 grados al perímetro del núcleo para realizar experimentos. Las paredes de concreto del cuarto tienen 3.3 m de espesor. El acceso al cuarto es por medio de una puerta de concreto operada por medio de un motor montada sobre rieles. Se pueden pasar cables para alimentar eléctricamente los aparatos de experimentación a través de conductores tipo laberinto en las paredes del cuarto de exposición, en esta instalación de irradiación no se tiene presencia de agua.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **2.2.5 Sistema rotatorio**

El sistema rotatorio para cápsulas, SIRCA, tiene forma de toroide, es a prueba de agua y gira al rededor de la coraza del núcleo y se usada para la producción de radioisótopos. Cuarenta y un contenedores para tubos de ensaye pueden ser cargados con muestras a través de un tubo a prueba de agua desde el puente. El interior máximo de cada uno de los 41 contenedores es de 31.75 mm de diámetro por 274.32 mm de profundo. Las muestras se pueden introducir y sacar aunque el reactor esté operando a plena potencia y en cualquier posición de la piscina, excepto en las posiciones extremas donde el SIRCA debe ser elevado para permitir al núcleo moverse dentro del nicho de aluminio.

### **2.2.6 Sistema fijo**

El sistema fijo de irradiación de cápsulas, SIFCA, es un soporte semicircular de aluminio que contiene 15 cavidades de 31.75 mm de diámetro y 76.2 mm de profundidad que puede alojar cápsulas del tipo de ensaye. Este sistema es especialmente útil cuando el núcleo del reactor está en las posiciones extremas de la piscina; las muestras a ser irradiadas en el SIFCA reciben un flujo de neutrones similar al que reciben el SIRCA cuando esta en posición (abajo), en esta instalación se tiene presencia de agua.

### **2.2.7 Sistema Neumático**

Un sistema de transferencia neumático de alta velocidad, SINCA, permite hacer investigaciones con radioisótopos de vida media extremadamente corta, la terminal esta en el núcleo. Este sistema puede ser utilizado cuando el reactor esté en el centro de la piscina o en cualquiera de los extremos. En esta instalación no se tiene presencia de agua.

## 2.3 Celdas calientes

Las celdas calientes se encuentran en la planta baja del edificio del Reactor Triga Mark III, ésta tienen la capacidad para efectuar manipulación de material de alta actividad con emisiones hasta de 10 mil curies de cobalto 60 o su equivalente. Los muros fueron contruidos con material de concreto de alta densidad,  $2.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , con un espesor de 1.37 m. Las ventanas con las que cuenta están llenas de bromuro de zinc líquido, contenido por cuatro vidrios de 1 pulgada de espesor.

En la celda de mayor tamaño el principal equipo es el péndulo instrumentado para prueba de impacto de algunos componentes de reactores nucleares. Adicionalmente, esta primera celda cuenta con un periscopio, un microscopio, una grúa con capacidad de una tonelada, así como un equipo de detección de radiación y otro de intercomunicación.

## ***CAPÍTULO 3***

### ***DISEÑO CONCEPTUAL***

En el capítulo anterior se describen las instalaciones donde trabajara la herramienta. Ahora en este capítulo se procede a realizar el diseño conceptual. Para ello primeramente se plantean las necesidades, restricciones y especificaciones que debe cumplir la herramienta, para entonces iniciar con la generación de opciones de solución.

Para generar las opciones de solución al problema, se toman en cuenta las especificaciones de diseño de la herramienta, así como también las especificaciones del proceso de traslado del combustible irradiado de la piscina del reactor a celdas calientes, que se tiene por parte del personal del reactor.

Finalmente en este capítulo, ya con las opciones de solución planteadas se procede a evaluarlas, y con ello obtener la conceptualización de la herramienta para manejar combustibles irradiados.

### 3.1 Planteamiento de la necesidad

Desde la construcción del reactor Triga Mark III, desarrollado por General Atomic de San Diego California E.U.A. la forma de traslado y manipulación de los combustibles irradiados con el propósito de medir sus niveles de decaimiento no había sufrido ningún cambio ya que se utiliza un detector de contaminación localizado dentro de la celda caliente, el cual es transportado y posicionado con la ayuda de una grúa y un manipular hasta el blindaje donde se encuentra el combustible, ver figura 3.1.

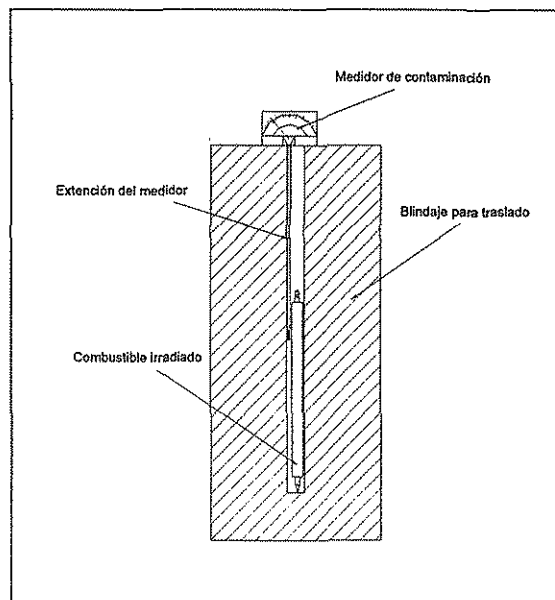
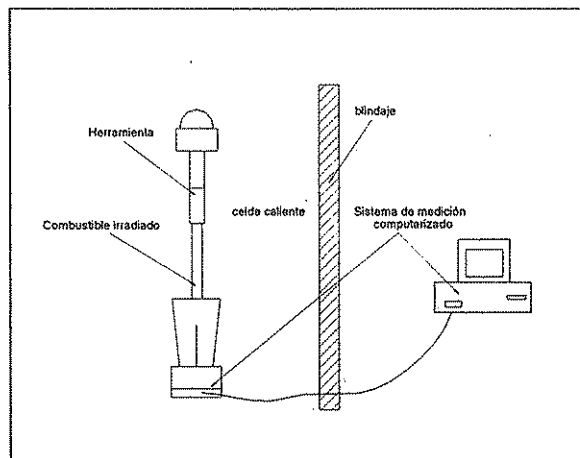


Figura 3.1 Sistema de medición utilizado.

Debido a los avances y mejoras en los sistemas de medición, ahora se pretende instalar un sistema computarizado de seguimiento y monitoreo de los niveles de decaimiento que se presentan en los combustibles nucleares, pero en este nuevo procedimiento se tiene que sacar el combustible del blindaje para traslado y ser transportado hasta una cámara de monitoreo de radiación. La cual envía la información hasta una computadora que se encuentra fuera de la celda caliente, tal como se muestra en la figura 3.2.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.2 Sistema de medición proyectado

Por esto El Departamento del Reactor del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares propone el diseño, desarrollo y fabricación de una herramienta para el manejo de combustible nuclear. Dicha herramienta será utilizada como un dispositivo auxiliar para el traslado y manipulación de combustibles irradiados que se encuentran dentro de la piscina del reactor Triga Mark III, y que se necesitan llevar a celdas calientes para analizar sus niveles de radiación.

### 3.2 Especificaciones

Como la herramienta para el manejo de combustible es un dispositivo auxiliar en la manipulación y traslado de combustibles nucleares, entonces las especificaciones que se consideraron para el proyecto son: especificaciones de componentes del proceso de traslado y especificaciones de la herramienta para manejar combustible nuclear.

### 3.2.1 Especificaciones de componentes del proceso de traslado

A continuación se menciona las especificaciones que tiene cada uno de los componentes del proceso de traslado.

#### 3.2.1.1 Especificaciones del elemento combustible

La herramienta para combustibles maneja elementos irradiados con encamisado de acero inoxidable, y con las siguientes características:

- Tienen un peso de 3.4 kg.
- Longitud total de  $72.06 \pm 0.01$  cm.
- Un tapón superior para sujeción de largo  $43 \pm 0.1$  mm y diámetro  $15.9 \pm 0.1$  mm.
- El tapón superior cuenta con una terminación cónica a  $45^\circ$  que sirve como guía cuando la herramienta trata de sujetarlo.
- El tapón superior tiene una ranura cónica de  $10.8 \pm 0.1$  mm de altura en un extremo, que sirve para proporcionar a éste un medio de sujeción, ver la figura 3.3.

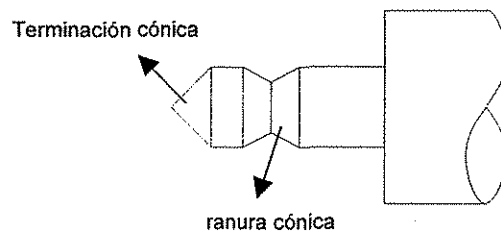


Figura 3.3 Tapón superior del elemento combustible

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2.1.2 Especificaciones del blindaje para trasladar combustibles

La herramienta para combustibles se transportará junto con el combustible irradiado de la piscina del reactor a celdas calientes dentro del blindaje para traslado, el cual cuenta con las siguientes características.

- La longitud total del alojamiento para combustible y herramienta es de 102 cm.
- El diámetro del alojamiento para combustible y herramienta es de 52.6 mm
- Tiene una altura de 116 cm X 51 cm de diámetro, tal como se muestra la figura 3.4.

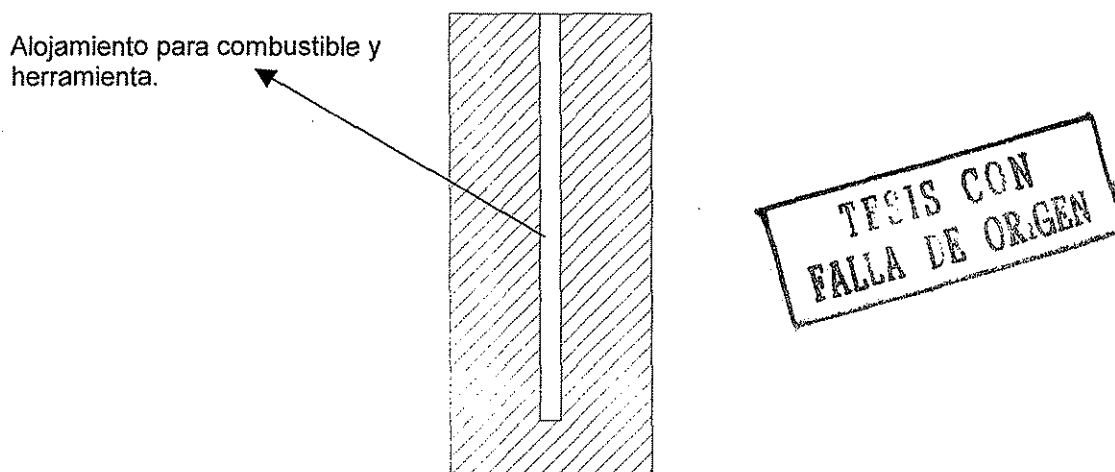


Figura 3.4 Corte transversal de blindaje para traslado de combustibles

### 3.2.1.3 Especificaciones de grúa viajera

Su función es la de trasladar el blindaje junto con la herramienta acoplada al combustible dentro del edificio del reactor, y presenta las siguientes características.

- Capacidad para cargar hasta 10,000 kg.
- Desplazamiento horizontal Norte-Sur de 18 m.

- Desplazamiento horizontal Oriente-Poniente de 16 m.
- Desplazamiento vertical de 11 m.

#### **3.2.1.4 Especificaciones de grúa en celdas calientes**

Esta grúa sirve para mover la herramienta acoplada al combustible en el interior de la celda caliente, y cuenta con las siguientes características.

- Capacidad para cargar hasta 1,000 kg.
- Desplazamiento horizontal Norte-Sur de 2 m.
- Desplazamiento horizontal Oriente-Poniente de 3 m.
- Desplazamiento vertical de 2.5 m.

#### **3.2.1.5 Especificaciones del manipulador de celdas calientes**

Se encarga de posicionar la herramienta exactamente en un lugar y cuenta con las siguientes especificaciones:

- Capacidad para cargar hasta 10 kg.
- Seis grados de libertad con un radio de 1.5 m, a partir de su empotramiento.
- Pinzas de sujeción con apertura máxima de 12 cm.

#### **3.2.2 Especificaciones de la herramienta para manejar combustible**

Como resultado de las pláticas con la gente del reactor se plantean las siguientes especificaciones en general para la herramienta:

- Debe tener la capacidad de sujetar combustibles que se encuentran dentro del blindaje para traslado con una longitud total de  $72 \pm 0.7$  cm.

- Se debe desplazar y posicionar dentro de la celda caliente con ayuda de los dispositivos auxiliares que se encuentran en el interior de ésta. Donde dichos mecanismos son: una grúa y un sistema de dos manipuladores electromecánicos. Estos sistemas de transporte y manipulación sirven para seguridad del personal ya que una vez cerrada la celda caliente no hay grandes orificios que comuniquen el exterior con el interior, todo esto con la única finalidad de evitar fugas de radiación.
- El diseño debe contar con un blindaje para protección del operario en zonas que así lo requieran, de acuerdo a la normativa de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS).
- Se transportará la herramienta acoplada al combustible dentro del blindaje de traslado de la piscina del reactor a las celdas calientes y viceversa, con la ayuda de la grúa viajera que se encuentra en el interior del reactor.

### 3.2.2.1 Descripción de especificaciones de diseño

El desarrollo del diseño de la herramienta para manejar combustible nuclear se basó en las siguientes especificaciones:

- *Manufactura:* Para la fabricación de piezas, se debe considerar el uso de máquinas, herramienta y equipo, tales como: tornos, fresadoras convencionales, cepillos, taladros y máquinas soldadoras que se encuentran dentro de los talleres generales del ININ. Y donde los maquinados a realizarse serán con una precisión de hasta  $\pm 0.1$  mm, y un acabado superficial de  $R_a 3.2 \mu m$ .

- *Medio Ambiente:* La herramienta será acoplada al combustible dentro de la piscina del reactor, es decir trabajara inmersa en agua a 4 metros de la superficie, lo que nos conduce a un ambiente propicio para corroer materiales. Por lo tanto los materiales de fabricación deben tener una buena resistencia a la corrosión.
- *Vida útil:* El diseño debe tener una vida útil mínima de 4 años sin reemplazo de piezas fabricadas a pesar de que el ambiente de trabajo es propicio para la corrosión y el desgaste.
- *Costo de la herramienta:* El diseño de la herramienta debe contar con un sistema de piezas intercambiables de fácil fabricación y ensambles. En el cual si es más económico, la adquisición de componentes que la fabricación, entonces se lleve a cabo la compra. Se deberá evitar en la medida de lo posible utilizar materiales y partes importadas, con el propósito de reducir el máximo el costo de la herramienta el cual debe ser de \$ 10,000.
- *Seguridad:* La herramienta debe contar con elementos de blindaje que brinden protección al operario, el cual al estar trasladando un combustible irradiado no tenga una rapidez de exposición mayor a la permitida por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas, la cual es debe ser menor de  $200 \text{ mR.h}^{-1}$  a contacto. Esto con la finalidad de mantener la salud e integridad física del operario.

La tabla 3.1 nos muestra las especificaciones de diseño planteadas anteriormente en forma sintetizada.

| <b>Especificaciones</b> | <b>Descripción</b>                                               |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1. Manufactura          | Maquinados a realizarse con precisión de hasta $\pm 0.1$ mm      |
| 2. Costo                | No exceder \$ 10,000 en material                                 |
| 3. Vida útil            | Mínima de 4 años sin cambiar partes fabricadas                   |
| 4. Medio ambiente       | Materiales con buena resistencia a la corrosión                  |
| 5. Seguridad            | Rapidez de exposición menor a $200 \text{ mR.h}^{-1}$ a contacto |

Tabla 3.1 Descripción de especificaciones de diseño

### 3.3 Diseño conceptual

Partiendo del planteamiento de la necesidad que es el diseño y construcción de una herramienta para el manejo de combustible nuclear, se inició el proceso de diseño mediante el uso de la técnica de descomposición funcional.

La descomposición funcional es una técnica que nos sugiere la identificación de las diferentes funciones en un diseño. Una vez que éstas se encuentran identificadas, es posible asociar a cada una de las funciones, las partes y especificaciones asociadas. Así mismo se especifican las relaciones e interfaces entre cada una de las funciones que conforman el diseño en su totalidad.

#### 3.3.1 Generación de opciones de solución

Para generar las opciones de diseño se llevó a cabo el siguiente procedimiento, durante la búsqueda de alternativas de solución para cada una de las partes o funciones que componen la herramienta para el manejo de combustible:

- Se realizó una lista de especificaciones de componentes del proceso de traslado.
- Se llevo a cabo una lista de especificaciones de diseño de la herramienta.
- Para cada parte o función se propusieron diferentes alternativas de solución.

Las funciones o partes que más nos interesan en el diseño de la herramienta son:

- 1) Sujetar combustible.
- 2) Asegurar sujeción.
- 3) Liberación de combustible.
- 4) Acoplar al sistema de traslado.

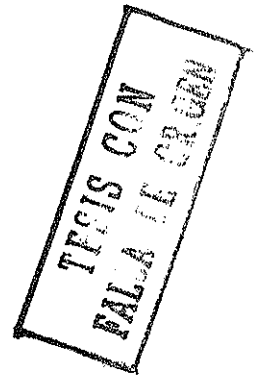
Los resultados obtenidos del proceso de generación de alternativas de solución es el siguiente:

| <u>Sujetar combustible</u> |          |
|----------------------------|----------|
| Alternativa 1              | Mordazas |
| Alternativa 2              | Trincado |
| Alternativa 3              | Cables   |

| <u>Asegurar sujeción</u> |                  |
|--------------------------|------------------|
| Alternativa 1            | Por presión      |
| Alternativa 2            | Por acoplamiento |

| <u>Liberación de combustible</u> |              |
|----------------------------------|--------------|
| Alternativa 1                    | Por tornillo |
| Alternativa 2                    | Por resorte  |
| Alternativa 3                    | Por palanca  |

| <u>Acoplar al sistema de traslado</u> |                |
|---------------------------------------|----------------|
| Alternativa 1                         | Cable metálico |
| Alternativa 2                         | Cadena         |
| Alternativa 3                         | Barra de acero |



### 3.3.2 Evaluación y selección de alternativas de solución

Para poder evaluar cada una de las opciones de solución y seleccionar la mejor fue necesario utilizar técnicas de evaluación de alternativas para obtener la que mejor cumpliera con la descripción de especificaciones ya establecidas, de acuerdo con la tabla 3.1.

Para comparar las alternativas de solución generadas, se asigna un valor de manera jerárquica a cada una de las especificaciones establecidas, tal y como se muestra en la tabla 3.2. Donde el valor de 3 satisface en un 100% o completamente la especificación establecida y se considera como un objetivo de mayor importancia, el valor de 2 se considera que es aceptable o satisface la especificación en un 80%, pero no se le debe perder de vista y para el valor de 1 la satisfacción de la especificación es del 70%, es decir es una satisfacción regular

De acuerdo con la descripción de dichas especificaciones de diseño para la herramienta, los valores para cada una de ellas son los siguientes:

| Especificación | Valor | Satisfacción |
|----------------|-------|--------------|
| Seguridad      | 3     | completa     |
| Manufactura    | 3     | completa     |
| Costo          | 2     | aceptable    |
| Medio ambiente | 1     | regular      |
| Vida útil      | 1     | regular      |

Tabla 3.2 Cuantificación de la satisfacción para las especificaciones

Para evaluar las especificaciones junto con las alternativas de solución se propone una escala del uno al diez, donde diez es para aquella solución que satisface todos los aspectos y por el contrario uno no cumple con ningún aspecto u objetivo. Entonces podemos obtener un valor máximo de 100 puntos por cada alternativa de solución.

Los resultados obtenidos del proceso de evaluación de alternativas son los siguientes:

| <b>Sujetar combustible</b> |                  |                    |              |                       |                  |       |
|----------------------------|------------------|--------------------|--------------|-----------------------|------------------|-------|
| Alternativa                | Especificación   |                    |              |                       |                  | Total |
|                            | Seguridad<br>(3) | Manufactura<br>(3) | Costo<br>(2) | Medio ambiente<br>(1) | Vida útil<br>(1) |       |
| Mordazas                   | 10               | 9                  | 8            | 9                     | 10               | 92    |
| Trincado                   | 8                | 7                  | 8            | 7                     | 9                | 77    |
| Cables                     | 6                | 9                  | 9            | 7                     | 7                | 77    |

| <b>Asegurar sujeción</b> |                  |                   |              |                          |                  |       |
|--------------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------------------|------------------|-------|
| Alternativa              | Especificación   |                   |              |                          |                  | Total |
|                          | Seguridad<br>(3) | Manufatura<br>(3) | Costo<br>(2) | Medio<br>ambiente<br>(1) | Vida útil<br>(1) |       |
| Por presión              | 10               | 9                 | 8            | 9                        | 9                | 91    |
| Por acoplamiento         | 8                | 8                 | 8            | 8                        | 9                | 81    |

| <b>Liberación de combustible</b> |                  |                   |              |                          |                  |       |
|----------------------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------------------|------------------|-------|
| Alternativa                      | Especificación   |                   |              |                          |                  | Total |
|                                  | Seguridad<br>(3) | Manufatura<br>(3) | Costo<br>(2) | Medio<br>ambiente<br>(1) | Vida útil<br>(1) |       |
| Por tornillo                     | 9                | 8                 | 8            | 7                        | 9                | 83    |
| Por resorte                      | 6                | 9                 | 8            | 7                        | 7                | 75    |
| Por palanca                      | 8                | 8                 | 7            | 7                        | 8                | 77    |

| <b>Acoplar al sistema de traslado</b> |                  |                   |              |                          |                  |       |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------------------|------------------|-------|
| Alternativa                           | Especificación   |                   |              |                          |                  | Total |
|                                       | Seguridad<br>(3) | Manufatura<br>(3) | Costo<br>(2) | Medio<br>ambiente<br>(1) | Vida útil<br>(1) |       |
| Cable metálico                        | 10               | 9                 | 9            | 8                        | 9                | 92    |
| Cadena                                | 8                | 9                 | 8            | 7                        | 7                | 81    |
| Barra de acero                        | 9                | 8                 | 9            | 8                        | 9                | 86    |

### 3.3.3 Conceptualización de la herramienta

Después de haber llevado a cabo la evaluación de alternativas de solución, se procede a integrar en un solo concepto general las alternativas que obtuvieron un mayor puntaje, dando como resultado final, la conceptualización de la herramienta para sujetar combustible nuclear, tal como se muestra en la siguientes fig. 3.5.

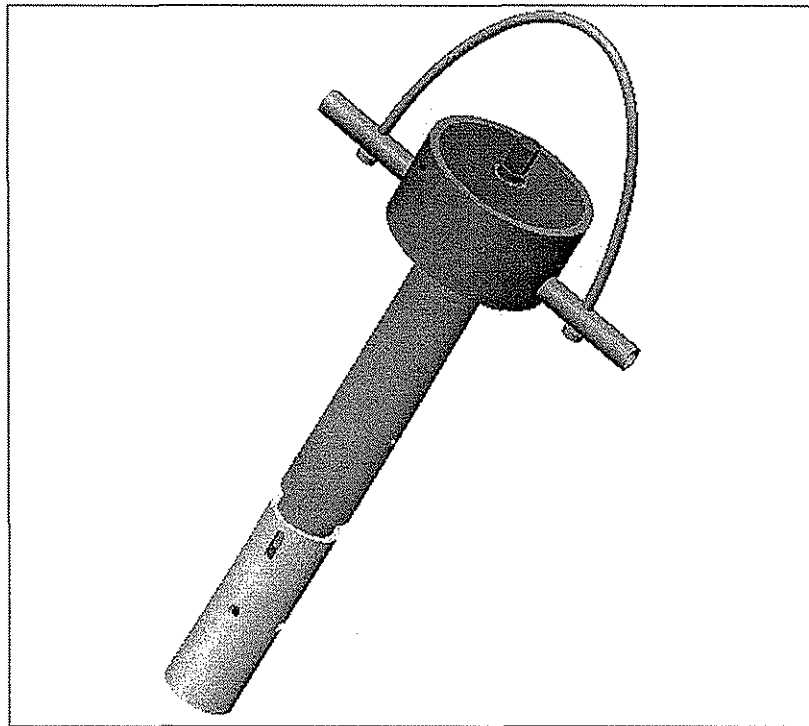


Figura 3.5 Configuración propuesta

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De esta manera en la configuración propuesta podemos mencionar:

1. Sistema de mordazas.
2. Flecha para apretar o liberar el combustible.
3. Blindaje para protegerse de la radiación.
4. Funda superior o base de la herramienta.
5. Funda inferior o movable.
6. Sistema de ajuste.
7. Cable metálico

En las figuras 3.6 y 3.7 se muestran los sistemas y componentes de la configuración propuesta, para una mejor interpretación de la herramienta para manejar combustibles nucleares.

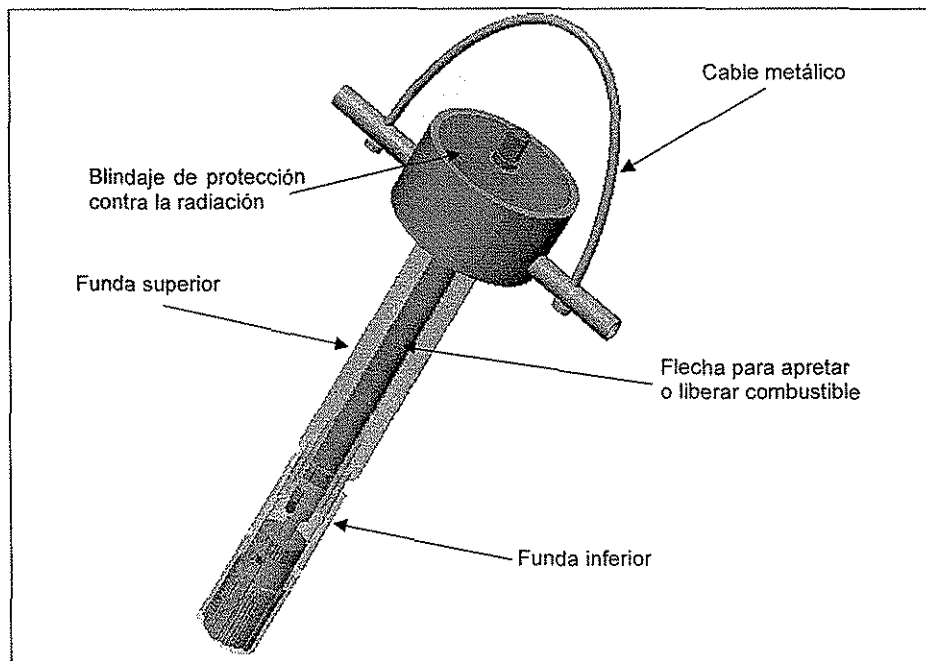


Fig. 3.6 Transparencia de la herramienta

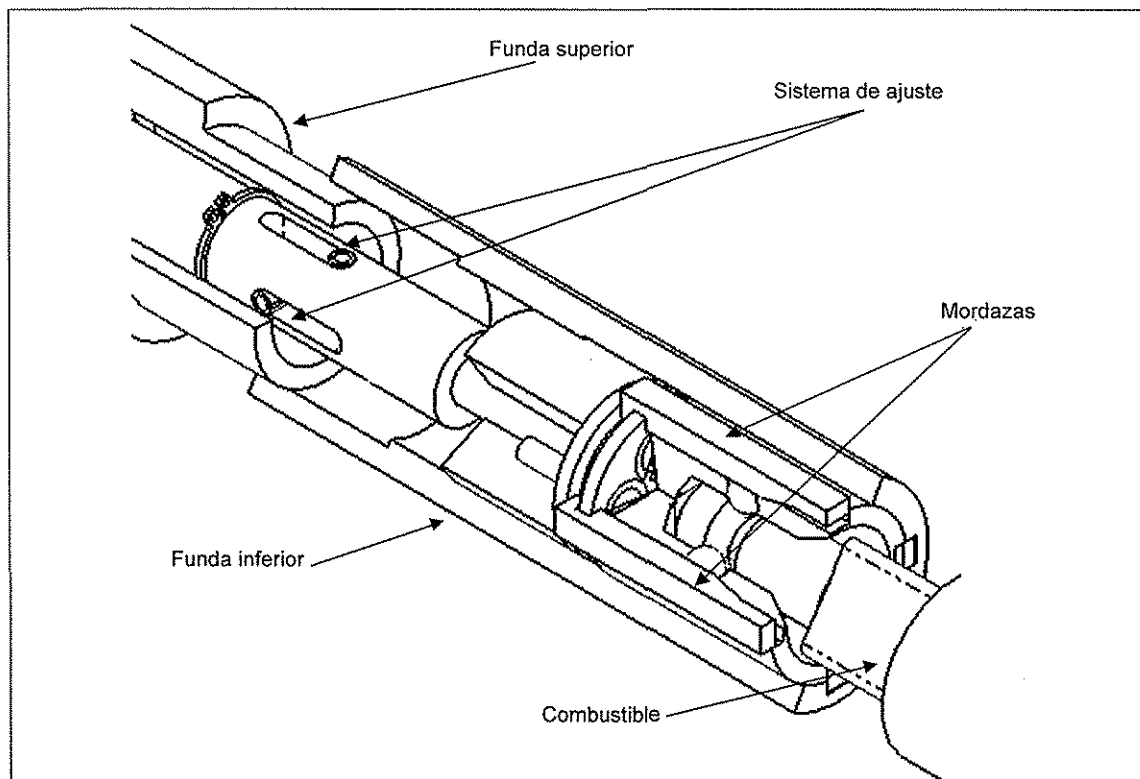


Figura 3.7 Vista del sistema de mordazas y ajuste

TECIS CON  
FALLA LE ORIGEN

En la figura 3.8 se muestra la configuración propuesta acoplada con un combustible.

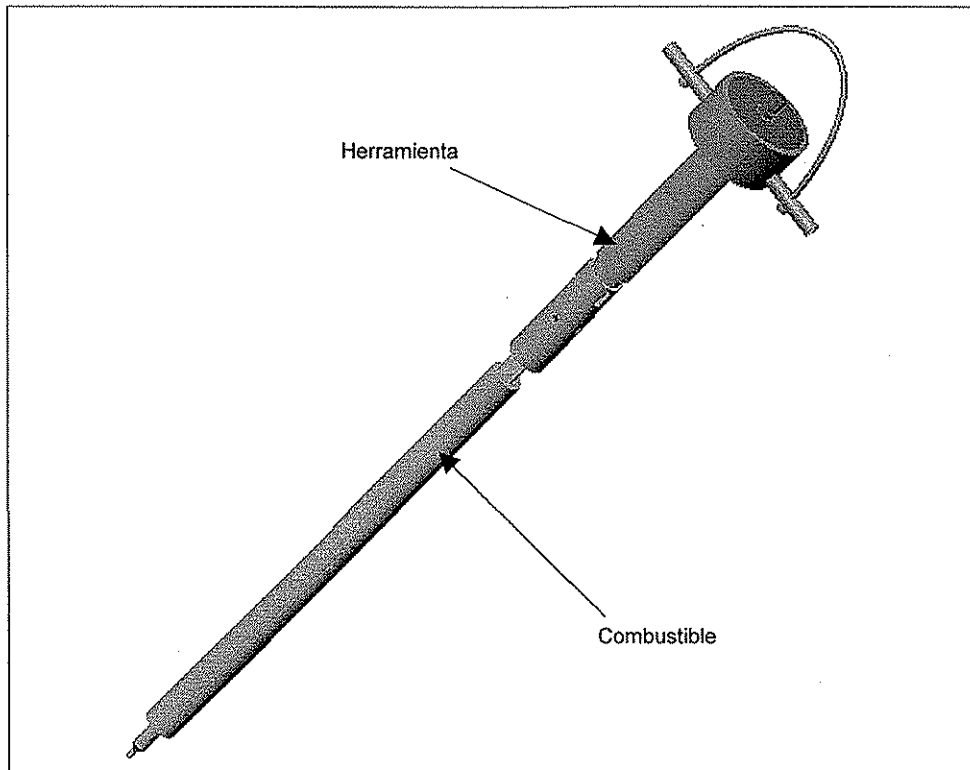


Figura 3.8 Herramienta acoplada a un combustible

Después de llegar al diseño conceptual; en el próximo capítulo se presenta, una descripción de cada pieza del diseño así como de los componentes comerciales incluyendo el tipo de materiales utilizados para su fabricación, tolerancias, acabados superficiales, dimensiones, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# ***CAPÍTULO 4***

## ***DISEÑO DE DETALLE***

En este capítulo se presentan las alternativas de solución tomadas para la construcción de la herramienta así como las piezas que forman ésta. Se hace una descripción detallada de las piezas y componentes comerciales incluyendo el tipo de materiales utilizados para su fabricación, tolerancias, acabados superficiales, dimensiones, etc.

Es importante mencionar que tras la descomposición funcional realizada, se inició el proceso de desarrollo de cada una de las piezas que se relacionan con las funciones, sin embargo existen técnicas especiales de diseño que pueden ser aplicadas para la optimización de partes que conforman el diseño como puede ser diseño para ensamble, para desensamble, robusto, etc.

## 4.1 Sistema de sujeción del combustible

Después de haber llevado a cabo el proceso de evaluación de alternativas de solución, para el caso del sistema de sujeción se llegó a la conclusión de que la mejor alternativa es el sistema de sujeción por mordazas ya que es muy seguro porque el operador puede ir sujetando o liberando el combustible de acuerdo al avance o retroceso que tenga la flecha. En la figura 4.1 se muestra el sistema completo.

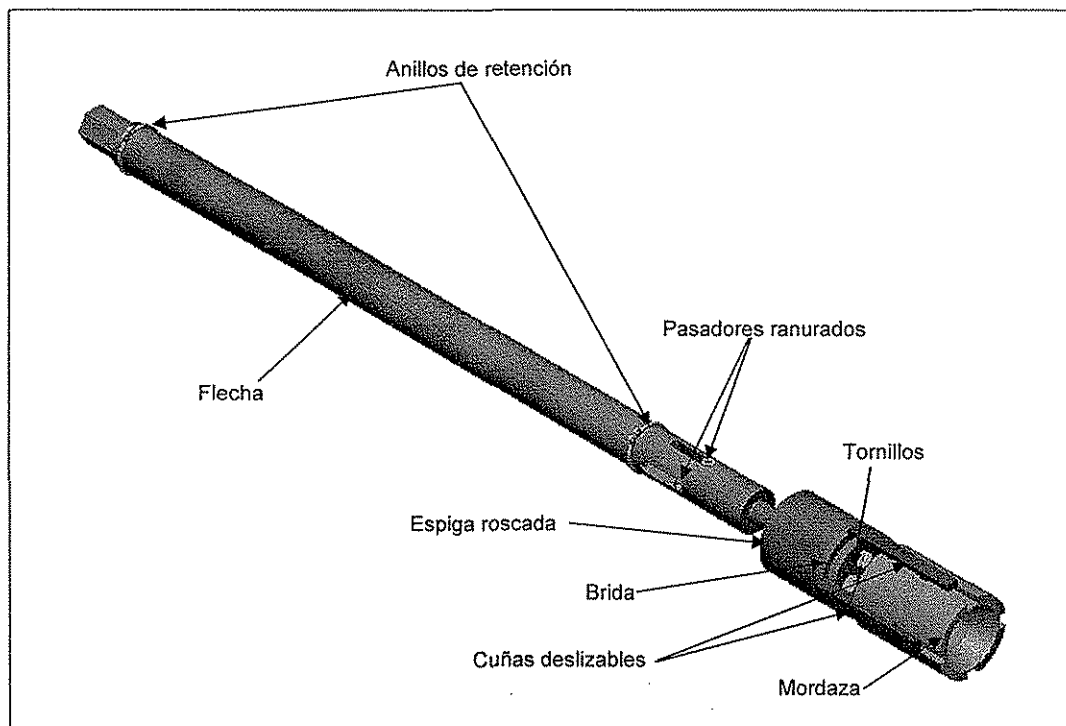


Figura 4.1 Sistema de sujeción de la herramienta

En la figura 4.2 se muestra un corte de la herramienta donde se puede apreciar la sujeción entre el sistema y el combustible nuclear.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

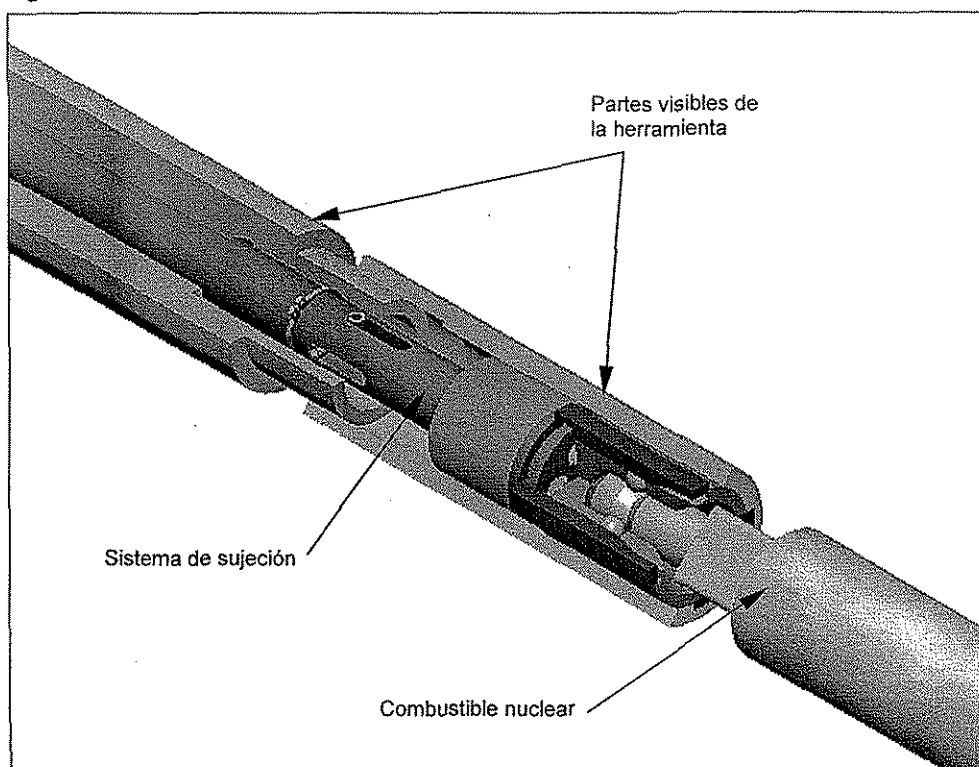


Figura 4.2 Sujeción del combustible con el sistema

Haciendo un recuento de todas las piezas que constituyen el sistema, podemos organizarlas como se muestra a continuación:

| Piezas fabricadas            | Piezas adquiridas                  |
|------------------------------|------------------------------------|
| a) Mordaza                   | a) 4 balines                       |
| b) 4 cuñas deslizables       | b) 4 tornillos                     |
| c) Brida para espiga roscada | c) 2 pasadores ranurados           |
| d) Espiga roscada            | d) 2 anillos de retención externos |
| e) Fecha                     |                                    |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

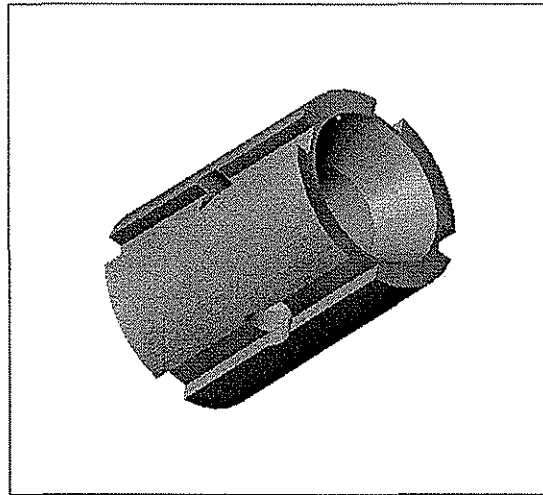
### 4.1.1 Descripción de piezas fabricadas

Como se mencionó en el inciso anterior el sistema de sujeción está compuesto de piezas fabricadas y adquiridas; en esta sección se hace una descripción general (si se desea una descripción más detallada de cualquier pieza descrita en este capítulo ver el plano correspondiente en el apéndice II), de cada una de las partes del sistema de sujeción maquinadas en los talleres generales del ININ.

Es importante mencionar que el diseño está pensado de tal manera que las piezas sean fabricadas en forma rápida y sencilla sin utilizar maquinaria de precisión, debido a que se cuenta con un presupuesto limitado y dentro de los talleres generales del instituto no hay herramientas para maquinar piezas de gran precisión; por ejemplo hay dos tornos marca HARDINGE, modelo HLV-EM, de 1.5 h.p., taladro VIMALERT, 0.85 kw; cepillo marca SANCHES BLANES, S.A., modelo PL400, 0.7 kw, etc.

#### a) MORDAZA

Esta pieza consta de cuatro barrenos que dan alojamiento a las 4 esferas metálicas o balines, y además es la parte por donde penetra el elemento combustible para ser sujetado, por esta razón el orificio de entrada es cónico para que tenga una mayor superficie que haga contacto con el tapón superior del combustible. También cuenta con cuatro ranuras que son por las que se desplazan las cuñas deslizables para empujar a los balines y así sujetar o liberar al combustible. La mordaza está fabricada de acero al cromo-molibdeno AISI 4140, ya que se requiere de un material con alta resistencia a la corrosión y oxidación debido al ambiente donde trabajará, tal como se muestra en la fig. 4.3.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.3 Morzada

#### b) CUÑA DESLIZABLE

El sistema de sujeción cuenta con cuatro cuñas deslizables que se acoplan a la brida para espiga por medio de una ranura o cavidad. Las cuñas se deslizan entre la funda inferior y la mordaza, a través de alojamientos paralelos y simétricos que le sirven como guía longitudinal, es decir son partes en movimiento, por lo que se recomienda que se lubriquen para evitar desgaste. Están fabricadas de acero al cromo-molibdeno AISI 4140, para soportar el ambiente de trabajo, ver la fig. 4.4.

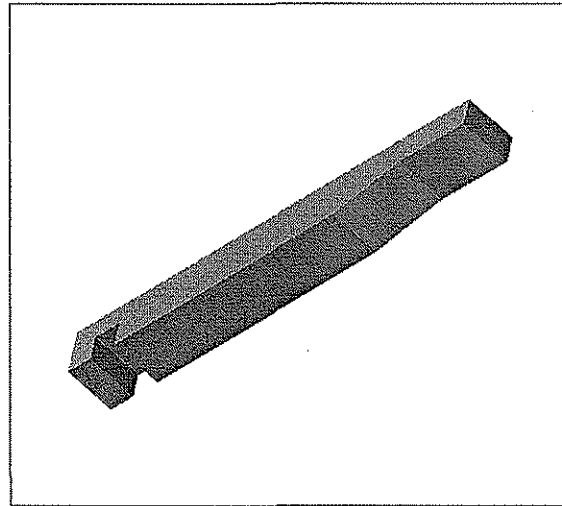


Figura 4.4 Cuña deslizable

#### c) BRIDA PARA ESPIGA ROSCADA

Esta pieza consta de cuatro barrenos pasados con chaflán para tornillo de cabeza plana, que sirven para dar alojamiento a los tornillos que unen a la brida con la espiga roscada. También cuenta con una cavidad radial que se acopla a las cuatro cuñas deslizables para hacerlas que avancen o retrocedan según sea el caso. También es recomendable que se lubrique la ranura radial para evitar desgaste y tener desplazamientos más suaves y precisos del sistema de sujeción. Está fabricada de acero 4140, tal como se muestra en la figura 4.5.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

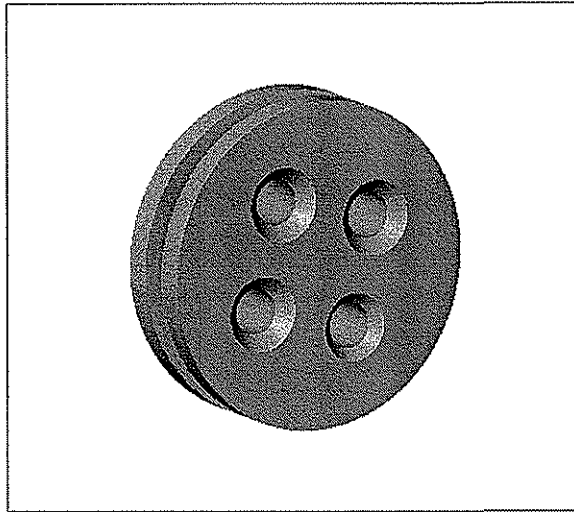
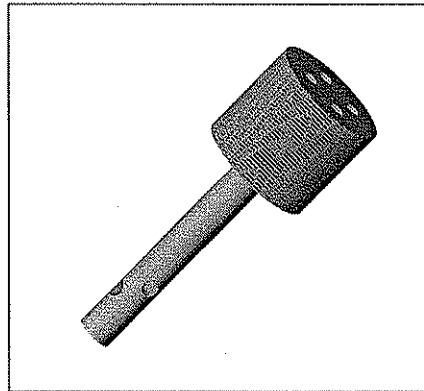


Figura 4.5 Brida para espiga roscada

#### d) ESPIGA ROSCADA

Esta pieza consta de cuatro roscas de  $3/16$ " de diámetro donde penetran cuatro tornillos que tienen la función de unir a esta parte con la brida. Además constan de una rosca exterior estándar de 34 mm de diámetro, con un paso de 16 hilos por pulgada, cuerda fina; es decir 16-UNF (ver tabla 1 del apéndice I). Ésta le sirve de guía al sistema de sujeción y le da soporte cuando levanta el elemento combustible, para esta razón se utilizó rosca fina ya que se requiere un avance o retroceso con mayor precisión. También cuenta con dos barrenos pasados de  $3/16$ " de diámetro, y un ángulo de separación de  $180^\circ$  entre ellos, los cuales sirven para dar alojamiento a los pasadores ranurados. Ésta fabricada de acero AISI 4140, así como se muestra en la figura 4.6.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA LE ORIGEN

Figura 4.6 Espiga roscada

e) FLECHA

Esta parte se puede considerarse como el eje de la herramienta ya que por medio de una cabeza hexagonal (las dimensiones fueron tomadas de tabla 2 apéndice I), el operador puede acoplar a ésta una llave (9/16"), para sujetar o liberar el combustible. Cuenta con una rosca exterior de 3/4" de diámetro, la cual une a la flecha con el tapón de la herramienta; además cuenta con dos ranuras para anillos de retención exterior. También tiene dos ranuras en las cuales los pasadores ranurados se pueden desplazar por 22 mm a lo largo de la flecha. Está fabricada de acero AISI 4140, (ver fig. 4.7).

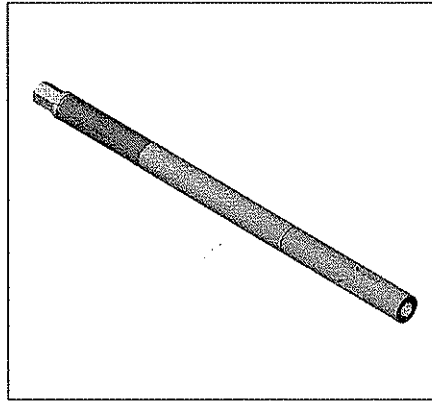


Figura 4.7 Flecha

#### 4.1.2 Descripción de piezas de adquisición

El total de las piezas de adquisición del sistema de sujeción, son componentes comerciales que fácilmente se pueden encontrar en cualquier distribuidora de auto partes, pero difícilmente se pueden maquinar, es decir el costo de cualquiera de las doce piezas no se puede comparar con el tiempo-hombre que un tornero o técnico especializado necesita para la fabricación de la misma. Es por esta razón que el total de ellas se compraron.

Ya que desde el inicio del proyecto se contaba con un presupuesto limitado, se consideró que si en el desarrollo del diseño de la herramienta eran necesarias piezas o componentes específicos, que pudieran sustituirse por componentes comerciales de bajo costo y en medidas estándar, se debería diseñar bajo esta consideración.

El sistema de sujeción de la herramienta cuenta con los siguientes componentes:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

a) 4 BĂLĪNES O ESFERAS METĂLICAS.- Estas piezas son las encargadas de ejercer presi3n contra el combustible para que la herramienta lo pueda desplazar de un lugar a otro. Las esferas metĂlicas tienen un diĂmetro de 19/64”.

b) 4 TORNILLOS.- Para este caso los tornillos son los encargados de ensamblar y sujetar la brida contra la espiga roscada. Son de cabeza plana de rosca 3/16” de diĂmetro 24-UNC, por 25.4 mm de largo, tal como se muestra en la tabla 1 del apĂndice 1.

c) 2 PASADORES RANURADOS.- Estos dos componentes son del tipo F (ver tabla 3 del apĂndice I). Se encargan de asegurar la espiga roscada a la flecha, ademĂs permite desplazar el sistema de sujeci3n 18 mm, sin que el operario de la herramienta haga avanzar o retroceder la flecha de Ăsta. Estos dos pasadores tienen un diĂmetro de 3/16” por 19 mm de largo, y entran a presi3n en los barrenos de la espiga roscada.

d) 2 ANILLO DE RETENCI3N EXTERNOS.- Estos anillos de retenci3n son del tipo externos bĂsicos (tabla 4 apĂndice I), y se encargan de hacer que el sistema de sujeci3n tenga un tope, es decir, cuando se sujeta o libera un combustible limitan el Ărea de trabajo de la flecha. Van colocados dentro de las ranuras de la flecha como se puede apreciar en el plano GTI/LG/07 del apĂndice 2.

En la figura 4.8 se muestran las piezas de adquisici3n del sistema de sujeci3n, mientras que en la figura 4.9 se muestra el sistema de sujeci3n completo en forma desensamblada o en explosi3n.

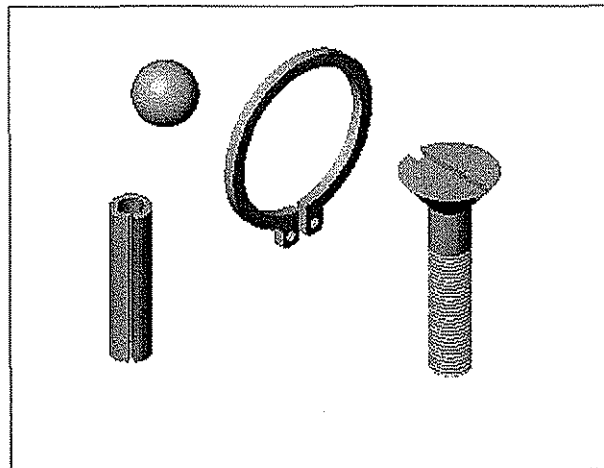


Figura 4.8 Componentes de adquisición

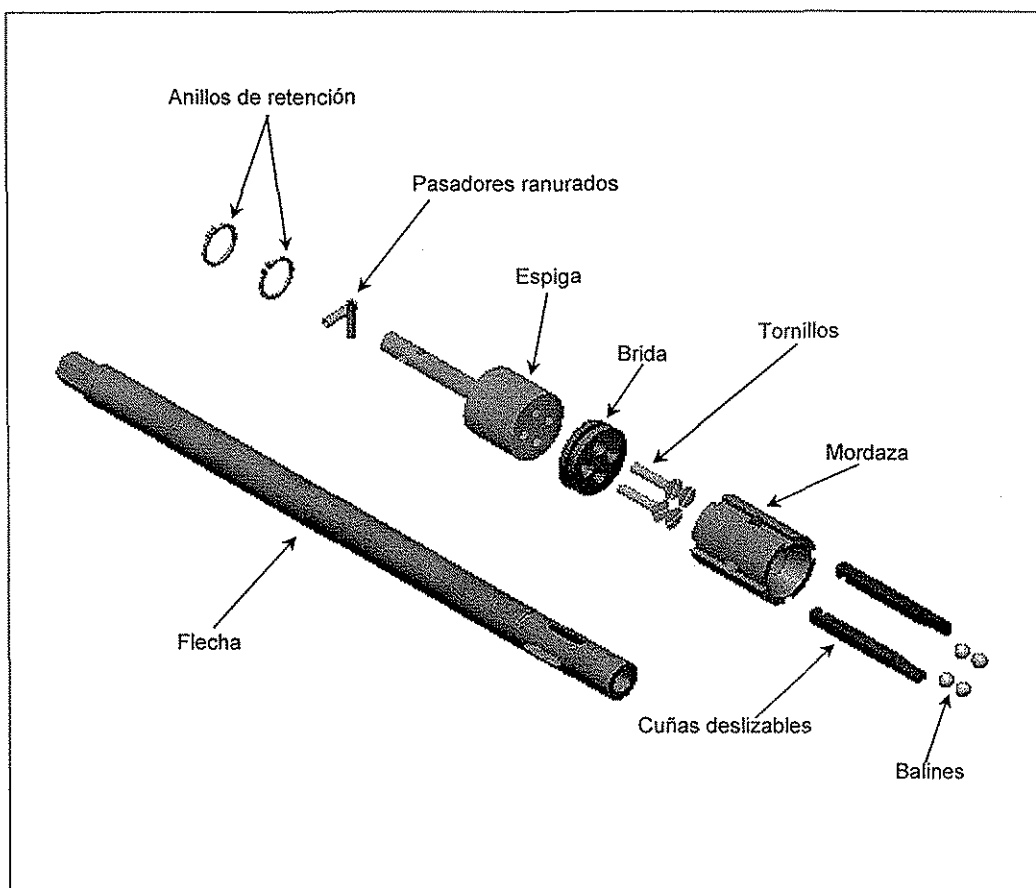


Figura 4.9 Sistema de sujeción en explosión

## 4.2 Asegurar sujeción

Para asegurar la sujeción del combustible se utilizó un sistema de cuatro balines que ejercen presión sobre la ranura cónica del tapón superior del elemento combustible, tal como se muestra en la fig. 4.10.

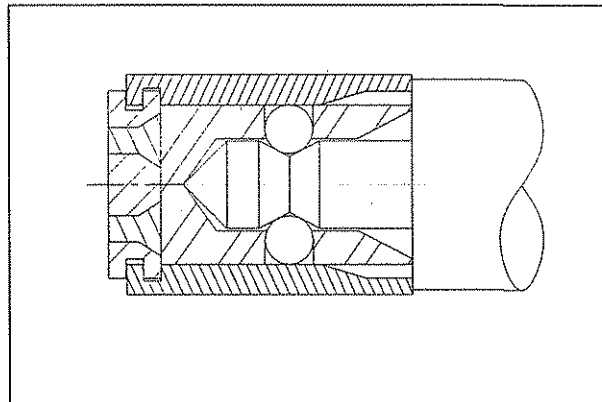
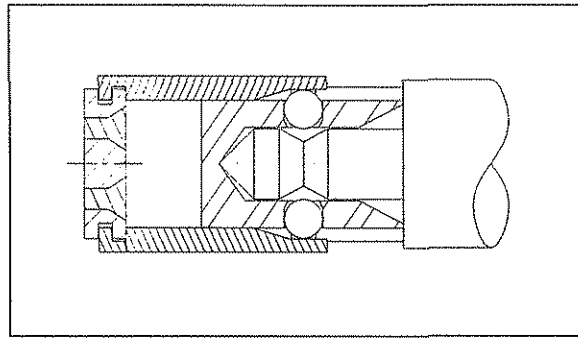


Figura 4.10 Sujeción del combustible

Con este sistema se garantiza el traslado del combustible ya que los cuatro balines distribuidos a cada  $90^\circ$  radialmente sobre la superficie de la ranura cónica del tapón superior del elemento, le permiten balancearse al combustible, si llegara encontrarse con un obstáculo, pero no lo dejan desplazarse axialmente. Este sistema sujeción resulto ser muy práctico y económico, además de ser utilizado en otros reactores para manejo de combustible.

Si el sistema nos garantiza la sujeción, del mismo modo tiene que asegurar que después de trasladar al combustible, la liberación de éste se lleve a cabo eficientemente, es decir en el momento que dejan de ejercer presión los balines sobre el tapón superior del elemento, éste es liberado tal como se ve en la figura 4.11.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.11. Liberación del combustible

#### 4.2.1 Desplazar el sistema de sujeción

Para asegurar la sujeción del elemento combustible en un 100%, de acuerdo con especificaciones de diseño propuestas por personal del reactor (ver inciso 3.2.2), se requiere que el sistema de sujeción de la herramienta pueda desplazarse axialmente 14 mm dentro del blindaje para traslado, todo esto con el fin de que la herramienta sea capaz de absorber las irregularidades longitudinales de fabricación del alojamiento para combustible del blindaje para traslado, ver figura 4.12.

Entonces para lograr que el sistema de sujeción se pudiera desplazar o acoplar dentro del blindaje, se propuso dividir a la funda de la herramienta en dos partes una fija y otra movable.

a) FUNDA SUPERIOR.- Esta pieza está unida al tapón de la herramienta por medio de soldadura, por lo tanto se encuentra inmóvil cuando la herramienta está trabajando dentro del blindaje. Tiene tres roscas de diámetro 7/32" 24-UNC, distribuidas radialmente a cada 120°, en las cuales se les da alojamiento a los tornillos prisioneros que aseguran a esta pieza con la funda inferior. Está maquinada en acero AISI 4140, ver la figura 4.13.

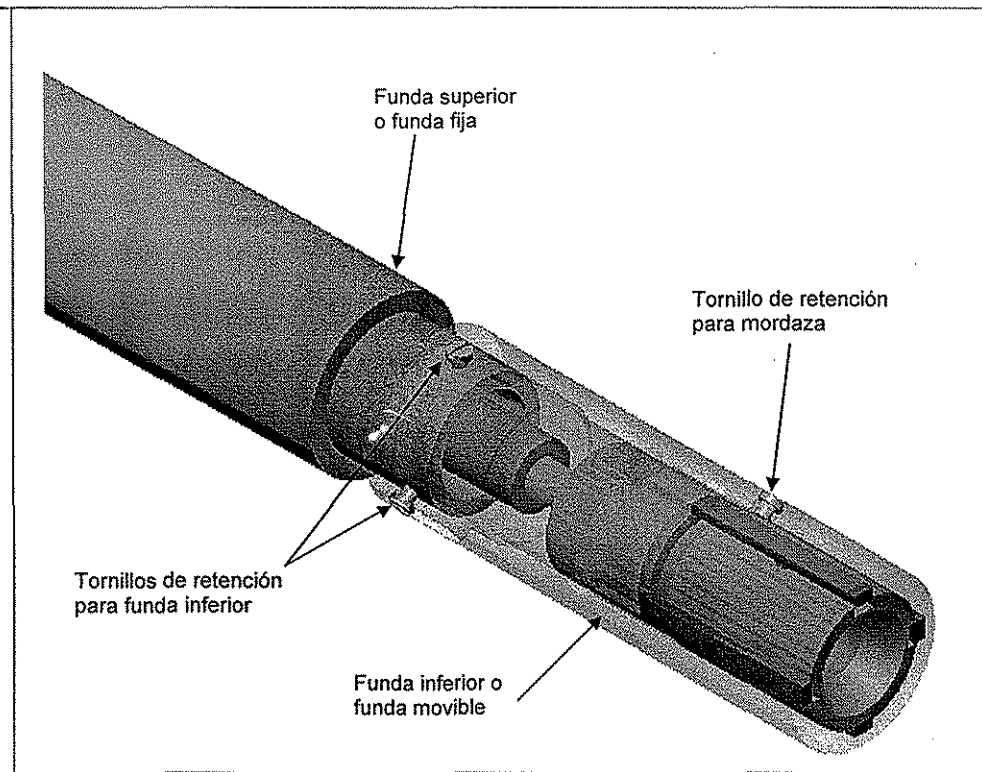
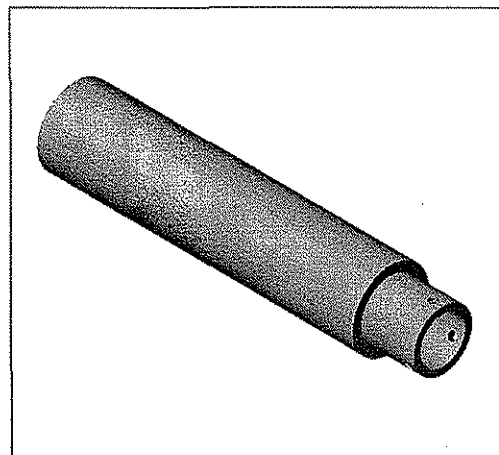


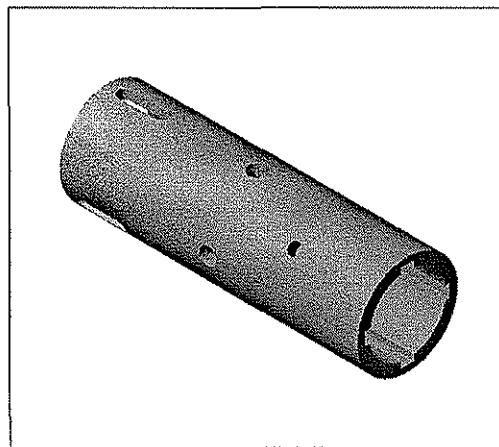
Figura 4.12 Forma de desplazamiento de funda inferior



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.13. Funda superior

b) FUNDA INFERIOR.- Este componente se puede desplazar hasta 18 mm dentro del blindaje para adaptarse a la longitud del elemento si fuera necesario, ya que cuenta con tres ojales por los cuales la funda inferior se puede desplazar acoplada a los tornillos prisioneros que se encuentran en la funda superior. Cuenta con cuatro ranuras por las cuales se desplazan las cuñas deslizables, también tiene una rosca interior de 34 mm de diámetro 16-UNF, la cual se une a la espiga roscada, del sistema de sujeción. Está fabricad de acero 4140, ver la figura 4.14.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.14. Funda inferior

### 4.3 Acoplar al sistema de traslado

Ya que la herramienta para combustibles es un dispositivo auxiliar en el traslado y manipulación de elementos irradiados, es indispensable diseñar una pieza, la cual le brinde al operario seguridad para trabajar con ella, y además, que tenga la facilidad para interactuar con los dispositivos para manipulación y transporte de combustibles.

### 4.3.1 Tapón de la herramienta

Esta pieza es la parte superior de la herramienta, ya que cuando la herramienta está sujetando un combustible ésta se posiciona sobre el blindaje para traslado. Tiene una rosca interna de diámetro 3/4" 16-UNF, por donde se desplaza la flecha, además cuenta con dos tubos para proporcionar agarre con las grúas transportadoras.

Al tapón se le incorporó un blindaje de 60 mm de espesor axial (el cálculo de este se realizó con el programa Mshield, ver apéndice I), en plomo por ser un material de alta densidad, bajo costo y además dentro del instituto se tienen las instalaciones para fundir y moldear con éste. El material que se utilizó para la fabricación es tubería de acero cédula 40 (ver especificaciones de tubería de acero, apéndice I), ya que ahorra tiempo costos de fabricación, tal como se muestra en la figura 4.15.

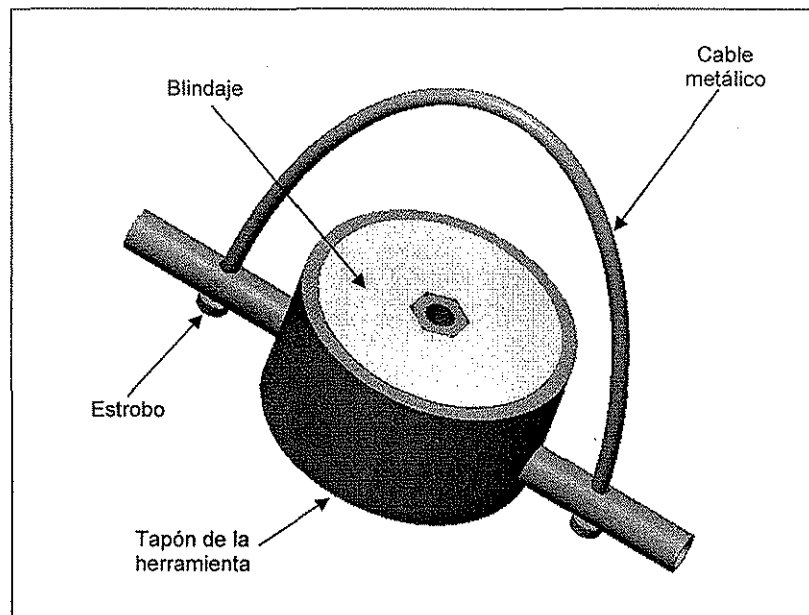


Figura 4.15. Tapón de la herramienta

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 4.3.2 Forma de acoplamiento al sistema de traslado

Ya que para el manejo y desplazamiento de la herramienta el instituto cuenta con un sistema ya establecido, que consta de:

a) GRÚA VIAJERA.- Ésta es una grúa con capacidad para 10 toneladas de carga, la cual se puede desplazar por toda el área cercana a la piscina del reactor, por lo tanto es la encargada de transportar al blindaje junto con la herramienta acoplada al combustible de la alberca al carro para blindaje.

b) CARRO PARA BLINDAJE.- Es un carro manual en el cual se pueden transportar hasta 5 toneladas de peso, el cual puede desplazar el blindaje desde la piscina del reactor hasta las celdas calientes.

c) GRÚA DE CELDA.- Ésta se encuentra en el interior de la celda caliente y tiene capacidad de una tonelada, y será la encargada de sacar a la herramienta junto con el elemento del blindaje y desplazarlos hasta una posición deseada.

d) MANIPULADOR DE CELDA.- Este dispositivo se encarga de posicionar a la herramienta exactamente en un lugar deseado.

Entonces el diseño planteaba simplemente la forma más adecuada de acoplar o asir la herramienta al sistema de transporte. En tal caso se propuso utilizar un cable de acero tipo estándar con 1/4" de diámetro y 6 x 7, es decir 6 torones y 7 alambres por cada torón. Donde la longitud total del cable metálico es de 50 cm. Y está unido al tapón de herramienta por dos estrobos de 1/4". Ver figura 4.15

## ***CAPÍTULO 5***

# ***CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS***

En este capítulo se hace una descripción de la herramienta; así como también del procedimiento de manejo de combustibles irradiados de la piscina del reactor a celdas calientes con dicha herramienta diseñada. También se presentan imágenes obtenidas durante el desarrollo experimental del trabajo de medición de los niveles de radiación en combustibles del reactor Triga-Mark III. Además se presentan mediciones de rapidez de exposición realizadas al tapón de la herramienta cuando se transportan los combustibles, y también la rapidez de exposición de los combustibles en la celda caliente.

## 5.1 Descripción de la herramienta

El proyecto descrito anteriormente, resulta en el diseño y fabricación de un prototipo realizado con maquinaria convencional en los talleres generales del instituto, es mostrado en la figura 5.1. Esta herramienta para el manejo de combustibles irradiados es la primera, diseñada en el departamento del reactor, ya que anteriormente se tenía que comprar a General Atomic, proveedor de equipo para reactores de investigación.

El costo aproximado fue de \$ 7,000. Considerando los materiales de fabricación y las piezas de adquisición. Mientras que el tiempo efectivo de trabajo utilizado por dos personas de talleres generales fue de 240 horas.

La mayoría de las piezas de la herramienta fueron maquinadas en acero AISI 4140, excepto para el tapón, en el cual se utilizó tubería de acero cédula 40. Además para protección del operario contra la radiación se agregó un blindaje de plomo.

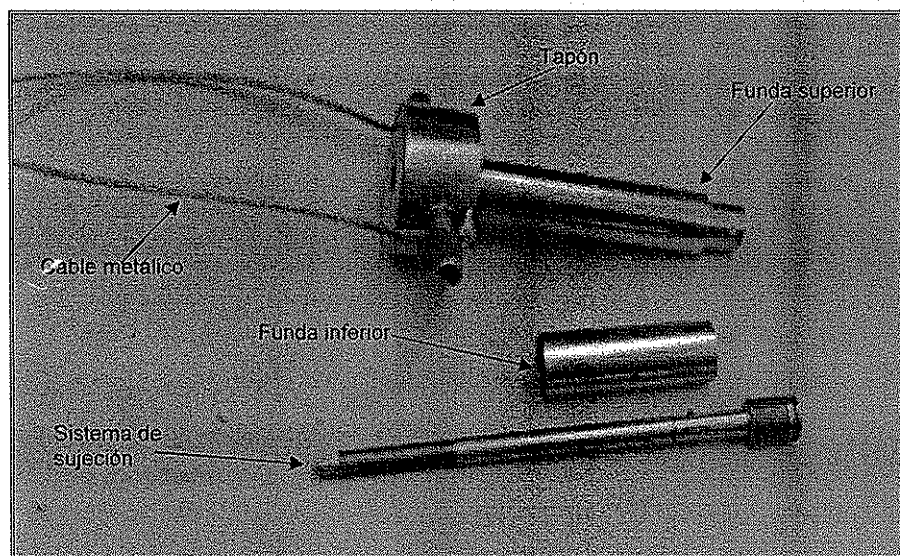


Figura 5.1. Herramienta desensamblada.

El sistema de sujeción de la herramienta consiste de piezas maquinadas y piezas adquiridas. El sistema consiste de un conjunto de cuatro balines que son empujados, por las cuñas deslizables (ver figura 5.2), para sujetar al combustible, esto sucede cuando el operador gira la flecha en sentido de las manecillas del reloj, pero si desea liberar entonces gira la flecha en sentido contrario quedando los balines libres que son empujados a su alojamiento por el tapón superior del elemento.

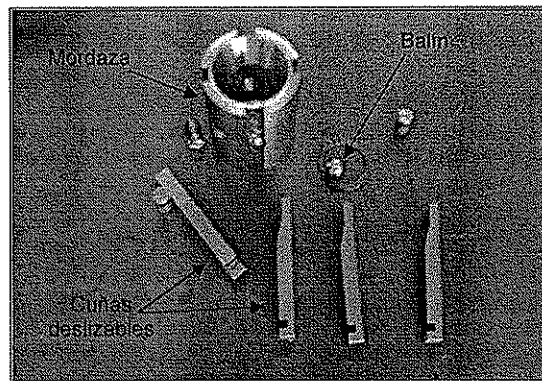


Figura 5.2. Morzada, y cuñas deslizables del sistema de sujeción

En la figura 5.3 se muestra al sistema de sujeción completo, mientras que en la figura 5.4 se ve al sistema junto a un elemento combustible sin activar fuera de la funda de la herramienta.

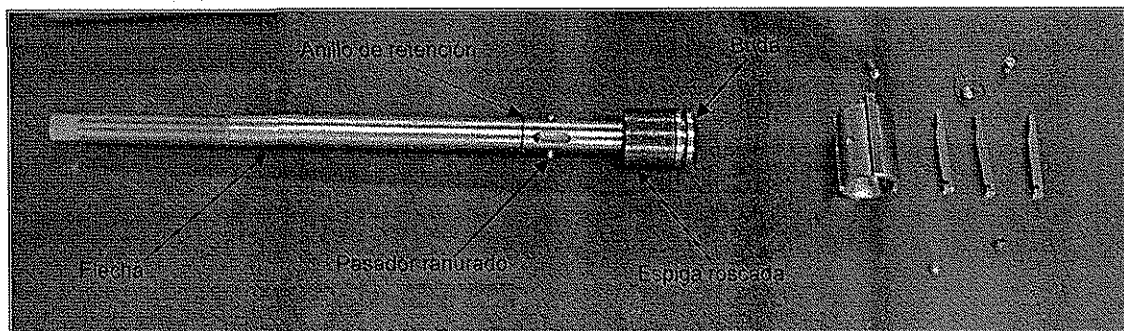


Figura 5.3. Sistema de sujeción

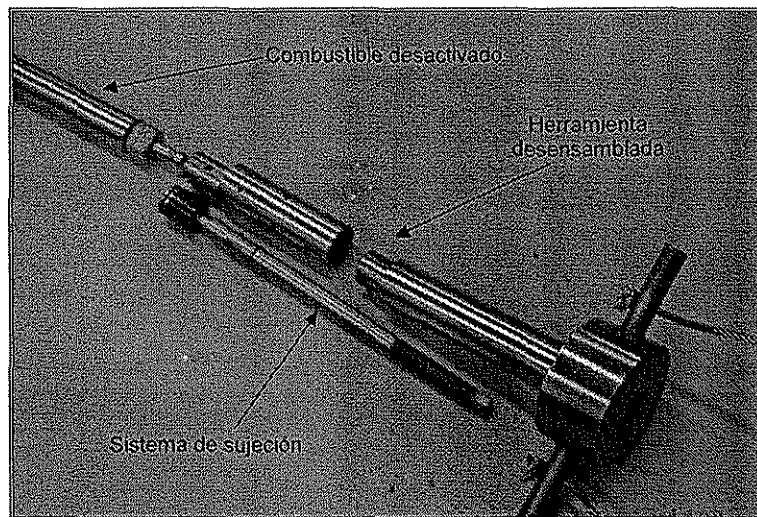


Figura 5.4. Sistema de sujeción junto a un combustible desactivado.

Para trasladar y posicionar la herramienta al interior del blindaje para traslado o cuando se encuentra acoplada con un combustible en el interior de una celda caliente, se utiliza un cable de acero acoplado a los tubos de agarre con que cuenta el tapón de la herramienta, ver figura 5.5. Por este medio, ya sea una grúa o manualmente se puede mover la herramienta.

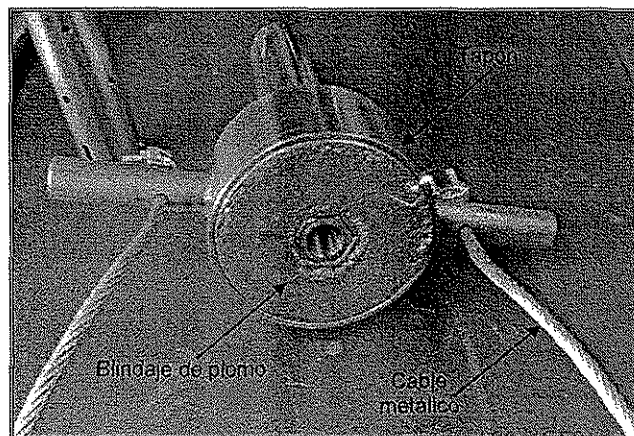


Figura 5.5. Funda superior y tapón de la herramienta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se ha descrito una herramienta para manejar combustible irradiado (figura 5.6) que cuenta con las siguientes dimensiones: longitud total de 421 mm, diámetro de funda 48 mm y diámetro de tapón sin considerar tubos de agarre de 114.3 mm.

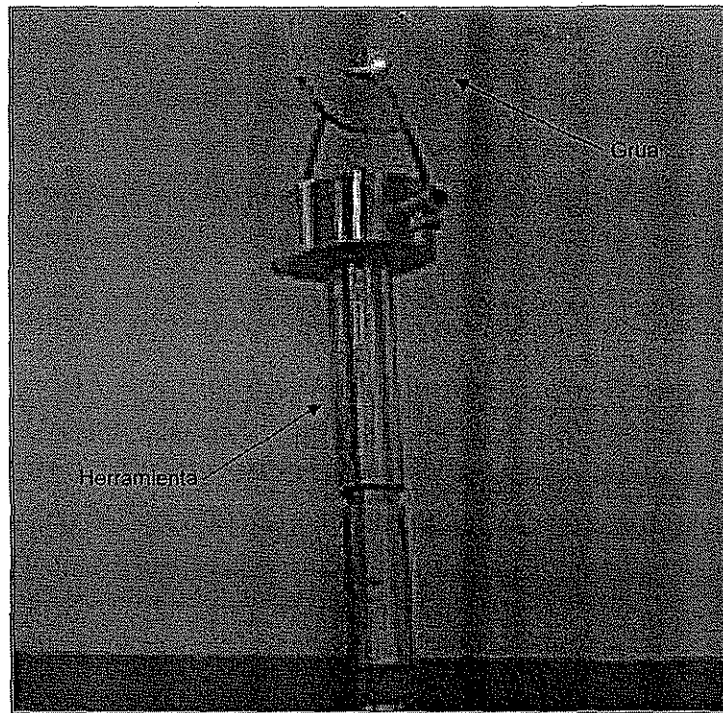


Figura 5.6. Prototipo de la herramienta

## 5.2 Pruebas

Los combustibles manipulados con la herramienta fueron de dos diferentes niveles de enriquecimiento de uranio-235. Los primeros fueron elementos estándar enriquecidos al 20% con U-235, mientras que los segundos fueron combustibles denominados FLIP enriquecidos al 70%. Pero para ambos combustible el procedimiento para medir los niveles de radiación, es el mismo.

### 5.2.1 Desarrollo experimental

El objetivo que se persigue al sacar los elementos combustibles de la piscina del reactor es de cuantificar el envejecimiento o decaimiento radiactivo de estos mediante la medición de los niveles de radiactividad que presentan, sin blindaje. Por lo tanto se tienen que llevar a un lugar acondicionado para este tipo trabajo.

Dentro del instituto se encuentran las instalaciones conocidas celdas calientes (ver figura 5.7), las cuales se localizan 30 m de la piscina del reactor, siendo el lugar donde se puede llevar a cabo estas mediciones.

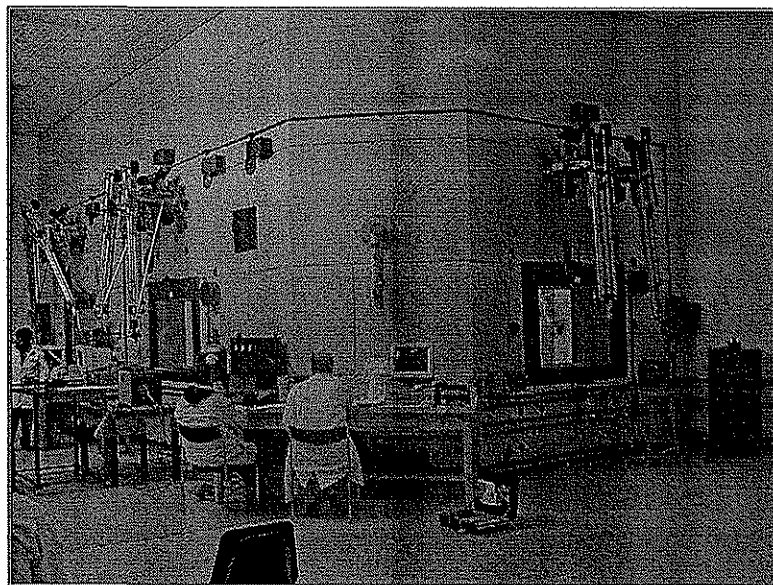


Figura 5.7. Celdas calientes

El procedimiento de manejo de combustibles irradiados con la herramienta es el siguiente:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- 1) Introducir el blindaje para traslado dentro de la piscina del reactor a cuatro metros de la superficie del agua por medio de la grúa viajera, con el fin de que la capa de agua nos brinde protección contra la radiación ionizante.
- 2) Ya que se tiene el blindaje para traslado dentro de la piscina, por medio de una mordaza se puede mover el combustible desde el núcleo del reactor hasta el interior del blindaje.
- 3) Sujetar la herramienta del cable de acero que se encuentra en los tubos de agarre del tapón e introducir al blindaje para traslado dentro de la piscina del reactor, ver la figura 5.8.

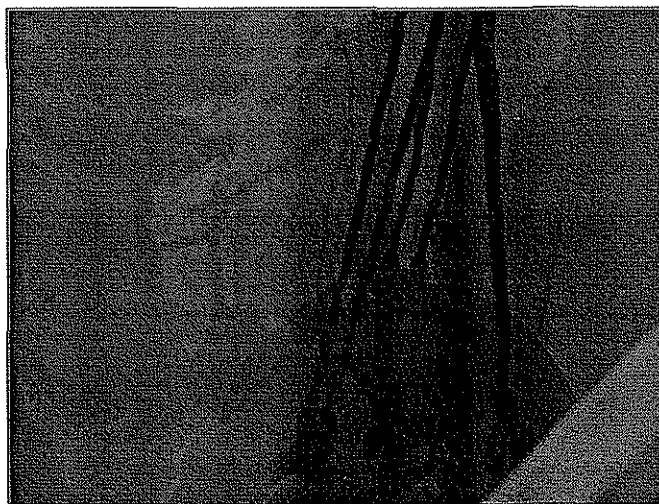


Figura 5.8. Acoplamiento de la herramienta con el blindaje dentro de la piscina

- 4) Sacar el blindaje de traslado de la piscina del reactor, para medir los niveles de radiación que hay en la superficie del tapón de herramienta (ver figura 5.13). Si los encargados de seguridad radiológica consideran que la dosis que se detecta está dentro de los límites autorizados (ver medidas de protección contra radiación en apéndice I). Entonces un operador puede manualmente o por medio de una llave de tuercas sujetar el combustible irradiado, tal como se muestra en la figura 5.9.



Figura 5.9. Sujeción del combustible

5) Transportar el blindaje con la herramienta por medio de la grúa viajera de la piscina del reactor al carro para blindaje, el cual lo llevara hasta la celda caliente, ver figura 5.10.

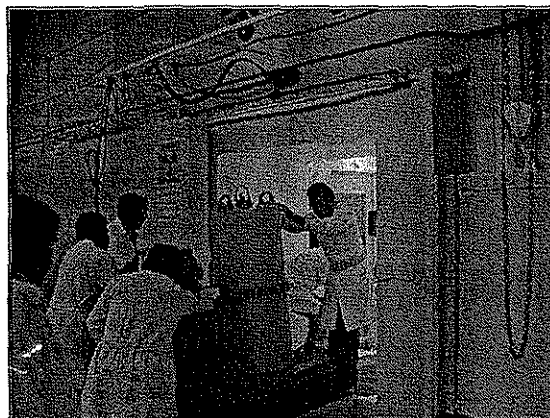
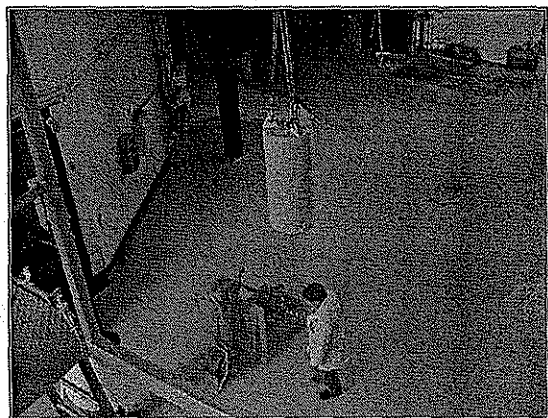


Figura 5.10. Transporte de la herramienta a celdas calientes

- 6) Ya que el blindaje se encuentra dentro de la celda caliente, la puerta de ésta se cierra para que la grúa que se encuentra en el interior pueda sacar la herramienta del blindaje, ver la figura 5.11.

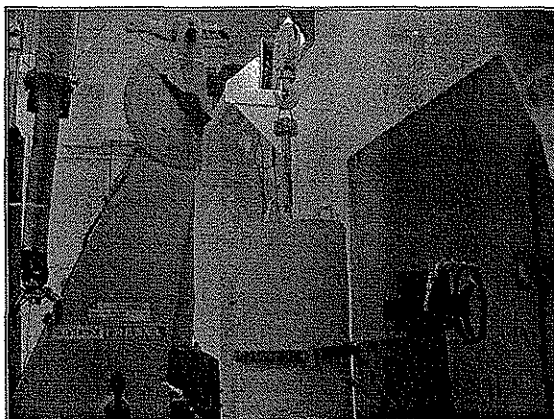


Figura 5.11. Desplazamiento de la herramienta dentro de la celda caliente

- 7) Dentro de la celda la herramienta acoplada al combustible es llevada por la grúa y posicionada con la ayuda del manipulador en un sistema para detección de radiación, donde son tomadas lecturas de la radiación que emite el combustible.

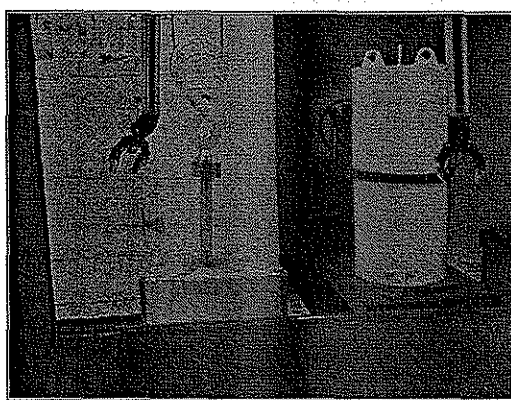
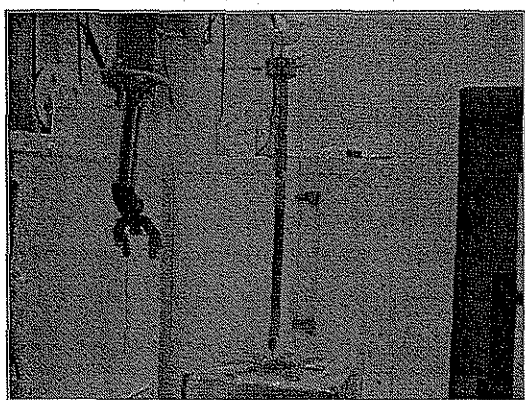


Figura 5.12. Posicionamiento del combustible en el sistema de detección

- 8) Después de realizar las mediciones la herramienta se regresa al blindaje.
- 9) De la celda caliente se traslada el blindaje al cuarto del reactor, donde es liberado del carro.
- 10) Por medio de la grúa viajera el blindaje es llevado hasta la superficie de la piscina del reactor, donde es liberado el combustible y sujeta la herramienta.
- 11) Ya dentro de la piscina la herramienta es sacada la herramienta del blindaje, para posteriormente colocar el elemento combustible dentro del núcleo del reactor.

### **5.2.2 Niveles de rapidez de exposición**

A continuación se presentan los niveles de rapidez de exposición a contacto que se obtuvieron durante el manejo de los combustibles.

#### **5.2.2.1 Rapidez de exposición en tapón de la herramienta**

Ahora se muestran las lecturas de rapidez de exposición que se tomaron cuando el combustible está siendo sujeta (ver figura 5.13). Estas mediciones se realizaron a contacto en la superficie del tapón de la herramienta y se llevaron a cabo mediante un detector de contaminación Marca Eberline, Modelo Rm14, con fecha de calibración 20 de mayo de 2001. También se presentan en las tablas 5.1 y 5.2 la lectura registrada en junio de 2001 realizada a algunos combustibles mediante el sistema anterior de traslado, durante la reparación de la tina del reactor.



Figura 5.13. Medición de rapidez de exposición en tapón de la herramienta

| Combustible | En tapón de la herramienta $\text{mR.h}^{-1}$ | En tapón con sistema anterior $\text{mR.h}^{-1}$ |
|-------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 7129        | 0.3                                           | 0.32                                             |
| 7120        | 0.44                                          | ----                                             |
| 7115        | 0.45                                          | ----                                             |
| 7114        | 0.5                                           | 0.52                                             |
| 7117        | 0.13                                          | ----                                             |
| 7116        | 0.19                                          | ----                                             |
| 6220        | 0.4                                           | ----                                             |
| 6219        | 0.2                                           | 0.21                                             |
| 6218        | 0.35                                          | 0.37                                             |

Tabla 5.1. Rapidez de exposición en el tapón de la herramienta con combustibles enriquecidos al 70% de U-235

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

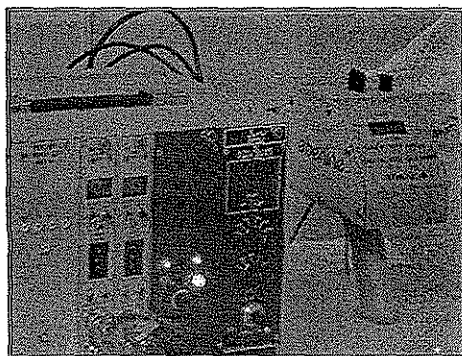
ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

| Combustible | Lectura en tapón mR.h <sup>-1</sup> | En tapón con sistema anterior mR.h <sup>-1</sup> |
|-------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 5083        | 0.044                               | 0.05                                             |
| 5086        | 0.04                                | ----                                             |
| 5090        | 0.05                                | 0.055                                            |
| 5093        | 0.09                                | ----                                             |
| 5095        | 0.035                               | ----                                             |
| 5052        | 0.036                               | 0.04                                             |

Tabla 5.2 Rapidez de exposición en el tapón de la herramienta con combustibles enriquecidos al 20% de U-235

### 5.2.2.2 Rapidez de exposición del combustible

La medición de los niveles de rapidez de exposición realizadas a los combustibles en la celda caliente mediante la utilización de la herramienta, se realizó con un sistema detector de contaminación Marca Eberline, Modelo Xp500, con fecha de calibración 1 de septiembre 2001, el cual es de reciente adquisición (ver 5.14).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

5.14 Sistema de medición de rapidez de exposición

Enseguida se muestra las tablas 5.3 y 5.4, en las cuales se encuentran las lecturas obtenidas mediante el posicionamiento del combustible con la herramienta, y también se muestra el último registro de lectura hecha, para algunos combustibles mediante el sistema de medición anterior (junio de 2001), en el cual se llevaba el medidor de contaminación hasta el blindaje de traslado, en el interior de la celda caliente, y posteriormente se introducía el medidor en el alojamiento para combustible, era entonces cuando se tomaba la lectura.

| Combustible | Mediante la herramienta R.h <sup>-1</sup> | Con sistema anterior R.h <sup>-1</sup> |
|-------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| 7129        | 105                                       | 101.8                                  |
| 7120        | 154                                       | ----                                   |
| 7115        | 157.5                                     | ----                                   |
| 7114        | 175                                       | 169.75                                 |
| 7117        | 45.5                                      | ----                                   |
| 7116        | 66.5                                      | ----                                   |
| 6220        | 140                                       | ----                                   |
| 6219        | 70                                        | 67.8                                   |
| 6218        | 122.5                                     | 118.83                                 |

Tabla 5.3. Rapidez de exposición en combustibles enriquecidos al 70% de U-235

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

| Combustible | Mediante la<br>herramienta R.h <sup>-1</sup> | Con sistema<br>anterior R.h <sup>-1</sup> |
|-------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 5083        | 15.4                                         | 14.9                                      |
| 5086        | 13.5                                         | ----                                      |
| 5090        | 17.5                                         | 16.9                                      |
| 5093        | 31.5                                         | ----                                      |
| 5095        | 12.25                                        | ----                                      |
| 5052        | 12.9                                         | 12.4                                      |

Tabla 5.4. Rapidez de exposición en combustibles enriquecidos al 20% de U-235

## ***CAPÍTULO 6***

# ***ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES***

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos. Además se comparan las especificaciones propuestas por la gente del Departamento del Reactor al inicio del proyecto contra los logros alcanzados. También se proponen las conclusiones generales del presente trabajo.



## 6.1 Análisis de resultados

Como se puede observar en el desarrollo experimental, la herramienta para el manejo de combustibles irradiados cumple con las necesidades del personal del reactor, tanto en seguridad como en el manejo y manipulación de ésta con los dispositivos del sistema de traslado de combustibles con los que cuenta el reactor.

De acuerdo con las mediciones que se llevaron a cabo con la herramienta se puede decir que es fácil de transportar debido a que su peso es de 12.4 kg. y la longitud total de 421 mm. Del mismo modo cuando se encuentra la herramienta dentro de la piscina del reactor la manipulación y acoplamiento con el blindaje es rápida y sencilla. Pero cuando la herramienta se encuentra en una celda caliente el posicionamiento en un lugar específico con los manipuladores no es tan rápida como se quisiera.

El sistema de sujeción de la herramienta es muy confiable y preciso, ya que durante las pruebas el agarre y liberación del combustible se realizó mediante un "torque" manual del operador, es decir no se utilizó una llave de tuercas.

Como se puede observar en la tabla 5.1 y 5.2, el blindaje diseñado para la herramienta disminuye en un 5% (para combustibles enriquecidos al 70% de U-235) y en un 10% (para combustibles enriquecidos al 20% de U-235), la rapidez de exposición que se presenta en el tapón del blindaje para traslado, esto al comparar contra el blindaje que se utilizaba, en el sistema anterior de manejo de combustibles irradiados.

También al comparar las lecturas de rapidez de exposición (tablas 5.3 y 5.4) en combustibles, tomadas en celdas calientes se puede comprobar que la eficiencia del sistema de medición utilizando la herramienta es de aproximadamente un 3% superior sobre el sistema anterior de medición. Lo que nos conduce a una estimación más verídica sobre el envejecimiento de los combustibles.

La dosis absorbida durante el manejo de la herramienta por una persona ocupacionalmente expuesta (POE), es de aproximadamente 0.008 mR, para el traslado de un combustible (este calculo se realizó con la media aritmética de las mediciones de rapidez de exposición en el tapón de la herramienta con combustibles enriquecidos al 70%, y para un tiempo estimado de 1.5 minutos). Una cifra muy alejada de los límites máximos permitidos por Comisión Nacional de Seguridad Nuclear Y Salvaguardas ( $200 \text{ mR.h}^{-1}$  a contacto, ver medidas de protección contra irradiación del apéndice I).

Además destacan las ventajas obtenidas con este sistema de medición ya que con él, la herramienta lleva al combustible hasta el medidor de radiación y además se puede explorar visualmente, ya que anteriormente el medidor de radiación tenía que ir hasta el alojamiento del blindaje.

### 6.1.1 Especificaciones propuestas contra resultados obtenidos

A continuación se presenta en forma sintetizada y desglosada las especificaciones de la herramienta para manejar combustibles plantadas por la gente del reactor, y se comparan contra los resultados obtenidos, ver tabla 6.1.

| Especificaciones propuesta                                                                                                    | Resultados obtenidos                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La herramienta sujetara combustibles dentro del blindaje con una longitud de $72 \pm 0.7$ cm.                                 | Debido a la movilidad de la funda inferior y el sistema de sujeción la herramienta puede asir combustibles con una longitud de $72 \pm 0.84$ cm.                                           |
| Para las piezas que se van a fabricar se debe considerar el uso de máquinas y herramientas que se encuentran dentro del ININ. | Todas las piezas maquinadas se realizaron en los talleres generales del ININ.                                                                                                              |
| Se debe trasladar y posicionar con la ayuda de grúas y manipuladores que hay en el reactor y celdas calientes.                | Gracias al cable metálico puede ser sujeta por cualquier grúa; y debido a su diámetro exterior de funda puede ser posicionada por las pinzas del manipulador de celdas calientes.          |
| Vida útil de cuatro años sin reemplazo de piezas fabricadas.                                                                  | Considerando los materiales (acero AISI 4140, plomo, etc.) que se utilizaron para su fabricación se espera una vida de por lo menos 8 años.                                                |
| El costo de los materiales de fabricación y ensamble debe ser menor de \$ 10,000.                                             | El costo de la herramienta en materiales y piezas de adquisición fue de aproximadamente \$ 7,000.                                                                                          |
| Debe contar con un blindaje que brinde protección contra la radiación, la cual debe ser menor de $200 \text{ mR.h}^{-1}$ .    | Debido a su tapón con blindaje de plomo, la dosis absorbida por la persona que maneja la herramienta durante un traslado (combustible enriquecido al 70%) fue de aproximadamente 0.008 mR. |

Tabla 6.1. Especificaciones propuestas contra resultados obtenidos

## 6.2 Conclusiones

Después de haber realizado el diseño, desarrollo y fabricación de la herramienta para el manejo de combustible nuclear se puede decir que dicha herramienta satisface las especificaciones de diseño planteadas (ver tabla 6.1) al inicio del proyecto ya que cuenta con:

- Un sistema de piezas intercambiables y de fácil ensamble para evitar tiempos muertos prolongados en caso de que alguno de los componentes presente desgaste.
- Un blindaje de protección contra la radiación, el cual le permite al operario trabajar con seguridad.
- Una técnica de agarre la cual le permite ser transportada y manipulada con los dispositivos con que se cuentan en el reactor.
- Un conjunto de piezas que le permite sujetar combustibles con una longitud variable de hasta  $\pm 8.4$  mm, dentro del blindaje.
- Un sistema de sujeción y liberación eficiente y seguro, el cual permite hacer el transporte de combustibles rápidamente.
- Una larga vida, a pesar del ambiente de trabajo debido a que los materiales con los que esta construida, son resistentes a la corrosión y al desgaste.
- Un precio económico ya que tanto los materiales como las piezas de adquisición son de bajo costo.

- Piezas que son fabricadas de forma rápida y sencilla, y no requieren maquinaria de gran precisión.

Con base en los resultados que se obtuvieron se puede decir que el diseño cumplió con las necesidades y especificaciones planteadas por el Departamento del Reactor del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ya que los alcances obtenidos con la herramienta han sido bastante satisfactorios. Además cabe recordar que con la participación y colaboración en proyecto de investigación se promueve el desarrollo de nuevas tecnologías en beneficio de nuestro país.

## REFERENCIAS

1. Harold Etherngton  
"Nuclear Engineering Handbook"  
Mc. Graw-Hill Book Company, Last Edition.
2. Tomas J. Connolly  
"Fundamentos de Ingeniería Nuclear"  
Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Stanford, 1983.
3. "Reglamento General de Seguridad Radiológica"  
Diario Oficial de la Federación, 22 de noviembre de 1988.
4. Notas del curso  
"Seguridad Radiológica para Profesionistas"  
Departamento de capacitación y adiestramiento, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 1996.
5. John R. Lamarsh  
"Introduction to Nuclear Engineering"  
Polytechnic Institute of New York, January 1975.
6. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
"Informe de Seguridad del Reactor Triga Mark III"  
Gerencia de Sistemas Nucleares, Aplicaciones Energéticas, 1986.
7. Moctezuma, C. Fonseca, A. Morales Armando, Ley Kro Victor  
"Conjunto del Reactor: Arquitectura, Obra Civil e Instrucciones"  
Revista Mexicana de Física, No. 19, 1970.

8. Morales Armando  
"Dirección del Reactor, Objetivos y Organización"  
Revista Mexicana de Física, No. 19, 1970.
9. General Atomic Division of General Dynamics  
"Mechanical Maintenance and Operation Manual"  
John Jay Hopkins Laboratory for Pure and Applied Science, Manual for Comisión Nacional de Energía Nuclear, March 1966.
10. Instrucción  
"Bitácora de Operación y Uso del Reactor"  
I-UR-12, Revisión No. 3, febrero de 1995.
11. Raya A. Roberto, Flores E. Rosa Maria  
"Características del Reactor Triga Mark III"  
Gerencias de Sistemas Nucleares, Dirección de Investigación y Desarrollo, ININ, junio de 1990.
12. American Society for Metals  
"Metals Handbook, Vol. 1, Properties and Selection of Metals"  
Metals Park Ohio, 1961.
13. American Welding Society  
"Welding Handbook, Vol. 3"  
Seventh Edition, 1980.
14. Procedimiento  
"Utilización de las Instalaciones de Irradiación"  
No. P.UR-19, Gerencias de Sistemas Nucleares, Dirección de Investigación y Desarrollo, ININ, marzo de 1995.

15. Archivo de Reactor Triga Mark III
16. Pugh, Stuart  
"Total Design"  
Addison Wesley Publisher Ltd. 1991.
17. Cross Nigel  
"Engineering Design Methods"  
John Wiley Editorial, August 1997.
18. Ulrich T. Karl, Eppinger D. Steven.  
"Product Design and Development"  
McGraw-Hill Book Co., 1995.
19. Mott L. Robert.  
"Diseño de Elementos de Máquinas"  
Prentice Hall, México, 1992.
20. Deutschman D. Aaron, Michaels J. Walter, Charles E. Wilson.  
"Diseño de Máquinas"  
Continental, México, 1991.
21. Faires Moring Virgil.  
"Diseño de Elementos de Máquinas"  
Limusa, México, 1998.

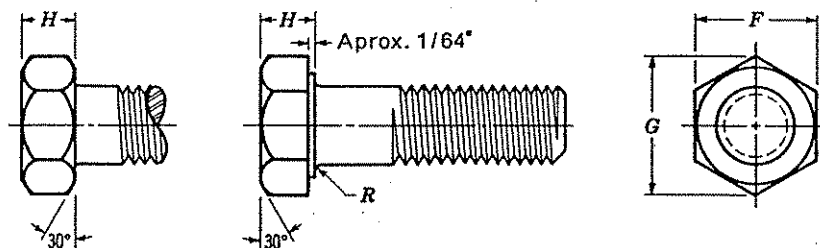
# ***APÉNDICE I***

## ***TABLAS DE DISEÑO***

| TAMAÑO | DIÁMETRO MAYOR BÁSICO |         | Hilos/<br>Pulgada | HASTA (UNC)                              |        | Área de<br>esfuerzo $A_s$ |                 | Hilos/<br>Pulgada | FINA (UNF) Y                             |        | 2 UN                                           |                 |
|--------|-----------------------|---------|-------------------|------------------------------------------|--------|---------------------------|-----------------|-------------------|------------------------------------------|--------|------------------------------------------------|-----------------|
|        | pulg                  | cm      |                   | Diámetro menor<br>rosca exterior<br>pulg | cm     | pulg <sup>2</sup>         | cm <sup>2</sup> |                   | Diámetro menor<br>rosca exterior<br>pulg | cm     | Área de<br>esfuerzo $A_s$<br>pulg <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup> |
|        |                       |         |                   |                                          |        |                           |                 |                   |                                          |        |                                                |                 |
| 0      | 0,0600                | 0,1524  |                   |                                          |        |                           |                 | 80                | 0,0447                                   | 0,1135 | 0,00180                                        | 0,0116          |
| 1      | 0,0730                | 0,1854  | 64                | 0,0538                                   | 0,1366 | 0,00263                   | 0,01697         | 72                | 0,0560                                   | 0,1422 | 0,00278                                        | 0,0179          |
| 2      | 0,0860                | 0,2184  | 56                | 0,0641                                   | 0,1628 | 0,00370                   | 0,02387         | 64                | 0,0668                                   | 0,1696 | 0,00394                                        | 0,0254          |
| 3      | 0,0990                | 0,2514  | 48                | 0,0734                                   | 0,1864 | 0,00487                   | 0,03142         | 56                | 0,0771                                   | 0,1958 | 0,00523                                        | 0,0337          |
| 4      | 0,1120                | 0,2845  | 40                | 0,0813                                   | 0,2065 | 0,00604                   | 0,03897         | 48                | 0,0864                                   | 0,2194 | 0,00661                                        | 0,0426          |
| 5      | 0,1250                | 0,3175  | 40                | 0,0943                                   | 0,2395 | 0,00796                   | 0,05135         | 44                | 0,0971                                   | 0,2466 | 0,0083                                         | 0,0535          |
| 6      | 0,1380                | 0,3505  | 32                | 0,0997                                   | 0,2532 | 0,00909                   | 0,05864         | 40                | 0,1073                                   | 0,2725 | 0,01015                                        | 0,0654          |
| 8      | 0,1640                | 0,4166  | 32                | 0,1257                                   | 0,3192 | 0,0140                    | 0,0903          | 36                | 0,1299                                   | 0,3299 | 0,01474                                        | 0,0950          |
| 10     | 0,1900                | 0,4826  | 24                | 0,1389                                   | 0,3527 | 0,0175                    | 0,1129          | 32                | 0,1517                                   | 0,3853 | 0,0200                                         | 0,1290          |
| 12     | 0,2160                | 0,5486  | 24                | 0,1649                                   | 0,4188 | 0,0242                    | 0,1561          | 28                | 0,1722                                   | 0,4373 | 0,0258                                         | 0,1665          |
| 1/4    | 0,2500                | 0,6350  | 20                | 0,1887                                   | 0,4792 | 0,0318                    | 0,2052          | 28                | 0,2062                                   | 0,5237 | 0,0364                                         | 0,2348          |
| 3/8    | 0,3125                | 0,7938  | 18                | 0,2443                                   | 0,6204 | 0,0524                    | 0,3381          | 24                | 0,2614                                   | 0,6639 | 0,0580                                         | 0,3742          |
| 1/2    | 0,3750                | 0,9525  | 16                | 0,2983                                   | 0,7576 | 0,0775                    | 0,5000          | 24                | 0,3239                                   | 0,8227 | 0,0878                                         | 0,5664          |
| 5/8    | 0,4375                | 1,1113  | 14                | 0,3499                                   | 0,8886 | 0,1063                    | 0,6857          | 20                | 0,3762                                   | 0,9555 | 0,1187                                         | 0,7658          |
| 3/4    | 0,5000                | 1,2700  | 13                | 0,4056                                   | 1,0302 | 0,1419                    | 0,9154          | 20                | 0,4387                                   | 1,1143 | 0,1599                                         | 1,0316          |
| 7/8    | 0,5625                | 1,4288  | 12                | 0,4603                                   | 1,1691 | 0,182                     | 1,174           | 18                | 0,4943                                   | 1,2555 | 0,203                                          | 1,310           |
| 1      | 0,6250                | 1,5875  | 11                | 0,5135                                   | 1,3042 | 0,226                     | 1,458           | 18                | 0,5568                                   | 1,4142 | 0,256                                          | 1,652           |
| 1 1/8  | 0,7500                | 1,9050  | 10                | 0,6273                                   | 1,5933 | 0,334                     | 2,155           | 16                | 0,6733                                   | 1,7101 | 0,373                                          | 2,406           |
| 1 1/4  | 0,875                 | 2,2225  | 9                 | 0,7387                                   | 1,8762 | 0,462                     | 2,981           | 14                | 0,7874                                   | 1,9999 | 0,509                                          | 3,284           |
| 1 1/2  | 1,0000                | 2,5400  | 8                 | 0,8466                                   | 2,1503 | 0,606                     | 3,910           | 12                | 0,8978                                   | 2,2804 | 0,663                                          | 4,277           |
| 1 5/8  | 1,125                 | 2,8575  | 7                 | 0,9497                                   | 2,4121 | 0,763                     | 4,923           | 12                | 1,0228                                   | 2,5979 | 0,856                                          | 5,523           |
| 1 3/4  | 1,2500                | 3,1750  | 7                 | 1,0747                                   | 2,7297 | 0,969                     | 6,252           | 12                | 1,1478                                   | 2,9154 | 1,073                                          | 6,923           |
| 1 7/8  | 1,375                 | 3,4925  | 6                 | 1,1705                                   | 2,9732 | 1,155                     | 7,451           | 12                | 1,2728                                   | 3,2329 | 1,315                                          | 8,484           |
| 2      | 1,5000                | 3,8100  | 6                 | 1,2955                                   | 3,2909 | 1,405                     | 9,064           | 12                | 1,3978                                   | 3,5504 | 1,581                                          | 10,200          |
| 2 1/4  | 1,7500                | 4,4450  | 5                 | 1,5046                                   | 3,8216 | 1,90                      | 12,26           | 12                | 1,6478                                   | 4,1854 | 2,1853                                         | 14,095          |
| 2 1/2  | 2,0000                | 5,0800  | 4 1/2             | 1,7274                                   | 4,3877 | 2,50                      | 16,13           | 12                | 1,8978                                   | 4,8203 | 2,8892                                         | 18,639          |
| 2 3/4  | 2,2500                | 5,7150  | 4 1/2             | 1,9774                                   | 5,0227 | 3,25                      | 20,97           | 12                | 2,1478                                   | 5,4554 | 3,6914                                         | 23,819          |
| 2 5/8  | 2,5000                | 6,3500  | 4                 | 2,1933                                   | 5,5703 | 4,00                      | 25,81           | 12                | 2,3978                                   | 6,0904 | 4,5916                                         | 29,620          |
| 2 3/4  | 2,7500                | 6,9850  | 4                 | 2,4433                                   | 6,2053 | 4,93                      | 31,81           | 12                | 2,6478                                   | 6,7254 | 5,5900f                                        | 36,060          |
| 3      | 3,0000                | 7,6200  | 4                 | 2,6933                                   | 6,8403 | 5,97                      | 38,52           | 12                | 2,8978                                   | 7,3603 | 6,6865                                         | 43,141          |
| 3 1/4  | 3,2500                | 8,2550  | 4                 | 2,9433                                   | 7,4753 | 7,10                      | 45,81           | 12                | 3,1478                                   | 7,9954 | 7,8812                                         | 50,847          |
| 3 1/2  | 3,5000                | 8,9900  | 4                 | 3,1933                                   | 8,1103 | 8,33                      | 53,74           | 12                | 3,3978                                   | 8,6304 | 9,1740                                         | 59,186          |
| 3 3/4  | 3,7500                | 9,5250  | 4                 | 3,4433                                   | 8,7453 | 9,66                      | 62,32           | 12                | 3,6478                                   | 9,2654 | 10,5649                                        | 68,161          |
| 4      | 4,0000                | 10,1600 | 4                 | 3,6933                                   | 9,3803 | 11,08                     | 71,48           | 12                | 3,8978                                   | 9,9003 | 12,0540                                        | 77,766          |

Tabla 1 Roscas de tornillos americana basta y fina.

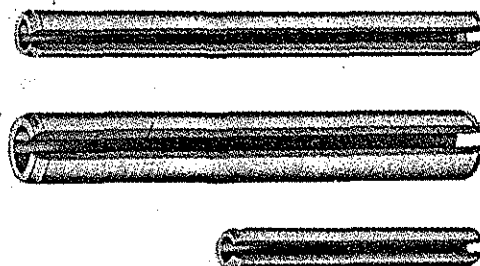
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



| Tamaño nominal o diámetro mayor básico de la rosca | Diámetro mínimo del cuerpo (el máximo es igual al nominal) | Ancho entre caras<br>F |                  | Ancho entre aristas<br>G |       | Nom   | Altura<br>H |                 | Radio de entalle<br>R |       |       |       |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|------------------|--------------------------|-------|-------|-------------|-----------------|-----------------------|-------|-------|-------|
|                                                    |                                                            | Máx (básico)           | Mín              | Máx                      | Mín   |       | Máx         | Mín             | Máx                   | Mín   |       |       |
| $\frac{1}{4}$                                      | 0.2500                                                     | 0.2450                 | $\frac{7}{16}$   | 0.4375                   | 0.428 | 0.505 | 0.488       | $\frac{5}{32}$  | 0.163                 | 0.150 | 0.023 | 0.009 |
| $\frac{5}{16}$                                     | 0.3125                                                     | 0.3065                 | $\frac{1}{2}$    | 0.5000                   | 0.489 | 0.577 | 0.557       | $\frac{13}{64}$ | 0.211                 | 0.195 | 0.023 | 0.009 |
| $\frac{3}{8}$                                      | 0.3750                                                     | 0.3690                 | $\frac{9}{16}$   | 0.5625                   | 0.551 | 0.650 | 0.628       | $\frac{15}{64}$ | 0.243                 | 0.226 | 0.023 | 0.009 |
| $\frac{7}{16}$                                     | 0.4375                                                     | 0.4305                 | $\frac{5}{8}$    | 0.6250                   | 0.612 | 0.722 | 0.698       | $\frac{3}{32}$  | 0.291                 | 0.272 | 0.023 | 0.009 |
| $\frac{1}{2}$                                      | 0.5000                                                     | 0.4930                 | $\frac{3}{4}$    | 0.7500                   | 0.736 | 0.866 | 0.840       | $\frac{5}{16}$  | 0.323                 | 0.302 | 0.023 | 0.009 |
| $\frac{9}{16}$                                     | 0.5625                                                     | 0.5545                 | $\frac{13}{16}$  | 0.8125                   | 0.798 | 0.938 | 0.910       | $\frac{23}{64}$ | 0.371                 | 0.348 | 0.041 | 0.021 |
| $\frac{5}{8}$                                      | 0.6250                                                     | 0.6170                 | $\frac{15}{16}$  | 0.9375                   | 0.922 | 1.083 | 1.051       | $\frac{25}{64}$ | 0.403                 | 0.378 | 0.041 | 0.021 |
| $\frac{3}{4}$                                      | 0.7500                                                     | 0.7410                 | $1\frac{1}{8}$   | 1.1250                   | 1.100 | 1.299 | 1.254       | $\frac{15}{32}$ | 0.483                 | 0.455 | 0.041 | 0.021 |
| $\frac{7}{8}$                                      | 0.8750                                                     | 0.8660                 | $1\frac{5}{16}$  | 1.3125                   | 1.285 | 1.516 | 1.465       | $\frac{25}{64}$ | 0.563                 | 0.531 | 0.062 | 0.047 |
| 1                                                  | 1.0000                                                     | 0.9900                 | $1\frac{1}{2}$   | 1.5000                   | 1.469 | 1.732 | 1.675       | $\frac{23}{64}$ | 0.627                 | 0.591 | 0.062 | 0.047 |
| $1\frac{1}{8}$                                     | 1.1250                                                     | 1.1140                 | $1\frac{11}{16}$ | 1.6875                   | 1.631 | 1.949 | 1.859       | $\frac{11}{16}$ | 0.718                 | 0.658 | 0.125 | 0.110 |
| $1\frac{1}{4}$                                     | 1.2500                                                     | 1.2390                 | $1\frac{7}{8}$   | 1.8750                   | 1.812 | 2.165 | 2.066       | $\frac{25}{32}$ | 0.813                 | 0.749 | 0.125 | 0.110 |
| $1\frac{3}{8}$                                     | 1.3750                                                     | 1.3630                 | $2\frac{1}{16}$  | 2.0625                   | 1.994 | 2.382 | 2.273       | $\frac{27}{32}$ | 0.878                 | 0.810 | 0.125 | 0.110 |
| $1\frac{1}{2}$                                     | 1.5000                                                     | 1.4880                 | $2\frac{1}{4}$   | 2.2500                   | 2.175 | 2.598 | 2.480       | $\frac{13}{16}$ | 0.974                 | 0.902 | 0.125 | 0.110 |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 2 Dimensiones de tornillos con cabeza hexagonal.



|                                                                                                                   |                                                                                                                               |                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Tipo A</p> <p>Tres ranuras cónicas a lo largo de toda la longitud del pasador.</p>                             | <p>Tipo B</p> <p>Tres ranuras cónicas hasta la mitad de la longitud del pasador.</p>                                          | <p>Tipo C</p> <p>Tres ranuras rectas a lo largo de toda la longitud del pasador con guala en uno de los extremos.</p> |
| <p>Tipo D</p> <p>Tres ranuras de concidad inversa hasta la mitad de la longitud del pasador.</p>                  | <p>Tipo E</p> <p>Tres ranuras extendidas desde el centro del pasador y de longitud de la mitad del pasador.</p>               | <p>Tipo F</p> <p>Tres ranuras rectas a lo largo de toda la longitud del pasador con guala en ambos extremos.</p>      |
| <p>Tipo G</p> <p>Tres ranuras cónicas de la mitad de la longitud del pasador con ranura anular en un extremo.</p> | <p>Tipo H</p> <p>Tres ranuras de concidad inversa de la mitad de la longitud del pasador con ranura anular en un extremo.</p> | <p>Tipo J</p> <p>Tres ranuras extendidas desde el centro del pasador con ranuras anulares en cada extremo.</p>        |

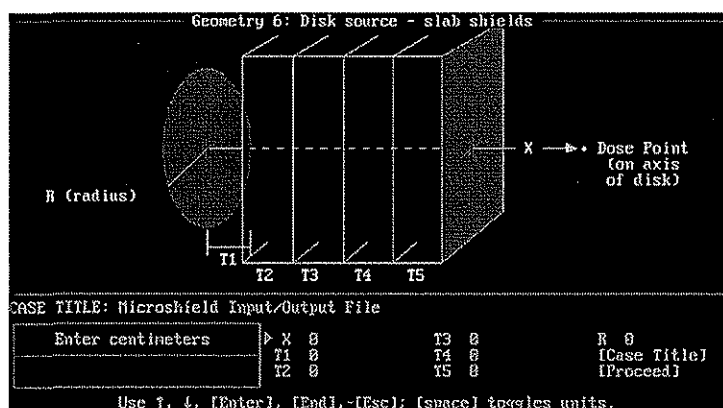
Tabla 3 Tipos de pasadores ranurados.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>BÁSICO N5000</b><br/>Para carcasas y diám. int.</p> <p>Rango de tamaños: 250—10 0"</p> <p>6.4—254.0 mm</p> <p>INTERNO</p>                                                     |  <p><b>EN FORMA DE ARCO 5101*</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .188—1.750"</p> <p>4.8—44.4 mm</p> <p>EXTERNO</p> |  <p><b>REFORZADO 5115</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .094—1 0"</p> <p>•</p> <p>EXTERNO</p>                      |  <p><b>TRABAJO PESADO 5160</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .394—2 0"</p> <p>10.0—50.8 mm</p> <p>EXTERNO</p>    |
|  <p><b>EN FORMA DE ARCO N5001*</b><br/>Para carcasas y diám. int.</p> <p>Rango de tamaños: .250—1.750"</p> <p>6.4—44.4 mm</p> <p>INTERNO</p>                                         |  <p><b>BISELADOS 5102</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: 1 0—10 0"</p> <p>25.4—254.0 mm</p> <p>EXTERNO</p>         |  <p><b>ANILLO "E" EN ARCO 5131</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .110—1.375"</p> <p>2.8—34.9 mm</p> <p>EXTERNO</p> |  <p><b>KLIPRING® 5304 T-5304</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .156—1.000"</p> <p>4.0—25.4 mm</p> <p>EXTERNO</p> |
|  <p><b>BISELADOS "N5002"/"N5003"</b><br/>Para carcasas y diám. int.</p> <p>Rango de tamaños: 1.0—10.0"</p> <p>25.4—254.0 mm</p> <p>1.56—2.51"</p> <p>39.7—71.4 mm</p> <p>INTERNO</p> |  <p><b>CRESCENT® 5103</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .125—2 0"</p> <p>3.2—50.8 mm</p> <p>EXTERNO</p>           |  <p><b>ANILLO "E" 5133</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .080—1.375"</p> <p>1.0—34.9 mm</p> <p>EXTERNO</p>         |  <p><b>GRIPRING® 5555</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .079—.750"</p> <p>2.0—19.0 mm</p> <p>EXTERNO</p>         |
|  <p><b>CIRCULARES 5005</b><br/>Para carcasas y diám. int.</p> <p>Rango de tamaños: .312—2 0"</p> <p>•</p> <p>INTERNO</p>                                                            |  <p><b>CIRCULARES 5105</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .094—1 0"</p> <p>•</p> <p>EXTERNO</p>                   |  <p><b>RADIAL GRIPRING® 5135</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .094—.375"</p> <p>2.4—9.5 mm</p> <p>EXTERNO</p>    |  <p><b>ALTA RESISTENCIA 5560*</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .101—328"</p> <p>•</p> <p>EXTERNO</p>           |
|  <p><b>INVERTIDOS 5008</b><br/>Para carcasas y diám. int.</p> <p>Rango de tamaños: .750—4 0"</p> <p>19.0—101.6 mm</p> <p>INTERNO</p>                                               |  <p><b>DE SEGURO 5107*</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .469—3.375"</p> <p>11.9—85.7 mm</p> <p>EXTERNO</p>     |  <p><b>RONG LOCK® 5139*</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .092—.438"</p> <p>•</p> <p>EXTERNO</p>                 |  <p><b>GHOMBRO PERMAN. 5590*</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .750—750"</p> <p>6.4—19.0 mm</p> <p>EXTERNO</p> |
|  <p><b>BÁSICO 5100</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .125—10 0"</p> <p>3.2—254.0 mm</p> <p>EXTERNO</p>                                                           |  <p><b>INVERTIDOS 5108</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .500—4 0"</p> <p>12.7—101.6 mm</p> <p>EXTERNO</p>      |  <p><b>ANILLO "E" REF. 5144</b><br/>Para ejes y pernos</p> <p>Rango de tamaños: .094—.562"</p> <p>2.4—14.3 mm</p> <p>EXTERNO</p>   | <p>* Tipo de anillo que no es producto de línea; disponible sólo bajo pedido especial.</p>                                                                                                                            |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 4 Tipos de anillos de retención.



Programa Mshield, para cálculo de espesores de blindaje contra radiación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

| DIAMETRO NOMINAL | Cédula | Diámetro Ext. |        | Diámetro Int. |        | Espesor |       | Peso KG. X MT. |
|------------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------|-------|----------------|
|                  |        | Pulg.         | m/m    | Pulg.         | m/m    | Pulg.   | m/m   |                |
| 1/8"             | 40     | 0.405"        | 10.29  | 0.269"        | 6.83   | 0.068"  | 1.73  | 0.357          |
|                  | 80     | 0.405"        | 10.29  | 0.215"        | 5.46   | 0.095"  | 2.41  | 0.461          |
| 1/4"             | 40     | 0.540"        | 13.72  | 0.364"        | 9.25   | 0.088"  | 2.24  | 0.625          |
|                  | 80     | 0.540"        | 13.72  | 0.302"        | 7.67   | 0.119"  | 3.02  | 0.804          |
| 3/8"             | 40     | 0.675"        | 17.15  | 0.493"        | 12.52  | 0.091"  | 2.31  | 0.846          |
|                  | 80     | 0.675"        | 17.15  | 0.423"        | 10.74  | 0.126"  | 3.20  | 1.101          |
| 1/2"             | 40     | 0.840"        | 21.34  | 0.622"        | 15.80  | 0.109"  | 2.77  | 1.205          |
|                  | 80     | 0.840"        | 21.34  | 0.546"        | 13.87  | 0.143"  | 3.73  | 1.622          |
|                  | 160    | 0.840"        | 21.34  | 0.466"        | 11.84  | 0.187"  | 4.75  | 1.935          |
|                  | XXS    | 0.840"        | 21.3   | 0.252"        | 6.40   | 0.294"  | 7.47  | 2.544          |
| 3/4"             | 40     | 1.050"        | 26.67  | 0.824"        | 20.93  | 0.113"  | 2.87  | 1.682          |
|                  | 80     | 1.050"        | 26.67  | 0.742"        | 18.85  | 0.154"  | 3.91  | 2.188          |
|                  | 160    | 1.050"        | 26.67  | 0.614"        | 15.60  | 0.213"  | 5.54  | 2.867          |
|                  | XXS    | 1.050"        | 26.67  | 0.434"        | 11.02  | 0.308"  | 7.82  | 3.631          |
| 1"               | 40     | 1.315"        | 33.40  | 1.049"        | 26.64  | 0.133"  | 3.38  | 2.500          |
|                  | 80     | 1.315"        | 33.40  | 0.957"        | 24.31  | 0.179"  | 4.55  | 3.279          |
|                  | 160    | 1.315"        | 33.40  | 0.815"        | 20.70  | 0.250"  | 6.35  | 4.224          |
|                  | XXS    | 1.315"        | 33.46  | 0.599"        | 15.21  | 0.358"  | 9.09  | 5.446          |
| 1-1/4"           | 40     | 1.660"        | 42.16  | 1.300"        | 33.05  | 0.140"  | 3.56  | 3.378          |
|                  | 80     | 1.660"        | 42.16  | 1.278"        | 32.46  | 0.191"  | 4.85  | 4.464          |
|                  | 160    | 1.660"        | 42.16  | 1.160"        | 29.46  | 0.250"  | 6.35  | 5.595          |
|                  | XXS    | 1.660"        | 42.16  | 0.895"        | 22.76  | 0.362"  | 9.70  | 7.752          |
| 1-1/2"           | 40     | 1.900"        | 48.26  | 1.610"        | 40.89  | 0.145"  | 3.68  | 4.048          |
|                  | 80     | 1.900"        | 48.26  | 1.500"        | 38.10  | 0.200"  | 5.08  | 5.402          |
|                  | 160    | 1.900"        | 48.26  | 1.338"        | 33.99  | 0.281"  | 7.14  | 7.232          |
|                  | XXS    | 1.900"        | 48.26  | 1.100"        | 27.94  | 0.400"  | 10.16 | 9.538          |
| 2"               | 40     | 2.375"        | 60.33  | 2.067"        | 52.50  | 0.154"  | 3.91  | 5.432          |
|                  | 80     | 2.375"        | 60.33  | 1.939"        | 49.25  | 0.218"  | 5.54  | 7.471          |
|                  | 160    | 2.375"        | 60.33  | 1.689"        | 42.90  | 0.343"  | 8.71  | 11.072         |
|                  | XXS    | 2.375"        | 60.33  | 1.503"        | 38.16  | 0.435"  | 11.07 | 13.437         |
| 2-1/2"           | 40     | 2.875"        | 73.03  | 2.468"        | 62.71  | 0.203"  | 5.16  | 8.616          |
|                  | 80     | 2.875"        | 73.03  | 2.323"        | 59.00  | 0.276"  | 7.01  | 11.399         |
|                  | 160    | 2.875"        | 73.03  | 2.126"        | 53.98  | 0.375"  | 9.53  | 14.896         |
|                  | XXS    | 2.875"        | 73.03  | 1.771"        | 44.98  | 0.552"  | 14.02 | 20.386         |
| 3"               | 40     | 3.500"        | 88.90  | 3.068"        | 77.93  | 0.216"  | 5.49  | 11.280         |
|                  | 80     | 3.500"        | 88.90  | 2.900"        | 73.66  | 0.300"  | 7.62  | 15.254         |
|                  | 160    | 3.500"        | 88.90  | 2.625"        | 66.68  | 0.438"  | 11.13 | 21.310         |
|                  | XXS    | 3.500"        | 88.90  | 2.300"        | 58.42  | 0.600"  | 15.24 | 27.647         |
| 3-1/2"           | 40     | 4.000"        | 101.60 | 3.548"        | 90.12  | 0.226"  | 5.74  | 13.557         |
|                  | 80     | 4.000"        | 101.60 | 3.364"        | 85.45  | 0.318"  | 8.08  | 18.617         |
|                  | 160    | 4.000"        | 101.60 |               |        |         |       |                |
|                  | XXS    | 4.000"        | 101.60 | 2.728"        | 69.29  | 0.636"  | 16.15 | 32.906         |
| 4"               | 40     | 4.500"        | 114.30 | 4.026"        | 102.26 | 0.237"  | 6.02  | 16.057         |
|                  | 80     | 4.500"        | 114.30 | 3.826"        | 97.18  | 0.337"  | 8.56  | 22.293         |
|                  | 120    | 4.500"        | 114.30 | 3.625"        | 92.08  | 0.438"  | 11.12 | 28.290         |
|                  | 160    | 4.500"        | 114.30 | 3.428"        | 87.33  | 0.531"  | 13.19 | 33.498         |
|                  | XXS    | 4.500"        | 141.30 | 3.152"        | 80.06  | 0.674"  | 17.12 | 40.980         |
| 5"               | 40     | 5.563"        | 141.30 | 5.047"        | 128.18 | 0.258"  | 6.55  | 21.757         |
|                  | 80     | 5.563"        | 141.30 | 4.813"        | 122.25 | 0.375"  | 9.53  | 30.924         |
|                  | 120    | 5.563"        | 141.30 | 4.583"        | 115.90 | 0.500"  | 12.70 | 40.240         |
|                  | 160    | 5.563"        | 141.30 | 4.313"        | 109.55 | 0.625"  | 15.86 | 49.050         |
|                  | XXS    | 5.563"        | 141.30 | 4.063"        | 103.20 | 0.750"  | 19.05 | 57.362         |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 5 Especificaciones de Tubería de Acero.

## MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA IRRADIACIÓN EXTERNA

- a) Disposiciones generales
  - Conforme al RGSR, las disposiciones generales para las fuentes de radiación son:
    - Contar con sistemas de seguridad que impidan su uso por personal no autorizado (artículo 56).
    - No modificar el diseño, las condiciones de operación y el uso autorizado (artículo 57).
    - No transferir ninguna fuente de radiación a terceros que no cuenten con licencia (artículo 58).
- b) B) Medidas de protección con fuentes radiactivas selladas.
  - Utilizar solamente fuentes identificadas: radionuclido, actividad, fecha, tipo de encapsulado y número de serie.
  - Emplear dispositivos manuales o automáticos de manipulación a distancia.
  - Almacenar en su contenedor cuando no se usen.
  - No utilizar fuentes con fuga.
  - Medir periódicamente el nivel de radiación a contacto y a un metro del contenedor.
  - La rapidez de exposición a contacto del contenedor y aun metro no debe de exceder 200 mR.h<sup>-1</sup> (artículo 78 del RGSR).
  - Limitar el tiempo de permanencia del POE en el Lugar donde se almacena el contenedor.
  - Rotular el contenedor: símbolo de radiación, núclido, actividad, fecha y número de serie de la fuente.
- c) Medidas de protección con dispositivos generadores de radiación ionizante
  - Comprobar el buen funcionamiento de los sistemas de control y seguridad.
  - Verificar periódicamente las características del haz de radiación.
  - Verificar los niveles de radiación en áreas colindantes a la instalación.
  - Colocar letreros de "peligro" y "precaución" y el símbolo de radiación en los accesos a las zonas controladas.
  - Calibrar y comprobar el funcionamiento de las armas.

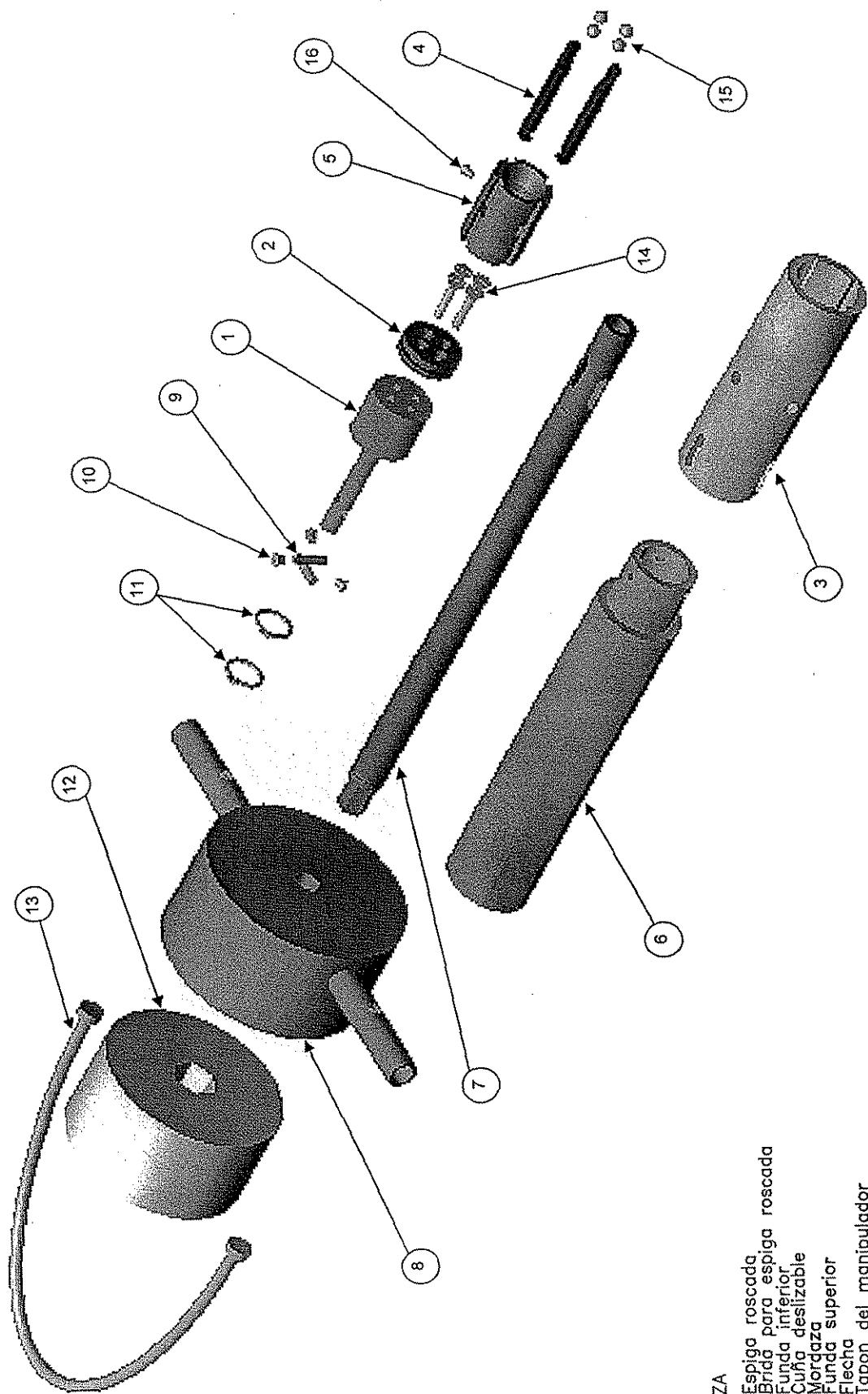
Medidas de protección contra irradiación externa, según Reglamento General de Seguridad Radiológica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ***APÉNDICE II***

### ***PLANOS DE LA HERRAMIENTA***

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

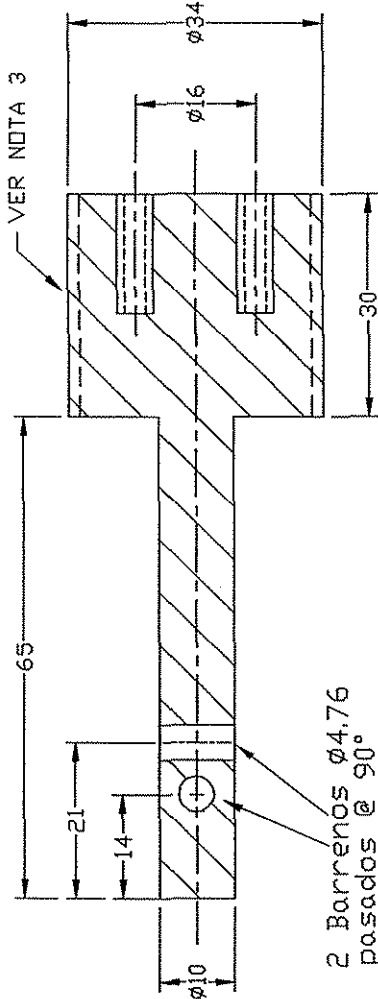
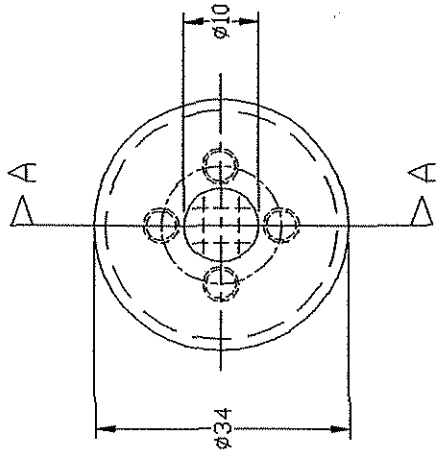


# PIEZA

1. Espiga roscada
2. Brida para espiga roscada
3. Funda inferior
4. Cufia deslizable
5. Mordaza
6. Funda superior
7. Flecha
8. Tapon del manipulador
9. Pasadores ranurados
10. Tornillos de retención de funda
11. Anillos de retención
12. Blindaje de plomo
13. Cable metálico
14. Tornillos para brida
15. Balines
16. Tornillo de retención de mordaza

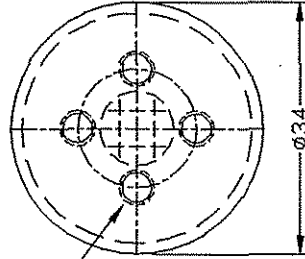
|                                                 |  |                      |  |                         |  |
|-------------------------------------------------|--|----------------------|--|-------------------------|--|
| instituto nacional de investigaciones nucleares |  | Centro Nuclear       |  | Salazar, Edo. de México |  |
| GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES               |  |                      |  |                         |  |
| TITULO: HERRAMIENTA PARA COMBUSTIBLE            |  |                      |  |                         |  |
| PROYECTO: GTI-01                                |  | PLANO No.: GTI/LG/00 |  |                         |  |
| DISEÑO                                          |  | NOMBRE               |  | FECHA                   |  |
| DIBUJO                                          |  | M.C.S.               |  | DCT/2001                |  |
| REVISO                                          |  | F.A.H.               |  | DCT/2001                |  |
| APROBO                                          |  | R.M.R.               |  | DCT/2001                |  |
| ESCALA: S / e                                   |  | ACOT: S / Q          |  |                         |  |
| PARA FABRICACION                                |  | 0                    |  | FECHA                   |  |
| POR                                             |  | CONCEPTO             |  | APROBO                  |  |
| REVISION No.                                    |  | 0                    |  | FECHA                   |  |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



2 Barrenos  $\phi 4.76$   
pasados @  $90^\circ$

CORTE A-A



VER NOTA 4

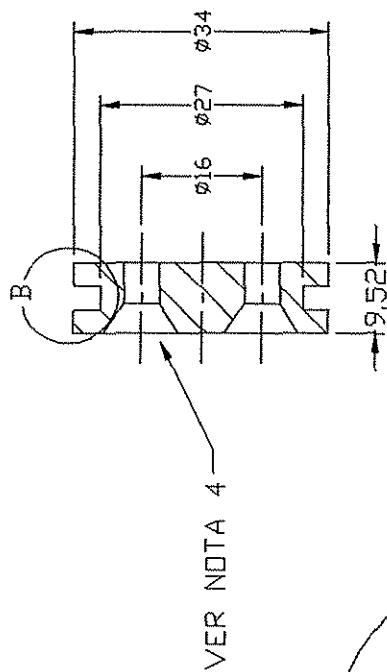
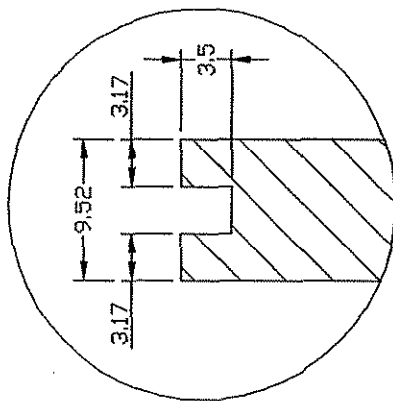
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

\* NOTAS:

1. Acero AISI 4140
2. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.2$
3. ROSCA 16-UNF
4. Cuatro roscas  $\phi 4.7$  UNC
5. 0
6. 0

VISTA POSTERIOR

|                                                                                                                                                                                                                                             |        |            |            |               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|------------|---------------|------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                           | 1      | Ver Título | Ver nota 1 | 0             | 0          |
| PZA. No.                                                                                                                                                                                                                                    | CANT.  | NOMBRE     | MATERIAL   | OBSERVACIONES | REFERENCIA |
| <p>instituto nacional de investigaciones nucleares</p> <p>Centro Nuclear<br/>Salazar, Edo. de México</p> <p>GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES</p> <p>TITULO:<br/>ESPIGA ROSCADA</p> <p>PROYECTO:<br/>GTI-01</p> <p>PLANO No.: GTI/LG/01</p> |        |            |            |               |            |
|                                                                                                                                                                                                                                             |        |            |            |               |            |
| DISEÑO                                                                                                                                                                                                                                      | NOMBRE | FECHA      |            |               |            |
| MCS/GCLJ                                                                                                                                                                                                                                    |        | DCT/2001   |            |               |            |
| DIBUJO                                                                                                                                                                                                                                      | M.C.S. | DCT/2001   |            |               |            |
| REVISO                                                                                                                                                                                                                                      | F.A.H. | DCT/2001   |            |               |            |
| APROBO                                                                                                                                                                                                                                      | R.M.R. | DCT/2001   |            |               |            |
| ESCALA:                                                                                                                                                                                                                                     | 1:1    | ACOT:      | mm         |               |            |
| PARA FABRICACION                                                                                                                                                                                                                            | 0      | FECHA      |            |               |            |
| APROBO                                                                                                                                                                                                                                      | 0      | APROBO     |            |               |            |
| REVISION No.                                                                                                                                                                                                                                | 0      | CONCEPTO   |            |               |            |

CIRTE  
A-A

DETALLE B  
Esc. 2:1

\* NOTAS:

1. Cuatro barrenos pasados  $\phi 4.7$  @  $90^\circ$ .
2. Circulo para centro de barrenos  $\phi 16$
3. Acero AISI 4140
4. Chafian para tornillo cabeza plana
5. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.1$
6. 0

|                                       |   |   |                  |   |   |       |        |          |              |              |              |
|---------------------------------------|---|---|------------------|---|---|-------|--------|----------|--------------|--------------|--------------|
| 3. Acero AISI 4140                    | 0 | 0 | PARA FABRICACION | 0 | ○ | FECHA | APROBO | CONCEPTO | REVISION No. | REVISION No. | REVISION No. |
| 4. Chafian para tornillo cabeza plana |   |   |                  |   |   |       |        |          |              |              |              |
| 5. Tolerancias no indicadas $\pm 0.1$ |   |   |                  |   |   |       |        |          |              |              |              |
| 6. 0                                  |   |   |                  |   |   |       |        |          |              |              |              |

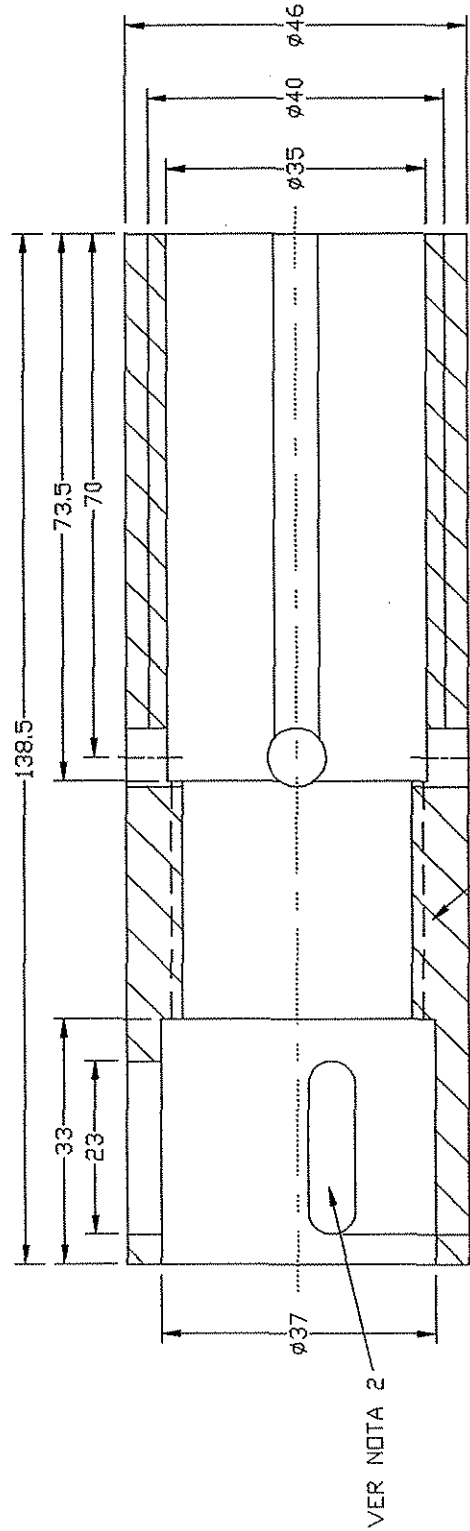
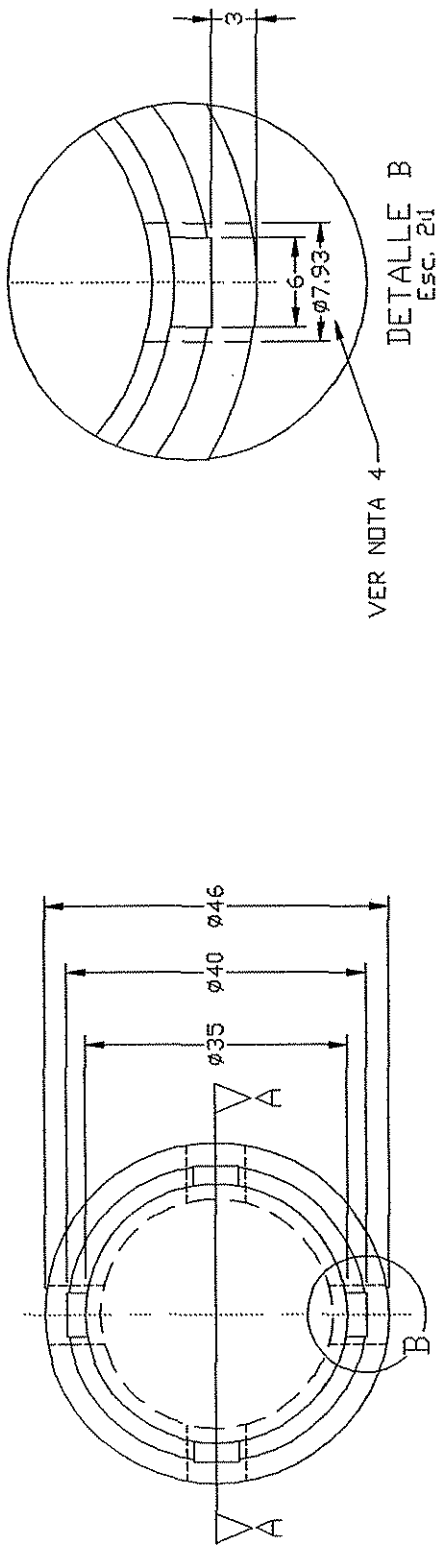
|            |  |         |  |          |
|------------|--|---------|--|----------|
| ARCHIVO: 0 |  | NOMBRE  |  | FECHA    |
|            |  | DISEÑO  |  | DCT/2001 |
|            |  | DIBUJO  |  | DCT/2001 |
|            |  | REVISO  |  | DCT/2001 |
|            |  | APROBO  |  | DCT/2001 |
|            |  | NOMBRE  |  |          |
|            |  | M.C.S.  |  |          |
|            |  | F.A.H.  |  |          |
|            |  | R.M.R.  |  |          |
|            |  | ACOT:   |  | mm       |
|            |  | ESCALA: |  | 1:1      |

|          |       |            |            |               |            |
|----------|-------|------------|------------|---------------|------------|
| 2        | 1     | Ver Titulo | Ver nota 3 | 0             | REFERENCIA |
| PZA. No. | CANT. | NOMBRE     | MATERIAL   | OBSERVACIONES |            |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |                      |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|----------------------|--|--|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>  <p><b>ININ</b></p> </div> <div> <p><b>instituto nacional de investigaciones nucleares</b></p> <p>Centro Nuclear</p> <p>Salazar, Edo. de México</p> </div> </div> |  |  |                      |  |  |
| GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |                      |  |  |
| TITULO: BRIDA PARA ESPIGA ROSCADA                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |                      |  |  |
| PROYECTO: GTI-01                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  | PLANO No.: GTI/LG/02 |  |  |



103



CORTE A-A

\* NOTAS:

1. Acero AISI 4140
2. Tres ojales de 6.35 @ 120°
3. Rosca 16-UNF por 32 de long. @ 90°
4. Cuatro barrenos ø7.93 pasados ±0.2
5. Tolerancias no indicadas ±0.2
6. 0

ARCHIVO: 0

| DISÑO     | NOMBRE | FECHA    |
|-----------|--------|----------|
| MCS/GC.I. |        | DCT/2001 |
| DIBUJO    | M.C.S. | DCT/2001 |
| REVISO    | F.A.H. | DCT/2001 |
| APROBO    | R.M.R. | DCT/2001 |

| REVISION No. | PARA FABRICACION | 0 | APROBO | FECHA | ESCALA: 1:1 | ACOT: mm |
|--------------|------------------|---|--------|-------|-------------|----------|
| 0            | CONCEPTO         |   |        |       |             |          |

| 3        | 1     | Ver Título | Ver nota 1 | 0 | OBSERVACIONES | REFERENCIA |
|----------|-------|------------|------------|---|---------------|------------|
| PZA. No. | CANT. | NOMBRE     | MATERIAL   |   |               |            |

instituto nacional de investigaciones nucleares  
Centro Nuclear  
Salazar, Edo. de México

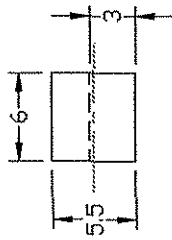
GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES

TITULO: FUNDA INFERIOR

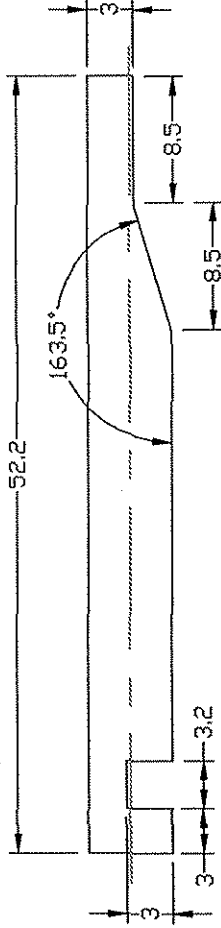
PROYECTO: GTI-01

PLANO No.: GTI/LG/03

TECIS CON  
FALLA DE ORIGEN

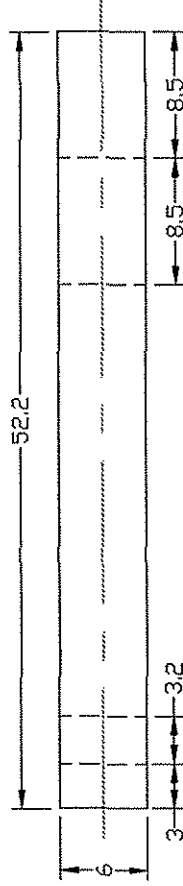


VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



VISTA PLANTA

\* NOTAS:

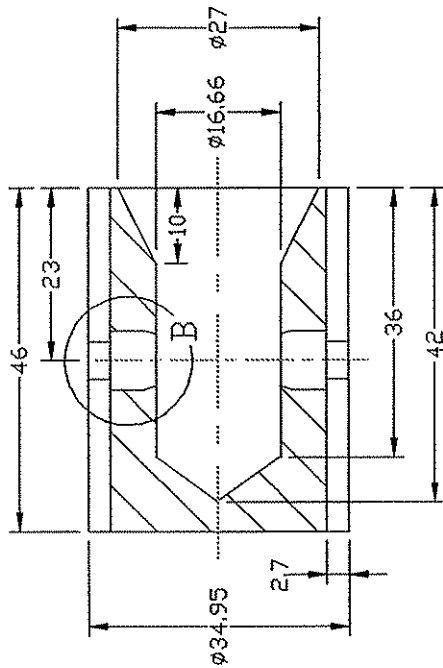
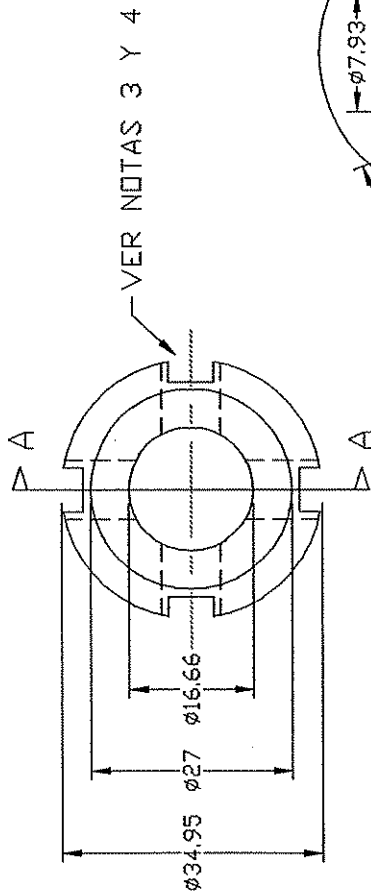
1. Acero AISI 4140
2. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.1$
3. 0
4. 0
5. 0
6. 0

ARCHIVO: 0

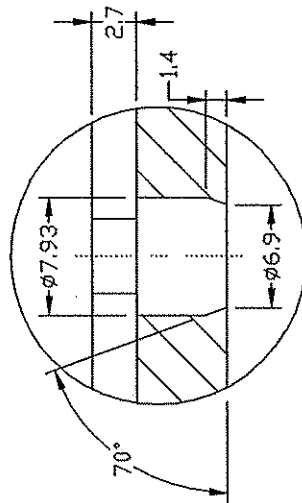
|                 |  |     |                  |           |        |                                                                                       |
|-----------------|--|-----|------------------|-----------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 6. 0            |  |     |                  |           |        |                                                                                       |
| 0               |  | 0   | PARA FABRICACION |           | 0      |  |
| REVISION<br>No. |  | POR | C O N C E P T O  |           | APROBO | FECHA                                                                                 |
|                 |  |     |                  |           | APROBO | ESCALA: 2:1                                                                           |
|                 |  |     |                  |           | ACOT:  | mm                                                                                    |
|                 |  |     |                  | NOMBRE    |        | FECHA                                                                                 |
|                 |  |     |                  | DISEÑO    |        | DCT/2001                                                                              |
|                 |  |     |                  | MCS/GC.J. |        |                                                                                       |
|                 |  |     |                  | DIBUJO    |        | DCT/2001                                                                              |
|                 |  |     |                  | M.C.S.    |        |                                                                                       |
|                 |  |     |                  | REVISO    |        | DCT/2001                                                                              |
|                 |  |     |                  | F.A.H.    |        |                                                                                       |
|                 |  |     |                  | APROBO    |        | DCT/2001                                                                              |
|                 |  |     |                  | R.M.R.    |        |                                                                                       |

| PZA. No. | CANT. | Ver Título | Ver nota 1 | OBSERVACIONES | REFERENCIA |
|----------|-------|------------|------------|---------------|------------|
| 4        | 4     |            | 0          |               | 0          |

|                                                                                                 |  |                                                 |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------|-------------------------|
|  <b>ININ</b> |  | instituto nacional de investigaciones nucleares |                         |
|                                                                                                 |  | Centro Nuclear<br>Salazar, Edo. de México       |                         |
|                                                                                                 |  | GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES               |                         |
|                                                                                                 |  | TÍTULO:<br>CUÑA DESLIZABLE                      |                         |
|                                                                                                 |  | PROYECTO:<br>GTI-01                             | PLANO No.:<br>GTI/LG/04 |



CORTE A-A



DETALLE B

Esc. 2:1

\* NOTAS:

1. Acero AISI 4140
2. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.1$
3. Cuatro barrenos como se indica en detalle B
4. Ranura de 3 x 6 x 46 long.
5. 0
6. 0

| 5        | 1     | Ver Título | Ver nota 1 | 0             | 0          |
|----------|-------|------------|------------|---------------|------------|
| PZA. No. | CANT. | NOMBRE     | MATERIAL   | OBSERVACIONES | REFERENCIA |

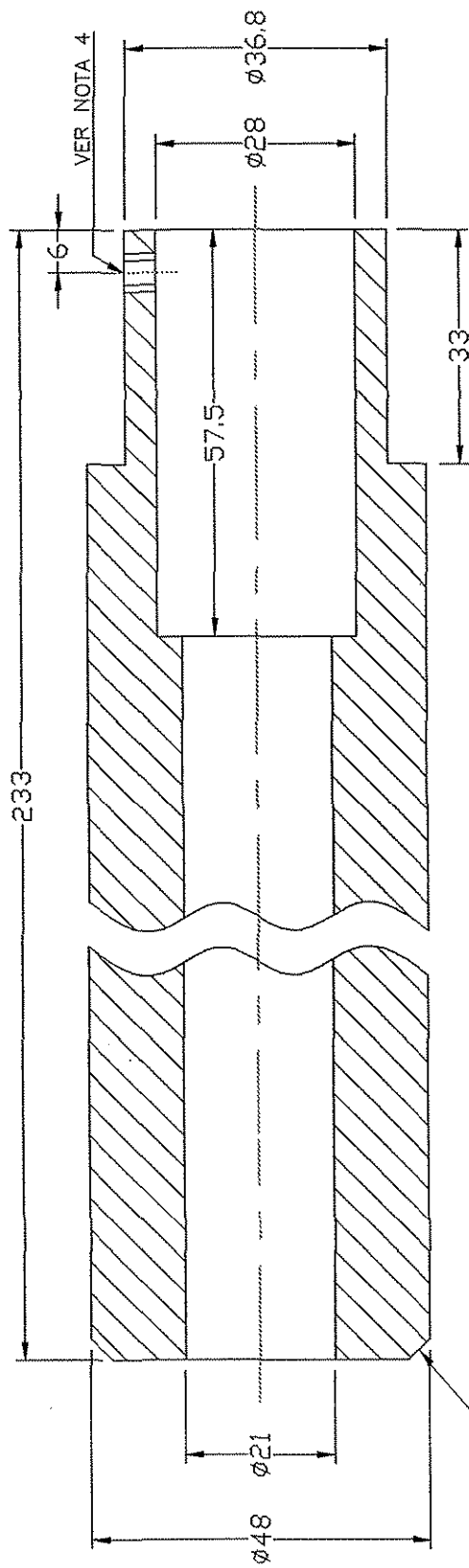
ARCHIVO: 0

| REVISION No. | PARA FABRICACION | 0   | FECHA | APROBO | FECHA |
|--------------|------------------|-----|-------|--------|-------|
| 0            | 0                | 0   | 0     | 0      | 0     |
| 1            | 1                | 1   | 1     | 1      | 1     |
| 2            | 2                | 2   | 2     | 2      | 2     |
| 3            | 3                | 3   | 3     | 3      | 3     |
| 4            | 4                | 4   | 4     | 4      | 4     |
| 5            | 5                | 5   | 5     | 5      | 5     |
| 6            | 6                | 6   | 6     | 6      | 6     |
| 7            | 7                | 7   | 7     | 7      | 7     |
| 8            | 8                | 8   | 8     | 8      | 8     |
| 9            | 9                | 9   | 9     | 9      | 9     |
| 10           | 10               | 10  | 10    | 10     | 10    |
| 11           | 11               | 11  | 11    | 11     | 11    |
| 12           | 12               | 12  | 12    | 12     | 12    |
| 13           | 13               | 13  | 13    | 13     | 13    |
| 14           | 14               | 14  | 14    | 14     | 14    |
| 15           | 15               | 15  | 15    | 15     | 15    |
| 16           | 16               | 16  | 16    | 16     | 16    |
| 17           | 17               | 17  | 17    | 17     | 17    |
| 18           | 18               | 18  | 18    | 18     | 18    |
| 19           | 19               | 19  | 19    | 19     | 19    |
| 20           | 20               | 20  | 20    | 20     | 20    |
| 21           | 21               | 21  | 21    | 21     | 21    |
| 22           | 22               | 22  | 22    | 22     | 22    |
| 23           | 23               | 23  | 23    | 23     | 23    |
| 24           | 24               | 24  | 24    | 24     | 24    |
| 25           | 25               | 25  | 25    | 25     | 25    |
| 26           | 26               | 26  | 26    | 26     | 26    |
| 27           | 27               | 27  | 27    | 27     | 27    |
| 28           | 28               | 28  | 28    | 28     | 28    |
| 29           | 29               | 29  | 29    | 29     | 29    |
| 30           | 30               | 30  | 30    | 30     | 30    |
| 31           | 31               | 31  | 31    | 31     | 31    |
| 32           | 32               | 32  | 32    | 32     | 32    |
| 33           | 33               | 33  | 33    | 33     | 33    |
| 34           | 34               | 34  | 34    | 34     | 34    |
| 35           | 35               | 35  | 35    | 35     | 35    |
| 36           | 36               | 36  | 36    | 36     | 36    |
| 37           | 37               | 37  | 37    | 37     | 37    |
| 38           | 38               | 38  | 38    | 38     | 38    |
| 39           | 39               | 39  | 39    | 39     | 39    |
| 40           | 40               | 40  | 40    | 40     | 40    |
| 41           | 41               | 41  | 41    | 41     | 41    |
| 42           | 42               | 42  | 42    | 42     | 42    |
| 43           | 43               | 43  | 43    | 43     | 43    |
| 44           | 44               | 44  | 44    | 44     | 44    |
| 45           | 45               | 45  | 45    | 45     | 45    |
| 46           | 46               | 46  | 46    | 46     | 46    |
| 47           | 47               | 47  | 47    | 47     | 47    |
| 48           | 48               | 48  | 48    | 48     | 48    |
| 49           | 49               | 49  | 49    | 49     | 49    |
| 50           | 50               | 50  | 50    | 50     | 50    |
| 51           | 51               | 51  | 51    | 51     | 51    |
| 52           | 52               | 52  | 52    | 52     | 52    |
| 53           | 53               | 53  | 53    | 53     | 53    |
| 54           | 54               | 54  | 54    | 54     | 54    |
| 55           | 55               | 55  | 55    | 55     | 55    |
| 56           | 56               | 56  | 56    | 56     | 56    |
| 57           | 57               | 57  | 57    | 57     | 57    |
| 58           | 58               | 58  | 58    | 58     | 58    |
| 59           | 59               | 59  | 59    | 59     | 59    |
| 60           | 60               | 60  | 60    | 60     | 60    |
| 61           | 61               | 61  | 61    | 61     | 61    |
| 62           | 62               | 62  | 62    | 62     | 62    |
| 63           | 63               | 63  | 63    | 63     | 63    |
| 64           | 64               | 64  | 64    | 64     | 64    |
| 65           | 65               | 65  | 65    | 65     | 65    |
| 66           | 66               | 66  | 66    | 66     | 66    |
| 67           | 67               | 67  | 67    | 67     | 67    |
| 68           | 68               | 68  | 68    | 68     | 68    |
| 69           | 69               | 69  | 69    | 69     | 69    |
| 70           | 70               | 70  | 70    | 70     | 70    |
| 71           | 71               | 71  | 71    | 71     | 71    |
| 72           | 72               | 72  | 72    | 72     | 72    |
| 73           | 73               | 73  | 73    | 73     | 73    |
| 74           | 74               | 74  | 74    | 74     | 74    |
| 75           | 75               | 75  | 75    | 75     | 75    |
| 76           | 76               | 76  | 76    | 76     | 76    |
| 77           | 77               | 77  | 77    | 77     | 77    |
| 78           | 78               | 78  | 78    | 78     | 78    |
| 79           | 79               | 79  | 79    | 79     | 79    |
| 80           | 80               | 80  | 80    | 80     | 80    |
| 81           | 81               | 81  | 81    | 81     | 81    |
| 82           | 82               | 82  | 82    | 82     | 82    |
| 83           | 83               | 83  | 83    | 83     | 83    |
| 84           | 84               | 84  | 84    | 84     | 84    |
| 85           | 85               | 85  | 85    | 85     | 85    |
| 86           | 86               | 86  | 86    | 86     | 86    |
| 87           | 87               | 87  | 87    | 87     | 87    |
| 88           | 88               | 88  | 88    | 88     | 88    |
| 89           | 89               | 89  | 89    | 89     | 89    |
| 90           | 90               | 90  | 90    | 90     | 90    |
| 91           | 91               | 91  | 91    | 91     | 91    |
| 92           | 92               | 92  | 92    | 92     | 92    |
| 93           | 93               | 93  | 93    | 93     | 93    |
| 94           | 94               | 94  | 94    | 94     | 94    |
| 95           | 95               | 95  | 95    | 95     | 95    |
| 96           | 96               | 96  | 96    | 96     | 96    |
| 97           | 97               | 97  | 97    | 97     | 97    |
| 98           | 98               | 98  | 98    | 98     | 98    |
| 99           | 99               | 99  | 99    | 99     | 99    |
| 100          | 100              | 100 | 100   | 100    | 100   |

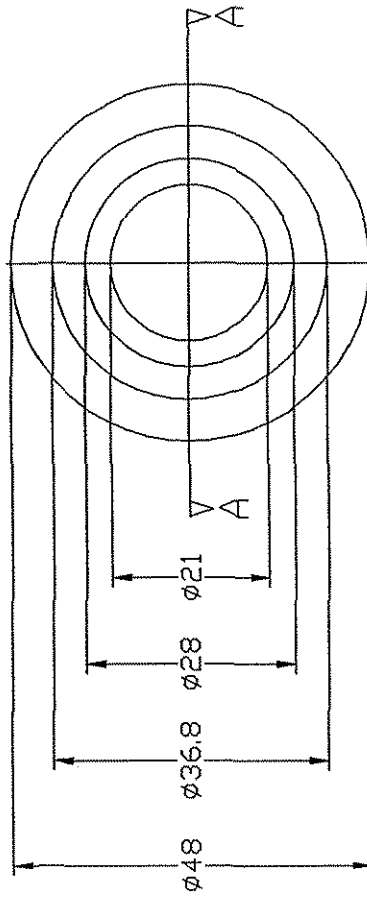


instituto nacional de investigaciones nucleares  
Centro Nuclear  
Solazar, Edo. de México  
GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES  
TITULO: MORDAZA  
PROYECTO: GTI-01  
PLANO No.: GTI/LG/05

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



VER NOTA 3



\* NOTAS:

1. Acero AISI 4140
2. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.1$
3. Bisel  $3 \times 45^\circ$
4. Tres roscas  $\phi 5.4$  mm 24-UNC @  $120^\circ$
5. 0
6. 0

| 6        | 1     | Ver Título | Ver nota 1 | 0             | 0          |
|----------|-------|------------|------------|---------------|------------|
| PZA. No. | CANT. | NOMBRE     | MATERIAL   | OBSERVACIONES | REFERENCIA |

ARCHIVO: 0

| REVISION No. | POR       | CONCEPTO         | APROBO | FECHA | APROBO | FECHA | ESCALA: 1:1 | ACOT: mm |
|--------------|-----------|------------------|--------|-------|--------|-------|-------------|----------|
| 0            | 0         | PAPA FABRICACION | 0      |       |        |       |             |          |
| DISEÑO       | NCS/GC.J. | DCT/2001         |        |       |        |       |             |          |
| DIBUJO       | M.C.S.    | DCT/2001         |        |       |        |       |             |          |
| REVISO       | F.A.H.    | DCT/2001         |        |       |        |       |             |          |
| APROBO       | R.M.R.    | DCT/2001         |        |       |        |       |             |          |

instituto nacional de investigaciones nucleares

Centro Nuclear

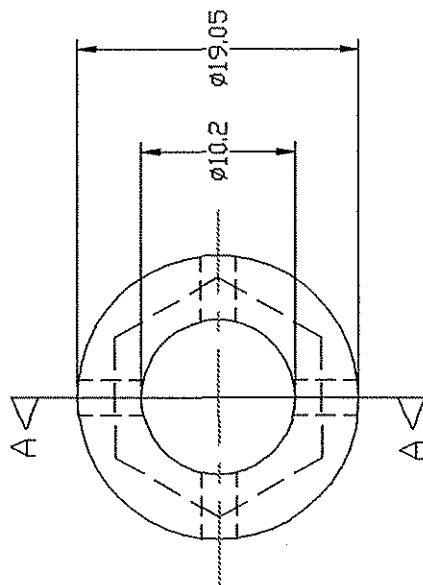
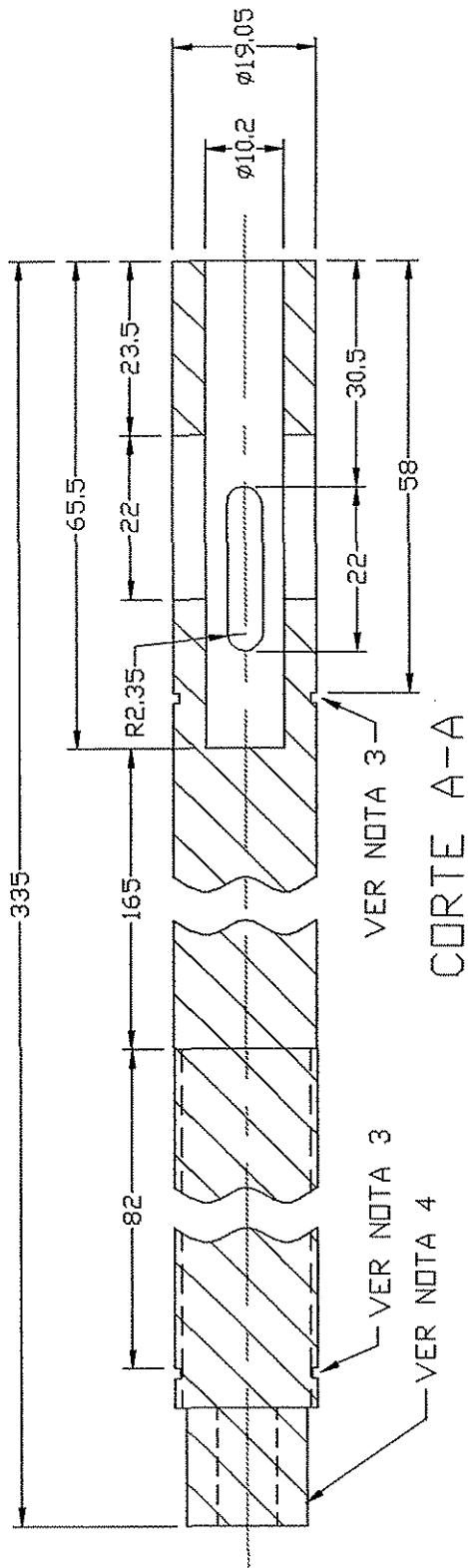
GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES

TITULO: FUNDA SUPERIOR

PROYECTO: GTI-01 PLANO No.: GTI/LG/06



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



\* NOTAS:

1. Acero AISI 4140
2. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.1$
3. Ranura ancho 1.4 profundidad 0.75
4. Hexagonal 14.04 de cara a cara
5. 0
6. 0

ESC. 2:1

|          |       |            |            |               |            |
|----------|-------|------------|------------|---------------|------------|
| 7        | 1     | Ver Título | Ver nota 1 | 0             | 0          |
| PZA. No. | CANT. | NOMBRE     | MATERIAL   | OBSERVACIONES | REFERENCIA |

|                                                                                                 |  |                                                                                              |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  <b>ININ</b> |  | instituto nacional de investigaciones nucleares<br>Centro Nuclear<br>Salazar, Edo. de México |  |
| GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES                                                               |  |                                                                                              |  |
| TÍTULO: FLECHA                                                                                  |  |                                                                                              |  |
| PROYECTO: GTI-01                                                                                |  | PLANO No.: GTI/LG/07                                                                         |  |

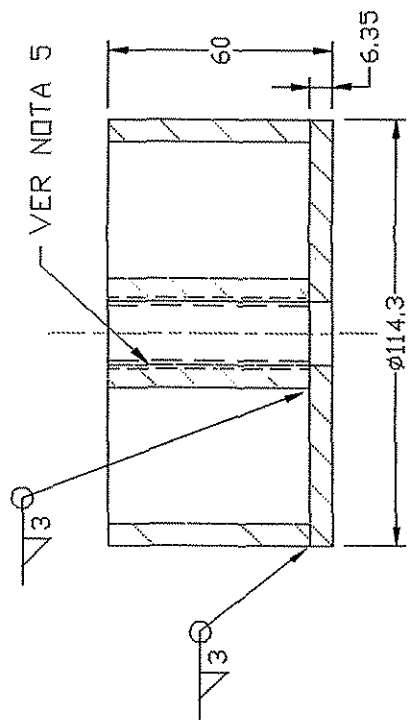
|             |           |          |
|-------------|-----------|----------|
| ARCHIVO: 0  | NOMBRE    | FECHA    |
| DISEÑO      | MCS/GC.J. | DCT/2001 |
| DIBUJO      | M.C.S.    | DCT/2001 |
| REVISO      | F.A.H.    | DCT/2001 |
| APROBO      | R.M.R.    | DCT/2001 |
| ESCALA: 1:1 | ACOT: mm  |          |

|              |     |                  |        |       |
|--------------|-----|------------------|--------|-------|
| 0            | 0   | PARA FABRICACION | 0      | FECHA |
| REVISION No. | POR | CONCEPTO         | APROBO | FECHA |

**TFCIS CON  
FALTA DE ORIGEN**

108



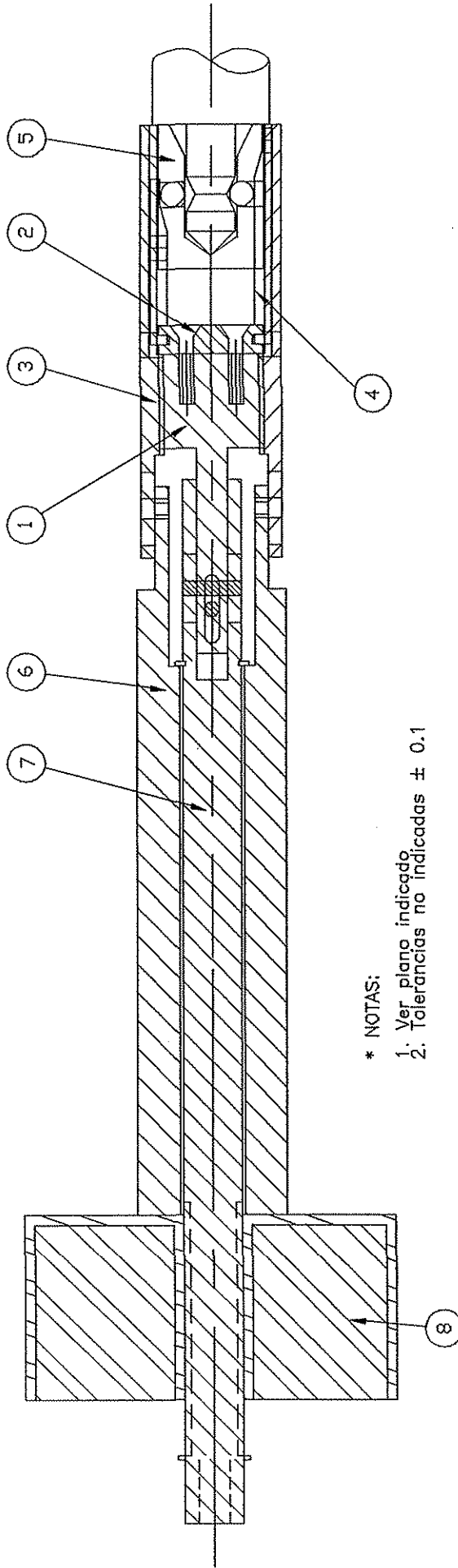
CORTÉ A-A

2153

1. Acero AISI 4140
2. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.1$
3. Tubo  $\varnothing 4$  pulg. nom. ced. 40
4. Barra hexagonal 1 pulg.
5. Rosca  $\varnothing 19.05$  16-UNF
6. 2 Barrenos pasados  $\varnothing 7.14 @ 180^\circ$
7. Tubo  $\varnothing 17.15$  pulg. nom. ced. 40

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |               |                  |          |                                                                                       |             |             |          |              |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------|------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|----------|--------------|-----|
| 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  | 0             | PARA FABRICACION | 0        | APROBO                                                                                | FECHA       | CONCEPTO    |          | REVISION No. | POR |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |               |                  |          |  |             | ESCALA: 1:2 |          | ACOT: mm     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | NOMBRE        |                  | FECHA    |                                                                                       |             |             |          |              |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | M.C.S./G.C.I. |                  | DCT/2001 |                                                                                       |             |             |          |              |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | M.C.S.        |                  | DCT/2001 |                                                                                       |             |             |          |              |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | F.A.H.        |                  | DCT/2001 |                                                                                       |             |             |          |              |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | R.M.R.        |                  | DCT/2001 |                                                                                       |             |             |          |              |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  | APROBO        |                  |          |                                                                                       | ESCALA: 1:2 |             | ACOT: mm |              |     |
| <div><div><div></div><div><div>instituto nacional de investigaciones nucleares</div><div>Centro Nuclear</div><div>Salazar, Edo. de México</div></div></div><div><div><div>8</div><div>1</div><div>PZA. No.</div></div><div><div>Ver Título</div><div>CANT.</div></div><div><div>Ver Nota 1</div><div>MATERIAL</div></div><div><div>0</div><div>OBSERVACIONES</div></div><div><div>0</div><div>REFERENCIA</div></div></div></div> |  |               |                  |          |                                                                                       |             |             |          |              |     |
| <div><div>TITULO:</div><div>TAPON DE LA HERRAMIENTA</div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |               |                  |          |                                                                                       |             |             |          |              |     |
| <div><div>PROYECTO:</div><div>GTI-01</div><div>PLANO No.:</div><div>GTI/LG/08</div><div></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |               |                  |          |                                                                                       |             |             |          |              |     |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



\* NOTAS:

1. Ver plano indicado.
2. Tolerancias no indicadas  $\pm 0.1$

PIEZA

1. Espiga roscada.
2. Brida para espiga roscada
3. Funda inferior
4. Cuña deslizable
5. Mordaza
6. Funda superior
7. Flecha
8. Tapon del manipulador

ARCHIVO: 0

| DISEÑO      | NOMBRE    | FECHA    |
|-------------|-----------|----------|
| MCS/GCJ     |           | DCT/2001 |
| DIBUJO      | M.C.S.    | DCT/2001 |
| REVISO      | F.A.H.    | DCT/2001 |
| APROBO      | R.M.R.    | DCT/2001 |
| ESCALA: 5/e | ACOT: m/m |          |

| REVISION No. | POR | CONCEPTO         | APROBO | FECHA |
|--------------|-----|------------------|--------|-------|
| 0            | 0   | PARA FABRICACION | 0      |       |

|                                                                                                                                                                                                                                                      |       |            |            |               |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|------------|---------------|------------|
| 0                                                                                                                                                                                                                                                    | 1     | Ver Titulo | Ver nota 1 | 0             | 0          |
| PZA. No.                                                                                                                                                                                                                                             | CANT. | NOMBRE     | MATERIAL   | OBSERVACIONES | REFERENCIA |
| <p>instituto nacional de investigaciones nucleares</p> <p>Centro Nuclear</p> <p>Salazar, Edo. de México</p> <p>GERENCIA DE CIENCIA DE MATERIALES</p> <p>TITULO: HERRAMIENTA PARA COMBUSTIBLE</p> <p>PROYECTO: GTI-01</p> <p>PLANO No.: GTI/LG/09</p> |       |            |            |               |            |



ININ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN