



**Universidad Nacional Autónoma de México**

Facultad de Ingeniería

**“AGITADOR CENTRIFUGO:  
DISEÑO, FABRICACION Y PRUEBAS”**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:  
INGENIERO MECANICO Y ELECTRICISTA

P r e s e n t a :

**Uriel Estrada López**

DIRECTOR DE TESIS: M. en I. Vicente Borja Ramírez

México, D. F.

1993



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

# CONTENIDO

<i>I INTRODUCCION.....</i>	<i>1</i>
<i>II OBJETIVOS DE LA TESIS.....</i>	<i>3</i>
<i>III EL DISEÑO MECANICO.....</i>	<i>5</i>
<i>IV PLANEACION.....</i>	<i>8</i>
<i>V DEFINICION DEL PROYECTO.....</i>	<i>12</i>
<i>VI INVESTIGACION.....</i>	<i>15</i>
<i>6.1 Sedimentación y Centrifugación.....</i>	<i>18</i>
<i>VII DISEÑO PRELIMINAR.....</i>	<i>26</i>
<i>7.1 Alternativas para el diseño preliminar.....</i>	<i>34</i>
<i>VIII DISEÑO DE DETALLE.....</i>	<i>36</i>
<i>8.1 Memoria de Cálculo.....</i>	<i>38</i>
<i>8.2 Planos.....</i>	<i>46</i>
<i>8.3 Fabricación y Ensamble.....</i>	<i>58</i>
<i>8.4 Pruebas y Evaluación del Prototipo.....</i>	<i>63</i>

<i><b>IX REDISEÑO 1.....</b></i>	<i><b>65</b></i>
<i><b>9.1 Memoria de Cálculo.....</b></i>	<i><b>66</b></i>
<i><b>9.2 Cambios.....</b></i>	<i><b>70</b></i>
<i><b>9.3 Planos.....</b></i>	<i><b>73</b></i>
<i><b>9.4 Pruebas.....</b></i>	<i><b>79</b></i>
<i><b>X REDISEÑO 2.....</b></i>	<i><b>81</b></i>
<i><b>10.1 Cambios.....</b></i>	<i><b>82</b></i>
<i><b>10.2 Planos.....</b></i>	<i><b>85</b></i>
<i><b>10.3 Pruebas.....</b></i>	<i><b>90</b></i>
<i><b>XI REDISEÑO 3.....</b></i>	<i><b>91</b></i>
<i><b>11.1 Cambios.....</b></i>	<i><b>92</b></i>
<i><b>11.2 Planos.....</b></i>	<i><b>95</b></i>
<i><b>11.3 Pruebas.....</b></i>	<i><b>102</b></i>
<i><b>11.4 Planos.....</b></i>	<i><b>105</b></i>
<i><b>XII CARACTERISTICAS DEL AGITADOR CENTRIFUGO.....</b></i>	<i><b>108</b></i>
<i><b>XIII CONCLUSIONES.....</b></i>	<i><b>112</b></i>
<i><b>XIV REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b></i>	<i><b>116</b></i>

# I INTRODUCCION

## I INTRODUCCION

Esta tesis presenta el desarrollo del diseño y fabricación de un agitador centrífugo (Centrífuga) para laboratorio clínico.

El diseño del presente aparato surge de la necesidad planteada por la Dirección General de Servicios Médicos de la UNAM (DGSM) a la Facultad de Ingeniería de la misma institución, de diseñar aparatos que son necesarios en los laboratorios para análisis médicos. El diseño de la centrífuga fué asignado a la materia de Diseño de Máquinas que tiene como fin que el alumno aplique todos los conocimientos adquiridos, en el diseño y la fabricación de un prototipo físico.

De ese trabajo es que resulta esta tesis, ya que una materia de un solo semestre es insuficiente para realizar un proyecto de esta naturaleza.

Pero, ¿de dónde surge la necesidad de realizar esto?, ¿cuáles son los motivos que originan esta necesidad?

De acuerdo con lo platicado con la Dra. Barrón, Coordinadora de Análisis Médicos de la DGSM, el equipo que existe actualmente es de procedencia extranjera, y además cuando este tipo de aparatos se descomponen, las refacciones son caras y tardan tiempo en repararlos. Este trabajo es una buena oportunidad para demostrar que podemos ser tan independientes como los extranjeros.

La tesis no solo busca realizar una centrifuga de fabricación nacional, sino que además, se pueda tener una superación en cuanto al precio y calidad respecto a los equipos actuales.

## **II OBJETIVOS DE LA TESIS**



## II OBJETIVOS DE LA TESIS

Con la realización de la presente tesis se pretende cubrir los siguientes objetivos :

- Aplicar todos los conocimientos adquiridos en la carrera.
- Contribuir a la independencia tecnológica que requiere el país.
- Resolver una de las necesidades de equipo médico que se tiene en la DGSM.
- Cubrir este requisito para poder obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.
- Realizar el estudio, elaboración de Ingeniería de Diseño y Detalle para la fabricación de un equipo a nivel prototipo funcional que realice la función de centrifugación de sangre por medio de un agitador centrífugo.

Recalcando el último punto, se pretende realizar el diseño y la fabricación de un prototipo de agitador centrífugo que realmente funcione y sea factible de manejar como un aparato comercial.

¿Por qué lo anterior? Porque se tienen trabajos de diseño, en donde se hace el prototipo y las pruebas, y si el aparato no llega a funcionar, sólo se anota en los resultados de las evaluaciones el porqué de las fallas.

Este aparato será diseñado y fabricado con el firme propósito de que funcione, y sea usado como uno comercial.

### **III EL DISEÑO MECANICO**

### III EL DISEÑO MECANICO

Como se sabe, para realizar un proyecto de cualquier índole, no puede hacerse de una manera personal, es decir, sin un programa sistematizado con un cierto número de pasos a seguir.

Al igual que las ciencias, en las que para realizar sus experimentos y sus investigaciones, tienen como herramienta el método científico, en el diseño se cuenta también con un método para realizar de una manera ordenada la labor de la fabricación de algún dispositivo, este es el método del diseño.

La ventaja del uso de este método está basado en el realizar de una manera programada el trabajo, actividades, y designar el tiempo que se usará para efectuarlo.

El método seguido durante esta tesis está integrado por los pasos siguientes:

- Presentación de la necesidad.
- Definición del proyecto.
- Investigación
- Diseño preliminar.
- Diseño de detalle.
- Fabricación y ensamble .
- Pruebas y evaluación del prototipo.
- Rediseño, pruebas y evaluación (si es necesario).
- Conclusiones.

Como podrá observarse la necesidad ya se planteó en la parte correspondiente a la introducción.

## **IV PLANEACION**

#### IV PLANEACION

Antes de pasar a la parte esencial del diseño, que es propiamente la definición de lo que es el diseño mecánico, de las piezas, los materiales, la forma de las piezas que componen a la centrifuga y la fabricación, se debe hacer un plan para llevar las cosas ordenadamente y además indicando qué tiempo se dedicará a cada etapa, en esto consiste, en un aspecto muy fundamental, la planeación.

Dentro del contexto Ingenieril, la planeación consiste en identificar las actividades claves en un proyecto y ordenarlas en la secuencia en la que deberán ser ejecutadas, vigilando siempre que estas se completen en el menor tiempo posible y abajo del costo estimado.

¿Qué ventajas tiene planear antes de llevar al cabo nuestras actividades? Lo que se obtiene al planear nuestras actividades antes de comenzarlas a hacer es OPTIMIZAR el tiempo, y por ende los recursos, ocupados en éstas.

Esta planeación, llevada en una forma muy simple, consiste en una gráfica de columnas y renglones e indican:

- Las actividades que se realizarán .
- Tiempo en el que deberán realizarse estas actividades.

Cabe señalar que los tiempos son calculados tomando como base los análisis realizados en otros proyectos de Ingeniería al igual que métodos y cálculos de tipo económico ya preestablecidos dentro del diseño en Ingeniería junto con el criterio del diseñador y con base en su experiencia.

Es importante considerar que muchos de estos tiempos pueden acortarse ó alargarse debido a agentes externos.

Entre estos agentes tenemos:

- No se entregue a tiempo el material solicitado.
- Se maquine mal una pieza y se tenga que volver a pedir el material y con esto repetir un ciclo de maquinado.
- Se accidente el operario de la máquina herramienta.
- Se rompa el cortador con el que se esté realizando el maquinado.

La planeación en este proyecto se llevó con base en la experiencia debido a la falta de datos ó trabajos similares.

En la figura 4.1 se encuentra la gráfica de planeación que se siguió a lo largo del diseño.

## GRAFICA DE PLANEACION

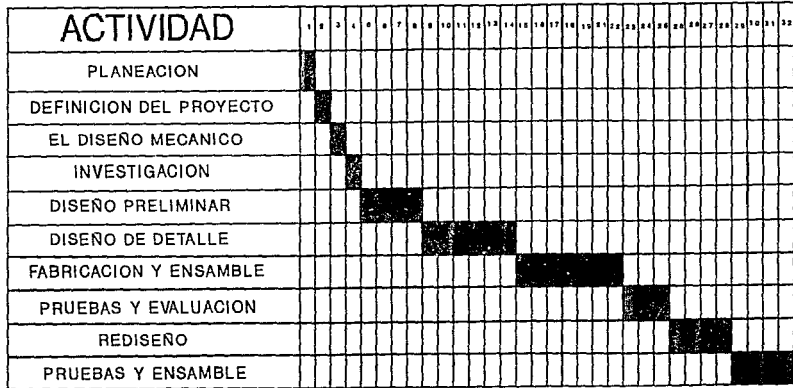


FIGURA 4.1 GRAFICA DE PLANEACION



## **V DEFINICION DEL PROYECTO**

## V DEFINICION DEL PROYECTO

Para definir nuestro proyecto revisemos el diagrama de la figura 5.1 :

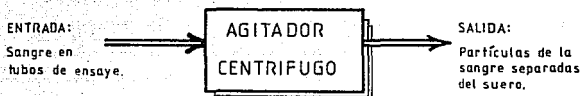


Figura 5.1 Diagrama de definición de un problema

En este diagrama tenemos representado nuestro problema en el cual tenemos un estado inicial, entrada, que es la sangre. A esta sangre se requiere se le haga un proceso de centrifugación. El medio con el cual se puede obtener este proceso es un agitador centrífugo. Como salida tenemos un estado final que es la sangre centrifugada y con esto la separación de las partículas de la sangre como los glóbulos rojos y blancos del suero.

Entonces como variables tenemos:

Entrada: Sangre en tubos de ensaye.

Salida: Partículas de la sangre, separadas por centrifugación del suero de la misma.

**Especificaciones:**

Dimensiones del tubo de ensayo : 13mm  $\phi$  EXT ; Largo = 100mm

Voltaje de trabajo: 110 V.C.A.

Peso de los tubos con sangre: 25  $\pm$  5gramos

**Restricciones :**

Peso del aparato: Portátil (que no exceda al original de 10kg).

Tamaño: No muy voluminoso (ancho de 40cm y alto de 45cm).

Materiales: Evitar que los materiales sean oxidables.

Costo de producción : Económico (menor del comercial de NS6,000.00)

**Criterios:**

**Mantenimiento:** Que esté diseñado para que no cueste trabajo limpiarlo en caso de algún derrame.

**Rendimiento:** La centrifuga debe alcanzar la velocidad de 3000RPM para conseguir la centrifugación requerida.

**Vida útil:** 3 años en partes comerciales y 20 años en los componentes mecánicos.

**Seguridad:** Deberá prevenir algún accidente por falla de alguno de los componentes.

**Ruido:** Mínimo.

**Manejo:** Fácil.

**Equilibrio:** Bueno, para evitar vibraciones.

**Durabilidad:** Que sea muy durable.

## VI INVESTIGACION

## VI INVESTIGACION

En esta parte de nuestro método del diseño se realiza la actividad de recabar datos de tipo técnico para la fabricación de nuestra centrífuga. Lo anterior, principalmente a través de entrevistas visitas y búsqueda bibliográfica.

La primera visita que se realizó fue a DGSM en donde se revisó la centrífuga que tienen ahí en uso. Se tomaron mucho en cuenta el tipo de materiales de los que estaba hecha y la disposición de los tubos de ensaye, la forma del agitador tanto exterior, como interior y algunos parámetros importantes como el radio del cabezal del que penden las camisas que llevan los tubos de ensaye, el peso y principalmente los mecanismos. Todo esto para tener un buen punto de referencia y de partida.

Además de la visita a la DGSM se visitaron otras compañías dedicadas a la fabricación y mantenimiento de centrífugas. Estas fueron :

- WESTFALIA SEPARATOR
- SHARPLES-STOKES
- DELTAMEX DESARROLLO S.A.
- ALFA-LAVAL

Estas compañías sólo tenían maquinaria de las que ellos fabrican y la mayor parte de las centrifugas eran de tipo industrial, por ejemplo centrifugas para diesel, gasolina, aceite, etc.

Aquellas que se dedicaban a las centrifugas de laboratorio no permitían el fotocopiado de sus manuales.

Estas compañías contaban con un taller de mantenimiento para que ahí se repararan las centrifugas para las cuales no se tenía las refacciones necesarias.

En realidad, y después de ver que las referencias bibliográficas eran escasas, el diseño de centrifuga se basó en el diseño de la máquina que tienen en la DGSM.

## 6.1 SEDIMENTACION Y CENTRIFUGACION

A continuación se presenta una introducción teórica para entender con mayor claridad los términos de sedimentación y centrifugación (Ver la referencia 3).



Figura 6.1.1 Diagrama de cuerpo libre

Supóngase una esfera en caída libre. Vea figura 6.1.1.

Si se pudiera escribir que la fricción del aire es el producto de un coeficiente de fricción y el peso, en una relación como la siguiente:

$$F = \mu W$$

Donde :

F = Fuerza de fricción.

$\mu$  = Coeficiente de fricción.

W = Peso del cuerpo.

El movimiento resultante caería en dos categorías:

a) Si el coeficiente de fricción es igual ó mayor que uno, el objeto no experimentará fuerza neta hacia abajo y sencillamente permanecería en reposo,

b) si el coeficiente de fricción es menor que uno, hay una fuerza neta hacia abajo,  $mg - \mu mg$ , que actúa sobre el objeto; por tanto, acelerará hacia abajo constantemente a  $a = (1 - \mu)g$  y nunca alcanzará una velocidad terminal. En realidad, las mediciones de los cuerpos que caen a través del aire o de otros fluidos muestran que los cuerpos si tienden a alcanzar una velocidad límite o terminal.

En consecuencia, la fuerza resistente de la fricción del aire no puede ser independiente del movimiento. Se puede pensar que esta fuerza depende de la velocidad, ya que es mayor cuando ésta aumenta. Por ejemplo, si  $F_r$ , la fuerza de fricción con el aire, fuera proporcional a  $v$  y su sentido fuera opuesto al de  $V$ , entonces a medida que la velocidad aumentara inicialmente bajo la acción de la gravedad, la fuerza contraria de la fricción también aumentaría gradualmente, reduciendo la magnitud de la aceleración hacia abajo. Finalmente, la velocidad alcanzaría un valor para el que la fuerza hacia abajo  $mg$  y la fuerza hacia arriba de la fricción serían de igual magnitud; entonces el objeto estaría en equilibrio y de acuerdo con la primera ley de Newton, continuaría su movimiento a una velocidad constante; esto es, habría alcanzado su velocidad terminal.



Por otra parte, cuando la velocidad relativa entre un objeto y un fluido es tan baja que el flujo es laminar, la fuerza de fricción se debe a la viscosidad. De la siguiente expresión se define al coeficiente de viscosidad ( $\eta$ ):

$$\eta = \frac{F/A}{v/l} = \frac{Fl}{Av}$$

Donde:

F= Fuerza.

v= Velocidad.

A= Area de contacto.

l= longitud característica.

De la expresión anterior se obtienen que la fuerza de retraso en la viscosidad,  $F_v$ , tiene la forma de:

$$F_v = Cte. \cdot Rv \cdot \eta$$

En donde R es alguna longitud característica. Para una esfera lisa de radio R,

$$F_v = 6 \pi Rv \eta \quad (\text{Objeto esférico})$$

Suponiendo que en una suspensión hay diminutas partículas esféricas de densidad  $\rho$  en el líquido con densidad  $\rho_L$ . Si  $\rho > \rho_L$ , esas partículas descenderán lentamente al fondo del recipiente por acción de la gravedad. La rapidez de sedimentación está determinada por la velocidad de sedimentación  $v_s$ , que sólo es otro nombre de la velocidad terminal.

Esta velocidad de sedimentación se logra cuando desaparece toda la fuerza sobre la partícula. Hay tres fuerzas que se deben considerar (Véase la figura 6.1.2): la gravedad, la flotación y la resistencia a la viscosidad.

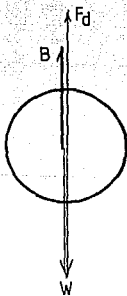


Figura 6.1.2 Diagrama de cuerpo libre para una partícula que se sedimenta .

Donde :

$F_d$  = Fuerza de resistencia a la viscosidad.

$B$  = Fuerza de flotación.

$W$  = Peso de la partícula

(En realidad, al describir los objetos que caen a través del aire, deberíamos haber incluido a la flotación, pero generalmente esa fuerza, aunque no siempre, es pequeña y se puede despreciar).

La fuerza total hacia abajo, que debe anularse cuando  $v = v_s$ , es entonces la suma de los siguientes términos:

$$W = F_d + B$$

Pasando los términos al primer miembro y sustituyendo:

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_s g - \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_f g - 6 \pi R \eta v_s = 0 \dots (Z)$$

Aquí, el primer término es el peso de la esfera, el segundo la fuerza de flotación ejercida sobre la esfera por el fluido desplazado, y el último, el retraso en la viscosidad, cuando la esfera se mueve a través del fluido con una velocidad  $v_s$ .

Despejando a  $v_s$  de (Z):

$$v_s = \frac{2R^2(\rho - \rho_L)g}{9}$$

La ecuación A tiene varias características notables :

- 1.-La velocidad de sedimentación,  $v_s$ , es proporcional a  $g$ . Si se pudiera aumentar la fuerza gravitacional efectiva, por ejemplo, por medio de centrifugación, se lograría mayor rapidez de sedimentación.
- 2.-Si  $\rho$ ,  $\rho_L$  y  $\eta$  se conocen, la medición de  $v_s$  puede dar información del tamaño de la partícula esférica.

Ejemplificando lo que anteriormente se dedujo, suponiendo que un eritrocito (glóbulo rojo de la sangre) se puede representar aproximadamente por una esfera de  $4 \times 10^{-6}$  m de diámetro, con densidad de  $1.3 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>. La densidad de la sangre es de aproximadamente  $1.06 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>. ¿Cuál es la velocidad de sedimentación de los glóbulos rojos bajo la influencia de la gravedad y en un tubo de centrifuga que está a 10cm del centro de la centrifuga, y girando a 3000 rpm?

Usando los valores a 20°C en lugar de la temperatura corporal ya que el evento se llevará a cabo, suponiendo, en un laboratorio. La viscosidad de la sangre a 20°C es de  $3.0 \times 10^{-3}$  Pa.s, y sustituyendo los valores numéricos en la ecuación A,

$$v_s = \frac{2(2 \times 10^{-6} \text{ m})^2 (9.8 \text{ m/s}^2) (1.3 - 1.06) \times 10^3 \text{ kg/m}^3}{9(3 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s})}$$

$$v_s = 7 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

La rapidez de sedimentación de los eritrocitos a esta velocidad necesitaría aproximadamente 4 horas para descender 1cm.

El proceso se puede acelerar considerablemente centrifugando la sangre. La g efectiva a una distancia de 10 cm del centro de una centrifuga que gira a 3000rpm. Donde 3000rpm equivale a :

$$(3000 \text{ rpm})(2 \pi \text{ rad/rev}) / (60 \text{ s/min}) = 314.16 \text{ rad/s}$$

lo anterior es igual a la aceleración centrípeta a esa distancia radial (10cm) en la centrifuga girando, o sea:

$$g_{cf} = a_c = r\omega^2 = (0.10 \text{ m})(314 \text{ rad/s})^2 = 9859.6 \text{ m/s}^2 = 1005g$$

De lo anterior, la velocidad de sedimentación en la centrifuga es 1005 veces más rápida que sólo bajo la acción de la gravedad, es decir que  $v_s = 7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , y los eritrocitos se moverán radialmente hacia afuera en unos 14 seg/cm.

### RESUMIENDO:

Para partículas pequeñas, tales como polvos finamente divididos, el descenso a través de un fluido se conoce como sedimentación y la velocidad terminal se denomina velocidad de sedimentación.

Como la velocidad de sedimentación es proporcional a la aceleración  $g$  de la gravedad, la velocidad de sedimentación se puede aumentar mucho incrementando la  $g$  efectiva por medio de la centrifugación.

## VII DISEÑO PRELIMINAR

## VII DISEÑO PRELIMINAR

De acuerdo con nuestro sistema de planeación el paso siguiente es el diseño preliminar. En este se hace un análisis y una selección sobre la forma y colocación de los elementos que componen a nuestro aparato. Si nuestro problema es la decantación forzada, se analizan las múltiples maneras y dispositivos con lo que se puede lograr dicha actividad.

Para la representación de esta selección tenemos, como para la planeación, un gráfico llamado "Árbol función-medio". Este es un diagrama el cual parte de un función primordial, que en nuestro caso es la centrifugación, después sigue una ramificación que indica con qué se puede realizar esta centrifugación; lo que sigue son las funciones secundarias y los medios con los que se realizan; de estas se ramifican las terciarias, etc.

Esta gráfica puede observarse en la figura 7.1 .

De este árbol se generaron las estructuras básicas. Estas estructuras nos permitirán formar nuestros dispositivos iniciales. Estos dispositivos están mostrados en la figura 7.2.

¿Cómo seleccionamos la mejor opción? Para seleccionar, intuitivamente calificamos nuestras opciones, pero esta manera es muy subjetiva. Existe una manera de calificar conocida como Matriz de Decisión. Esta consiste en lo siguiente:

- Se reúnen todas las características que se requiere contenga el sistema.
- Se les da un porcentaje de importancia de tal suerte que la suma de todos los porcentajes sume un 100%.



# ARBOL FUNCION MEDIO

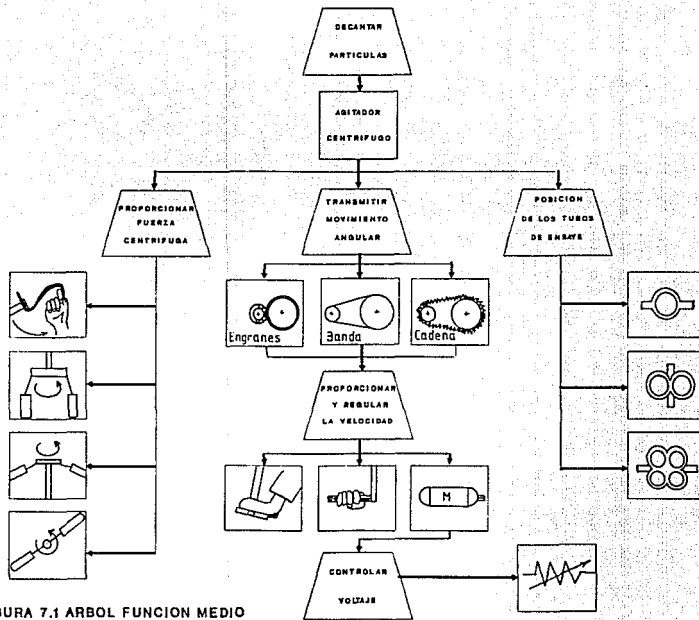


FIGURA 7.1 ARBOL FUNCION MEDIO

## ESTRUCTURAS BASICAS

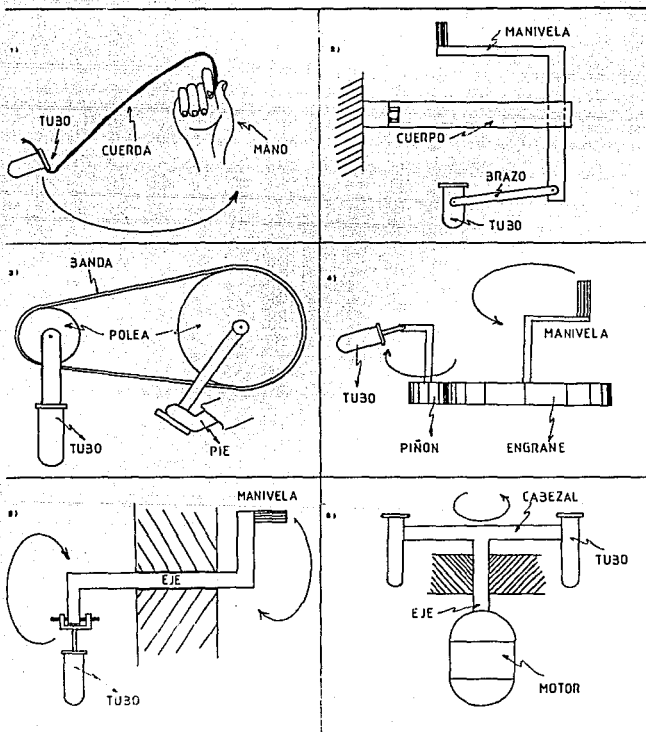


FIGURA 7.2 ESTRUCTURAS BASICAS

- A continuación se enumera cada estructura básica y se va revisando una por una con respecto a cada una de las características.

- Se le asigna una calificación de acuerdo al siguiente criterio:

Nivel de satisfacción	Calificación
Satisface ampliamente todos los aspectos	10
Satisface ampliamente aspectos importantes	9
Satisface los aspectos importantes	7.5
Satisface medianamente	5
Aspectos satisfechos a la mitad	2.5
Satisfechos muy poco	1
No satisfechos	0

- Dicha calificación será multiplicada por el porcentaje que tenga la característica analizada.

- Por último se suman todos los productos y se obtiene la calificación final de la estructura básica.

Todos los datos anteriores son ordenados y presentados en un arreglo de tipo matricial, es decir renglones contra columnas, para facilitar la revisión de los resultados.

Este arreglo se llama matriz de decisiones y está presentado en la figura 7.3 .

## MATRIZ DE DECISIONES

OPCIONES	FABRICACION (0,2)	MATERIAL (0,15)	MANEJO (0,25)	FACIL MANTENIMIENTO (0,05)	RUIDO (0,2)	EQUILIBRIO (0,1)	DURABILIDAD (0,05)	TOTAL
1	2 10	0,375 8,6	0 9	0,125 2,5	0 9	0 9	0 9	2,5
2	1,5 7,8	1,125 7,6	1,25 8	0,45 9	0,6 2,6	0 9	0,25 6	5,075
3	1,5 7,8	1,125 7,6	1,275 7,8	0,45 9	0,6 2,6	0,25 2,6	0,275 6,8	6,075
4	1 8	1,125 7,8	1,25 8	0,375 7,5	0,6 2,6	0,25 2,6	0,25 6	5,75
5	1,5 7,8	1,125 7,6	1,25 8	0,45 9	0,6 2,6	0,25 2,6	0,25 6	5,325
6	0,5 2,5	0,75 8	0,75 10	0,25 5	2 10	1 10	0,5 10	7,5 **

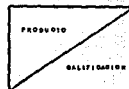


FIGURA 7.3 MATRIZ DE DECISIONES

Como puede notarse la mejor opción es la número 6. Revisemos por qué :

- 1) Con este dispositivo es posible obtener fuerza centrífuga, pero tiene muchos inconvenientes; uno de ellos es el de seguridad, como el movimiento se hace al exterior se puede tener un accidente si un tubo llegara a safarse. Por otro lado sería difícil obtener la fuerza centrífuga que se requiere para decantar las partículas.
- 2) Con este dispositivo sería también difícil obtener la fuerza centrífuga necesaria y debido a que es manual no habría personal que aguantara girar la manivela mucho tiempo. No es portable.
- 3) Con este sistema de poleas y banda es posible lograr la fuerza centrífuga, pero ¿por cuánto tiempo? Se podría diseñar para que fuera portable, pero lo tendrían que cargar varias personas.
- 4) Igual que el anterior, se puede obtener la fuerza centrífuga, pero al existir acoplamientos se hará más voluminoso y tenemos restricciones en cuanto al espacio.
- 5) Los mismos problemas que el 2).
- 6) No se requiere de fuerza humana para su movimiento, no hay acoplamientos, no ocupa mucho espacio, es portable y con posibilidades para variar la velocidad, con mínimas probabilidades de un accidente ya que puede aislarse.

Con lo anterior se observa el porqué la opción 6) es la mejor. Ratificando lo que ya se había dicho, el diseño total de esta centrifuga estará basado en el modelo original, tomando en cuenta las medidas esenciales como el radio de giro, configuración y sistema de seguridad.

## 7.1 ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO

### PRELIMINAR.

Para el diseño de la centrífuga es muy importante la manera en la que irán los tubos y el dispositivo que se encargará de portarlos. Basándonos en el modelo original, se tiene un dispositivo conocido como "Cabezal" que es una especie de carrusel en el cual tiene distribuidos, equidistantemente, unas argollas en las que van las camisas que contendrán a los tubos de ensayo con sangre.

Para nuestro caso se diseñó un nuevo modelo de cabezal, construido con base en figuras simples, ya que mandar fundir uno será de un alto costo. En cuanto a la disposición de las canastillas se contemplaron las siguientes (Véase la figura 7.1.1):

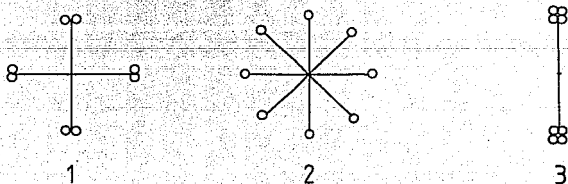


Figura 7.1.1. Disposición de las camisas en el cabezal.

(Vista de planta)

De las tres configuraciones anteriores, como ya se había mencionado, la que se usó fué la número 2, debido a que esta distribución es más homogénea que las otras dos y así evitamos problemas de equilibrio.

Ahora analicemos la transmisión de movimiento angular. Para este caso tenemos como opciones el emplear bandas, engranes o cadenas, pero emplear estos elementos equivaldría a usar más espacio e incluir el riesgo de vibraciones no deseadas por alguna falla en los acoplamientos. Por este motivo, se consiguió un motor pequeño y se le acopló el cabezal, tal y como lo tiene el modelo original. La posición del motor es perpendicular a la base y el cabezal se colocó en la parte superior.

Las características del motor son las siguientes :

- Tamaño pequeño.
- Da las revoluciones requeridas (3000 rpm).
- Tiene la potencia de 90W (Adelante se presenta el cálculo).
- Resistente.
- Funciona al voltaje de la luz casera (110 v)
- Con posibilidades de que pueda ser adaptado un redstato para variar la velocidad.



## VIII DISEÑO DE DETALLE

## VIII DISEÑO DE DETALLE

En el diseño de detalle se prepara todo lo relacionado con las piezas del aparato, ya que, no es posible hacer las piezas sin una referencia y lograr el prototipo a prueba y error.

En esta parte de nuestro diseño se presentan los cálculos de la potencia del motor y lo que, propiamente dicho, es diseñar el aparato.

Se comenzó con el cálculo de la potencia del motor e inmediatamente se fué a las casas comerciales a conseguirlo, ya que todo nuestro diseño tiene como punto de referencia el tamaño y dimensiones del motor.

Para el diseño de la carcaza (Véase el plano Num.7) se tomaron en cuenta el diámetro del cabezal con las camisas abiertas y como altura la de las camisas (Estas dos medidas con sus correspondientes tolerancias).

Se debe hacer notar lo siguiente: Todas las dimensiones están acotadas en pulgadas. El motivo por el cuál se tienen todas las medidas en esta unidad es porque las herramientas tales como brocas, cortadores y los materiales como tubos, placas, flechas, etc., se venden comercialmente, en su mayoría, en medidas inglesas.

## 8.1 MEMORIA DE CALCULO

(Ver referencia 10)

El cálculo está basado en la potencia que se requiere del motor:

La expresión para dicho cálculo es la siguiente:

$$P = Tw \dots \dots \dots (E)$$

Donde:

P = Potencia (W)

T = Par de torsión (Nm)

w = Velocidad angular (rad/s)

Además sabemos que :

$$T = I \alpha \dots \dots \dots (F)$$

Donde :

I = Momento de inercia de la figura (kgm)

$\alpha$  = Aceleración angular (rad/s)

De lo anterior notamos que, debemos saber cuál va a ser la inercia que debe vencer el motor.

Se calcula el momento de inercia para el cabezal y luego para los tubos de ensaye (Ver la figura 8.1.1).

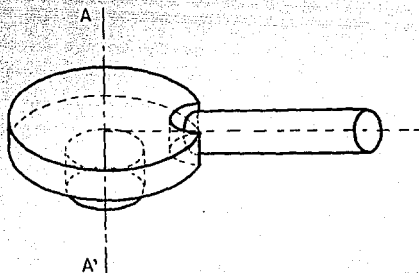


Figura 8.1.1 Disposición del cabezal con tubo de ensaye

Momento de inercia del cabezal (Ver figura 8.1.2):

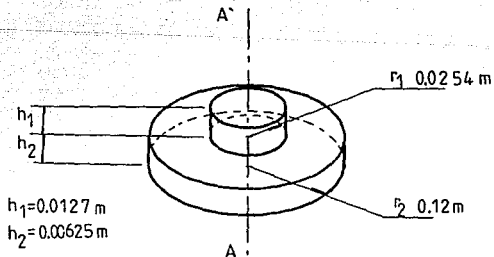


Figura 8.1.2 Diagrama del cabezal

El cabezal está compuesto por dos cilindros unidos. Del diagrama de la figura 8.1.2 se calculará el momento de inercia (ver referencia Num.10).

Donde:

$r_1 =$  Radio del cilindro pequeño (m)

$r_2 =$  Radio del cilindro grande (m)

$h_1 =$  Altura del cilindro pequeño (m)

$h_2 =$  Altura del cilindro grande (m)

Además, como dato adicional se sabe que la densidad del aluminio es  $\rho_{Al} = 2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

Ahora, calculando los volúmenes de cada cilindro:

$$v_1 = \pi \cdot r_1^2 \cdot h_1 = \text{Volumen del cilindro pequeño} = 2.57 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$v_2 = \pi \cdot r_2^2 \cdot h_2 = \text{Volumen del cilindro grande} = 2.87 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Multiplicando estos volúmenes por la densidad obtenemos la masa total de cada cilindro:

$$m_1 = \rho_{Al} v_1 = 0.069 \text{ kg} ; m_1 = \text{Masa del cilindro pequeño.}$$

$$m_2 = \rho_{Al} v_2 = 0.775 \text{ kg} ; m_2 = \text{Masa del cilindro grande.}$$

El momento de inercia de la figura será la suma del momento de inercia del cilindro pequeño ( $I_1$ ) más el momento de inercia del cilindro grande ( $I_2$ ).

$$I_t = I_1 + I_2 \dots\dots\dots(a)$$

Donde:

$I_t$  = Momento de inercia total de la figura.

Sustituyendo valores en la ecuación (a) :

$$I_t = 1/2m_1r_1^2 + 1/2m_2r_2^2 \dots\dots\dots(b)$$

$$I_t = 1/2(0.069\text{kg})(0.0254\text{m})^2 + 1/2(0.775\text{kg})(0.12\text{m})^2$$

$$I_t = 5.6 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia del tubo de ensaye.

La masa a considerar se obtiene sumando el peso del tubo de ensaye con agua hasta el tope y la camisa. Esta es de 25 gramos.

Para calcular el momento de inercia de la camisa véase la figura 8.1.3 .

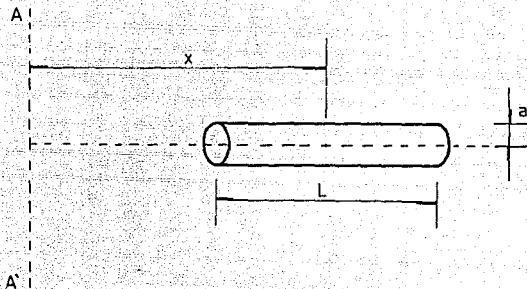


Figura 8.1.3. Diagrama de la camisa

Para obtener el momento de inercia de la camisa, consideremos la siguiente expresión:

$$I_c = 1/12 m(3a^2 + L^2) + mx^2 \dots\dots(c)$$

Donde :

$I_c$  = Momento de inercia de la camisa.

$m$  = Masa de la camisa (0.025 kg).

$a$  = Radio de la camisa (0.008 m).

$L$  = Largo de la camisa (0.1 m).

$x$  = Distancia al centroide de la camisa (0.1m)

Sustituyendo valores en (c)

$$I_c = 1/12(0.025\text{kg})(3 \times 0.008^2 + 0.1^2) + (0.025\text{kg})(0.1\text{m})^2$$

$$I_c = (2.71 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2)(8)$$

$$= 2.168 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

Ahora sumamos el momento de inercia del cabezal con el de la camisa :

$$I = 2.168 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2 + 5.6 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

$$I = 7.768 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

Ahora necesitamos saber la aceleración angular, para ello calculamos 3000 rpm a rad/seg. Haciendo una regla de tres simple:

$$1 \text{ rpm} \dots\dots\dots \pi /30 \text{ rad/seg}$$

Entonces 3000 rpm equivalen a 314.16 rad/seg; suponiendo que esta velocidad queremos que sea alcanzada en 20 segundos.

Con la siguiente expresión:



$$\alpha = \frac{w}{t} \dots\dots (d)$$

Donde:

$\alpha$  = Aceleración angular (rad/s ).

w = Velocidad angular (rad/s ).

t = Tiempo (seg)

Sustituyendo valores en la expresión (d)

$$\alpha = \frac{314.16 \text{ rad/seg}}{20 \text{ s}} = 15.7 \text{ rad/s}^2$$

Con este último valor y con el momento de inercia de la figura sustituimos en la ecuación (F) y usando un factor de seguridad de 1.5:

$$T = I \alpha (1.5) = (7.768 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2)(15.7 \text{ rad/s}^2)(1.5)$$

$$T = 0.183 \text{ Nm}$$

Ahora bien, teniendo el par y la velocidad angular, sustituimos en la ecuación (E):

$$P = Tw = (0.183 \text{ Nm})(314.16 \text{ rad/s})$$

$$P = 57.5 \text{ W}$$

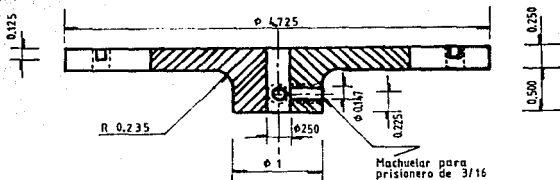
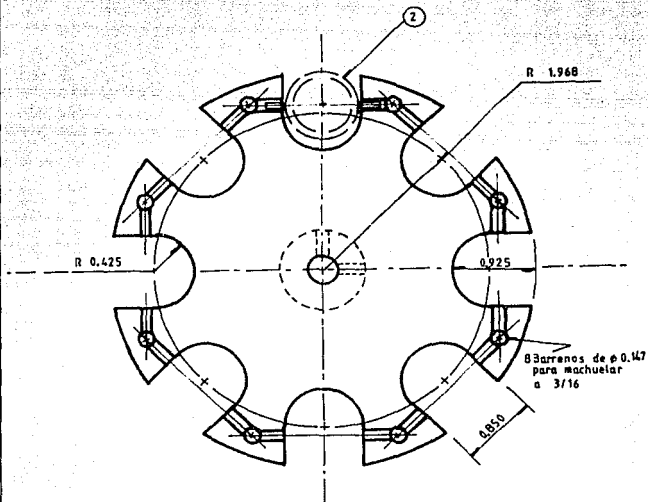
La potencia necesaria para realizar el movimiento es de 57.5W.

Al salir a buscar a los comercios un motor de esta capacidad, se tuvieron ciertos problemas en cuanto a que coincidiera la potencia con el número de RPM, el motor usado es de una máquina de coser con 4500 rpm y 90 W de potencia.

A continuación se presentan los planos de definición y ensamble del primer prototipo fabricado.

## 8.2 PLANOS

MATERIAL : Aluminio



Escala: 1:1

DISEÑO DE MAQUINAS

DISUJOS  
ESTRADA L.U.

REVISO:  
BORJA R.V.



UNAM

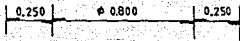
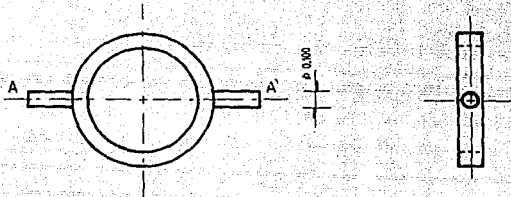
CABEZAL

Acot.: PULG.

1

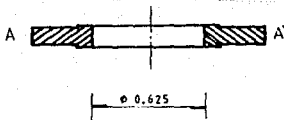
TRABAJO NORMALIZADO No. 307 15 20 1988

TRABAJO NORMALIZADO No. 307 15 20 1988



MATERIAL : Acero Inoxidable

No. de piezas : 8



Escala: 2:1

DISEÑO DE MAQUINAS

DIBUJO:  
ESTRADA L.U.

REVISO:  
BORJA R.V.



UNAM

ARILLO PARA CAMISA

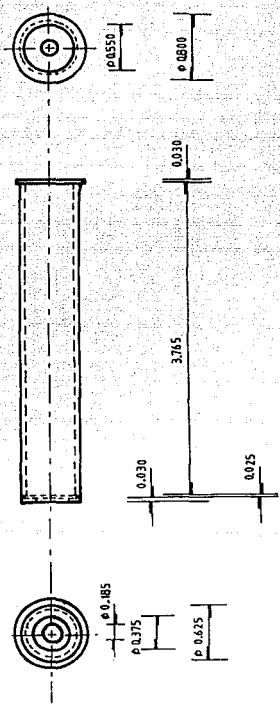
Acot.: PULG.


2

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTRUMENTACIÓN A  
DISEÑO DE MAQUINAS

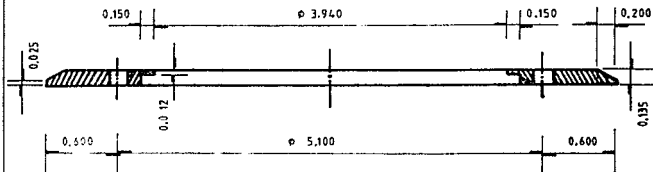
MATERIAL : Tubo de aluminio  
de 5/8



Escala: <u>1:1</u>	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
	CAMISA	Acot.: PULG.	
UNAM		3	

Material : Acero Inoxidable

6 Barrenos de  $\phi 3/16$   
Equidistantes



Escala: 1:1

DISEÑO DE MAQUINAS

DIBUJO:  
ESTRADA L.U.

REVISO:  
BORJA R.V.



PLATO DE SUJECION

Acot.: PULG.

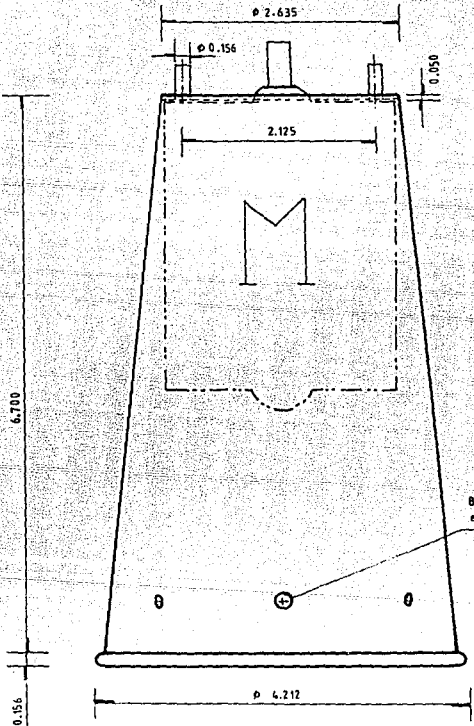
UNAM

PARA CUERPO

4

UNAM

TAMBIÉN NORMALIZADO AS  
SEGÚN ISO 259



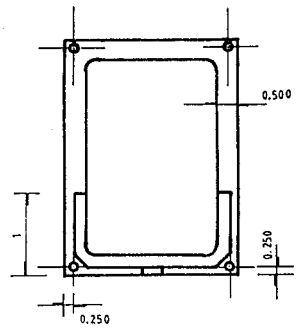
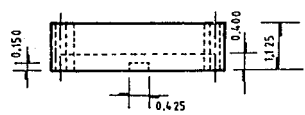
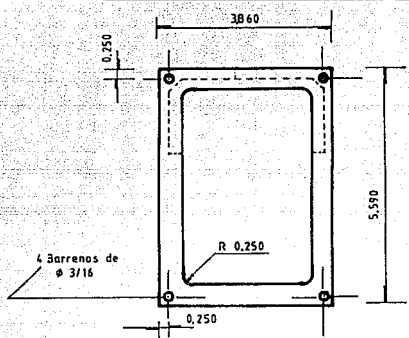
MATERIAL: Acero Inoxidable

Escala: 1:1	DISEÑO DE MAQUINAS	DISEÑO: ESTRADA L.U.	REVISÓ: BORJA R.V.
	<b>CUERPO</b> (Indicando la posición del motor)		Acot.: PULG.
<b>UNAM</b>			<b>5</b>




UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

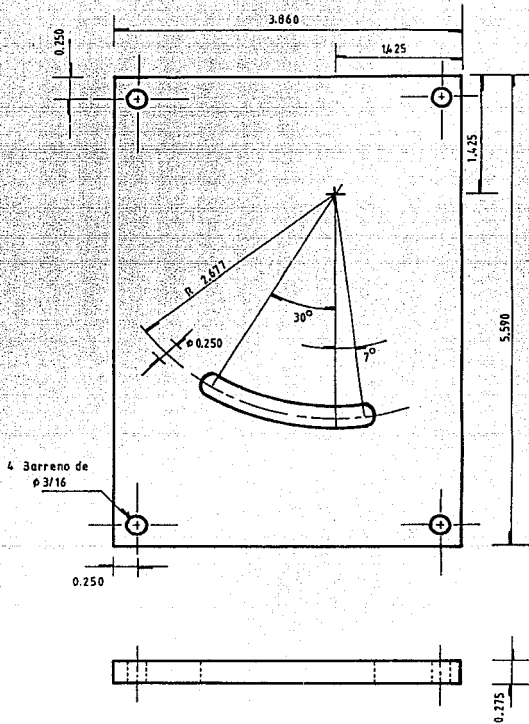


MATERIAL : Celorón

Escala: 1:2	DISEÑO DE MAQUINAS	DISUJO: ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
	CUBIERTA		Acot.: PULG.
UNAM			6-A

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Material: Acrílico

Escala: 1:1

DISEÑO DE MAQUINAS

DIBUJO:  
ESTRADA L.U.

REVISO:  
BORJA R.V.



UNAM

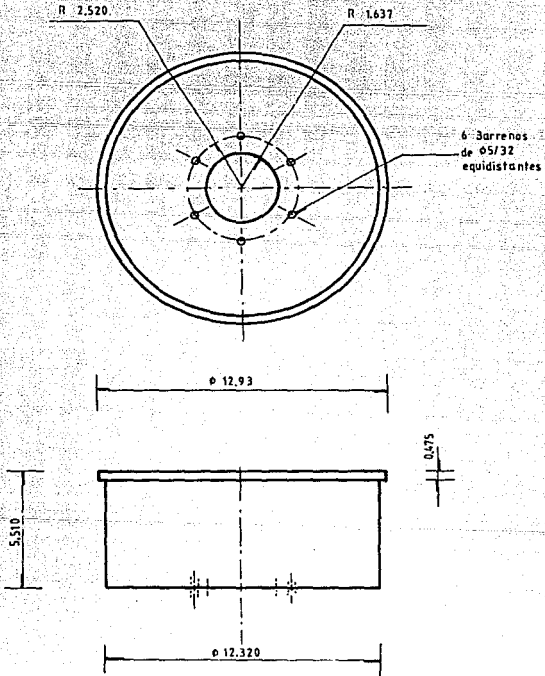
MICA

Acot.: PULG.

6-3

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TAMBIÉN NORMALIZADO EN  
DIN EN ISO 7243



Material: Acero Inoxidable

Escala: 1:4

DISEÑO DE MAQUINAS

DISUJO  
ESTRADA L.U.

REVISOR:  
BORJA R.V.

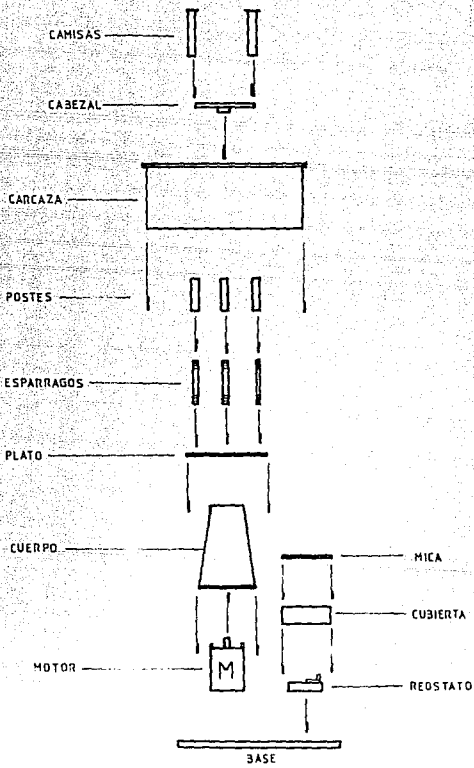
  
UNAM

CARCAZA

Acot.: PULG.  
7

UNAM

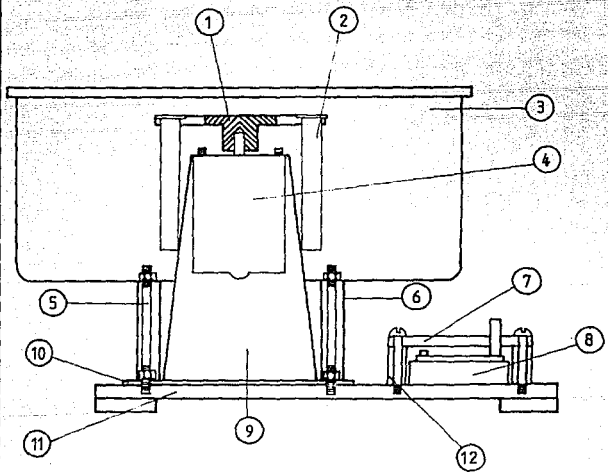
UNAM



Escala: <u>1:7</u>	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO BORJA R.V.
	DIAGRAMA DE ENSAMBLE		Acot.: S/A
UNAM			8

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN AERONÁUTICA



Escala: 1:25

DISEÑO DE MAQUINAS

DIBUJO:  
ESTRADA L.U.

REVISO:  
BORJA R.V.



UNAM

MONTAJE

Acot.: S/A

9

UNAM  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANTÓN  
 DE GUAYMAS

PROYECTO: MAQUINA  
 N.º: 1838

PZA.	DESCRIPCION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	CÁBEZAL	1	Ver plano Num. 1
2	CAMISA	8	Ver plano Num. 3
3	CARCAZA	1	Ver plano Num. 7
4	MOTOR	1	110 V , 0.85 A , 90 W
5	ESPARRAGOS	6	Varilla de latón de $\phi 1/8"$
6	POSTES	6	Tubo aluminio de $\phi 7/8"$
7	MICA	1	Ver plano Num. 6-3
8	REOSTATO	1	De deslizamiento.
9	CUERPO	1	Ver plano Num. 5
10	PLATO	1	Ver plano Num. 4
11	BASE	1	Placa colorón de 1'
12	CUBIERTA	1	Ver plano Num. 6-A

Escuela: S/E	DISEÑO DE MAQUINAS	DISEÑO: ESTRADA L.U.	REVISÓ: BORJA R.V.
	LISTA DE PARTES		Acot.: S/A
UNAM			9-A

### 8.3 FABRICACION Y ENSAMBLE

Esta es la parte final de nuestro diseño, la culminación del trabajo de recopilar información, la investigación y el análisis matemático.

La mayor parte de los diseños son calculados y planeados y se lleva a compañías especializadas en la fabricación.

El diseño, motivo de esta tesis, no fué como el caso anterior. Todas las piezas involucradas en este aparato fueron construidas y maquinadas personalmente.

La formación de un Ingeniero no debe ser únicamente académica, sino también práctica. Existen un sinnúmero de situaciones y problemas que se dan dentro de un ciclo de maquinado, que no se ven en un curso sobre las maquinas-herramienta y los libros de texto ni siquiera las mencionan, la mejor herramienta para enfrentarlos es la experiencia.

Como primer pieza, se construyó el cabezal, para el cual se parte de un disco de aluminio y se maquina hasta darle la forma primaria que se diseñó (Véase el plano Num.1). Este disco fué montado en un torno, dándosele a la pieza un acabado fino(ver figura 8.3.2).

Después de esto, el cabezal es montado en un taladro para barrenar los agujeros donde irán los tornillos de seguridad (Ver la figura 8.3.3) .

Ahora el cabezal es montado en un plato divisor y con un cortador se hacen las zanjas donde girarán los anillos (Ver la figura 8.3.4) . Por último se machuelan los agujeros donde van los tornillos de seguridad.

Los anillos fueron inicialmente cuadritos de placa de aluminio barrenados a la medida del diámetro de la camisa. Se fabricó un mandril en el cuál fueron montados y colocados en la fresadora para que se siga la secuencia de maquinado para darle forma (ver la figura 8.3.5). Por último, en la piedra de esmeril se le dió la forma redonda a los muñones (ver la figura 8.3.6.).

Las camisas fueron realizadas por el método de rechazado, al igual que la carcasa.

Los demás elementos, como los espárragos, fueron cortados y tarrajados. La carcasa fué barrenada y los tubos de los espárragos torneados para darles una medida exacta.

La base sólo fué barrenada para colocar los espárragos y los tornillos que sujetan a la cubierta, mica y reóstato.





Figura 8.3.2 TORNEADO

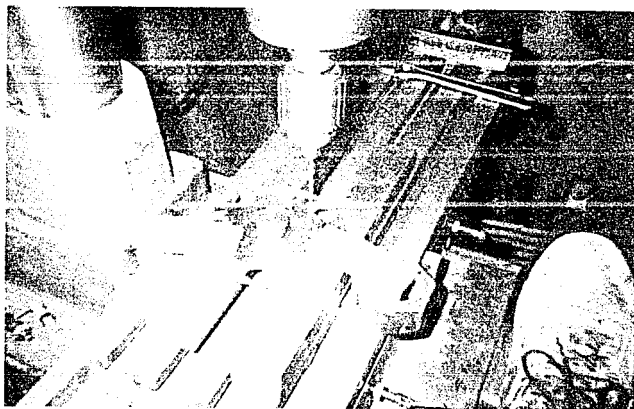


Figura 8.3.3 TALADRADO



Figura 8.3.4 FRESADO

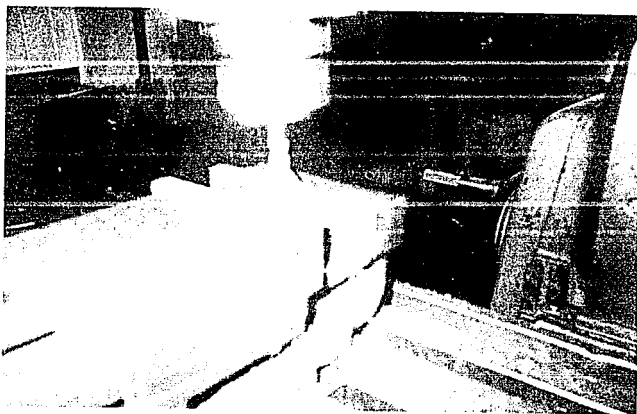


Figura 8.3.5 FRESADO DE ANILLOS



Figura 8.3.6 ANILLOS

## 8.4 PRUEBAS Y EVALUACION DEL PROTOTIPO

En la inspección visual se tiene lo siguiente:

- El aparato es más ligero que el que tienen en la DGSM.
- No hace ruido.
- Es portable.
- El sistema de encendido y apagado es un poco incómodo, debido a que es un resáto de deslizamiento.
- Trabaja a las 3000 rpm que son las requeridas.
- No tiene vibración.

En la DGSM, la centrífuga fué sometida al trabajo normal, el cual consistió en 10 ciclos de centrifugado de 15 minutos cada ciclo, por día. Durante estas pruebas se notó un calentamiento muy palpable en el motor. Al término de cada sesión de trabajo, este calentamiento se acentuaba y se pensó en que posiblemente se debía a que el motor, por estar dentro del cuerpo (ver plano Num. 5), tendría poca ventilación. A los tres días de usó se recogió el aparato y se le hicieron unos agujeros al cuerpo para aumentar la ventilación del motor. Al estarse armando el aparato y hacerse algunas pruebas con él, se encontró que el motor sin el cabezal y sin camisas daba una velocidad de 8000 y no de 4500 rpm como lo decía la placa del motor; más aún, al volverle a colocar el cabezal junto con sus camisas y ponerlo a funcionar, la centrífuga giró 3000 rpm (que es el número de rpm que se requieren).

Dicho de otra manera, debido a efectos de fricción con el aire el motor baja de 8000 a 3000 rpm, esto es, que el motor no está trabajando a su velocidad nominal debido a la fuerza de arrastre de las camisas con el aire.

Se entregó el aparato a DGSM para continuar con las pruebas y encontrar otros posibles defectos.

A los tres siguientes días se tuvo que recoger el aparato debido a que el motor se quemó, ratificándose lo que anteriormente se había notado: La velocidad nominal del motor es de 8000 rpm y baja hasta 3000 rpm o sea que el motor se estuvo forzando y se calentó hasta quemarse.

Lo importante que se obtuvo de esta falta fué que para hacer el cálculo del motor se debió tomar en cuenta la fricción con el aire debida al giro de las camisas con los tubos de ensaye.

En el rediseño, al calcular la potencia del motor, además de intervenir el momento de inercia se usará la fuerza de arrastre.

## **IX REDISEÑO 1**

## IX REDISEÑO I

### 9.1 MEMORIA DE CALCULO

(Ver la referencia Num.5)

En la memoria de cálculo anterior se obtuvo una potencia de 57.5W . Como ya se comentó, al estar funcionando el agitador se presenta un fenómeno que no se había considerado : el de arrastre. Por tal motivo, para calcular la potencia del motor ahora intervendrá la fricción.

La potencia del motor, como ya se vió, está en función del momento de inercia del cabezal con los tubos de ensaye, esto al momento de arrancar; pero al estar girando después de vencer esta inercia, se debe vencer otra fuerza debida a la fricción con el aire. Se comprobó que el par provocado por el arrastre es mayor que el provocado por la inercia, lo anterior corroborado físicamente. Ahora hagámoslo matemáticamente:

La potencia en función de la fuerza de arrastre tiene la siguiente expresión:

$$P = F_d \cdot \omega \quad \dots\dots(Q)$$

Donde:

P= Potencia del motor (W)

F<sub>d</sub>= Fuerza de arrastre (N)

$d$  = Distancia del centro de giro al centroide de las camisas

$w$  = Velocidad angular (rad/s)

De la expresión (Q) se ignora  $F_d$ , para esta fuerza de arrastre se tiene la siguiente expresión:

$$F_d = 1/2 C_d \rho v^2 A \dots\dots(S)$$

Donde:

$F_d$  = Fuerza de arrastre.

$C_d$  = Coeficiente de arrastre (de tablas).

$\rho$  = Densidad del aire (1Kg/m<sup>3</sup>).

$v$  = Velocidad tangencial (m/s).

$A$  = Area proyectada de la camisa (m<sup>2</sup>).

De tablas se encuentra que  $C_d = 0.83$ , la densidad del aire de 1Kg/m<sup>3</sup>, ahora calcularemos la velocidad tangencial a 3000 rpm a una distancia de 10cm (distancia del centro de giro al centroide de las camisas), con la siguiente expresión :

$$v = \frac{N\pi r}{30} \dots\dots(T)$$



Donde:

$v$  = Velocidad tangencial.

$N$  = Velocidad angular en rpm.

$r$  = Radio de giro.

Calculando:

$$v = \frac{(3000RPM)(\pi)(0.1m)}{30} = 31.4m/s$$

Para el área proyectada, se sabe que el largo de la camisa es de 10cm y el diámetro de 0.016m, entonces:

$$A = (0.1m)(0.016m) = 1.6 \times 10^{-3} m^2$$

Con todos estos datos calculamos la fuerza de arrastre sustituyendo en la ecuación (S):

$$F_d = 1/2(0.83)(1)(31.4m/s)^2(1.6 \times 10^{-3} m^2) = 0.65 N$$

Como esta fuerza está aplicada a lo largo de toda la camisa, la fuerza coincide en el centroide de la misma, esto es a 10 cm del centro del cabezal. Se usará un factor de seguridad de 1.5.

Por lo tanto, la potencia para vencer la fuerza de arrastre de una camisa es, por la expresión (Q):

$$P = (0.65\text{N})(0.1\text{m})(314.16 \text{ rad/s})(1.5) \\ = 30.63\text{W}$$

Pero son ocho camisas, por lo tanto:

$$P = (30.63\text{W})(8) = 244.8 \text{ W}$$

Observando el resultado anterior ratificamos lo dicho en un principio, la potencia debida al arrastre es mayor que la debida a la inercia.

Con dicho resultado se fué a los comercios y se compró un motor de 1/3 de HP que es equivalente a 248 W y con una velocidad de 3100 rpm, rectificadas con tacómetro.

## 9.2 CAMBIOS

Como ya se sabe, en los cálculos anteriores se obtuvo que la potencia requerida es 4 veces más grande que la que se calculó sin tomar en cuenta la fricción con el aire.

El problema inmediato fué el mismo que cuando se comenzó a construir el agitador centrífugo anterior; se requiere de un motor de tamaño pequeño con la potencia calculada y que nos de las revoluciones que se piden.

Se consiguió, como ya se mencionó, un motor de 1/3 HP y con 3100 rpm (ya rectificadas con tacómetro para evitar el problema que se suscitó con el motor anterior).

Debido a que el motor nuevo es de mayor tamaño y mayor diámetro se tuvo que hacer cambios muy radicales en el diseño.

En primer lugar, el motor ya no pudo ir adentro del cuerpo, así va afuera. De esta manera tiene también mayor ventilación.

Otro problema que se presenta es que al tratar de acoplar el cabezal en el eje del motor, las camisas no quedaban en su posición vertical porque el diámetro del nuevo motor es más grande y esto ocasionaría que las camisas golpearan continuamente en el motor y dificultaría el introducir los tubos en las camisas.

Por consiguiente, fué necesario hacer una extensión (ver figura Num. 9.2.1 y el plano 10) y acoplarla al eje del motor de tal manera que al colocar el cabezal y las camisas, estas últimas no rozen en el motor y además queden completamente en posición vertical.

Pero este acoplamiento necesitó de un dispositivo extra, debido a lo siguiente: al colocar una extensión acoplada al eje del motor se corre el peligro de que, por existencia de alguna excentricidad, al estar girando el eje se produzca una fuerte vibración y por fatiga rompa la flecha. Para evitar esto se diseñó un dispositivo que mantiene derecho el eje y refuerza a la extensión. Este refuerzo recibe el nombre de cuerpo (ver el plano 11) y consiste en un tramo de redondo de aluminio con una base en un extremo para asentar en el motor y en el otro extremo se hizo una cavidad para un balero. Este balero evita que la extensión tenga rozamiento con el cuerpo y disminuya alguna vibración producida por alguna excentricidad.

El motor asienta perpendicularmente en la base, la extensión va fija con un par de prisioneros al eje. El cuerpo se coloca axialmente en la parte superior del motor, tal como se indica en el diagrama de ensamble (ver plano Num.12).

El cuerpo va superpuesto, esto es porque al colocar arriba de este la carcaza y apretarla con los espárragos, la misma carcaza mantiene fijo el cuerpo al motor y este último a la base.

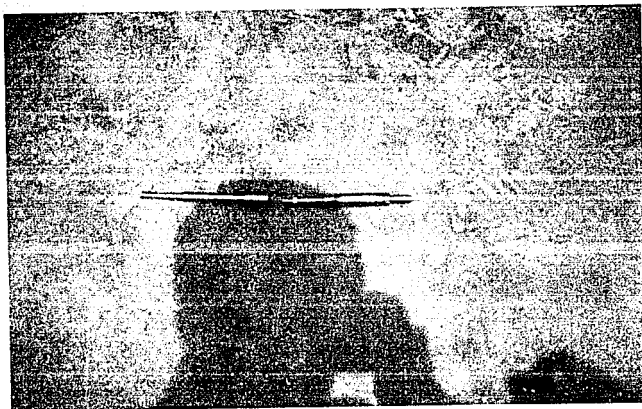
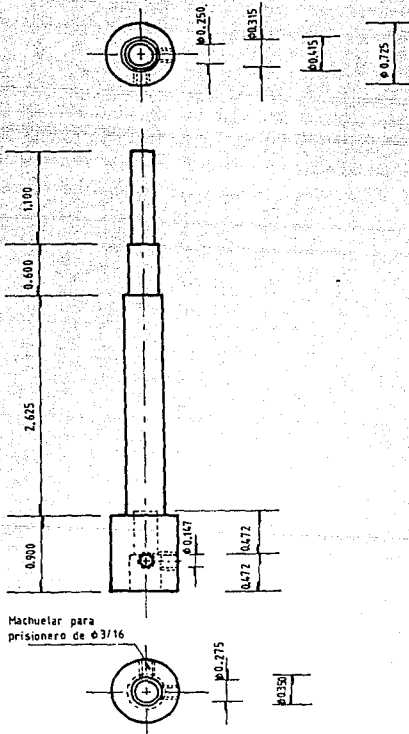



Figura 9.2.1 EXTENSION Y EJE DEL ROTOR

## 9.3 PLANOS

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

TAMAÑO NORMALIZADO A  
POR 1:100 MM

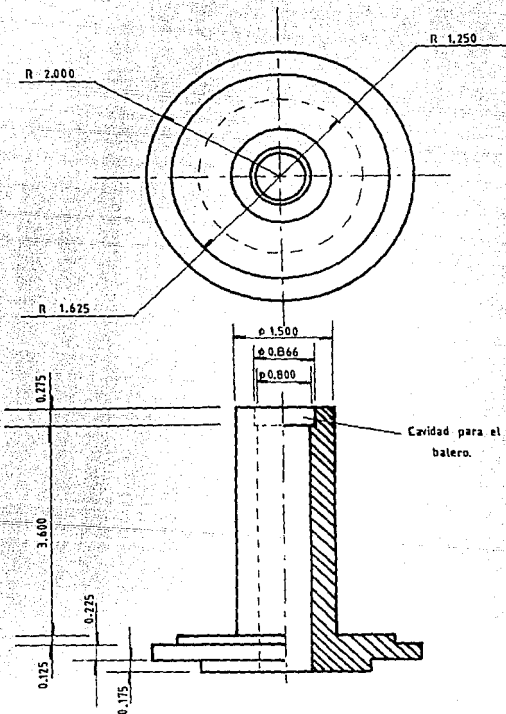


Escola: 1:1	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
 UNAM	EXTENSION		Acot.: PULG.
			10

Material: Aluminio

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA

PROYECTO DE DISEÑO DE MÁQUINAS  
MÉXICO, D.F. 1981



Escala: 1:15

DISEÑO DE MAQUINAS

DIBUJO:  
ESTRADA L.U.

REVISO:  
BORJA R.V.



UNAM

CUERPO

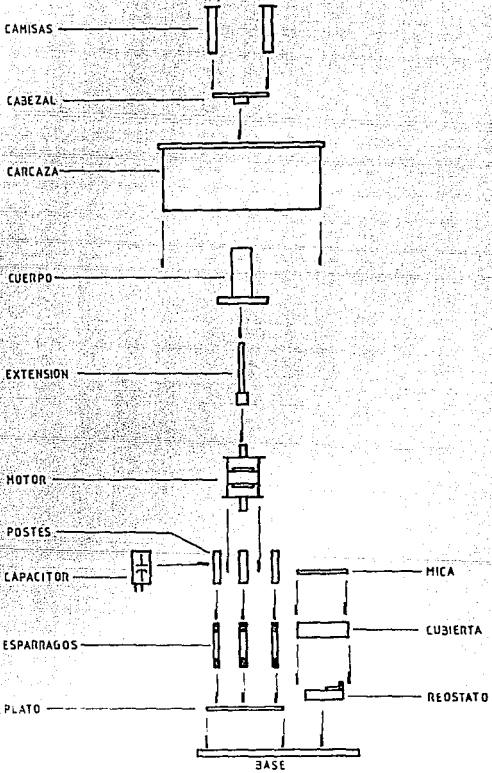
Acot.: PULG.


11




 Facultad de Ingeniería Mecánica  
 UNAM

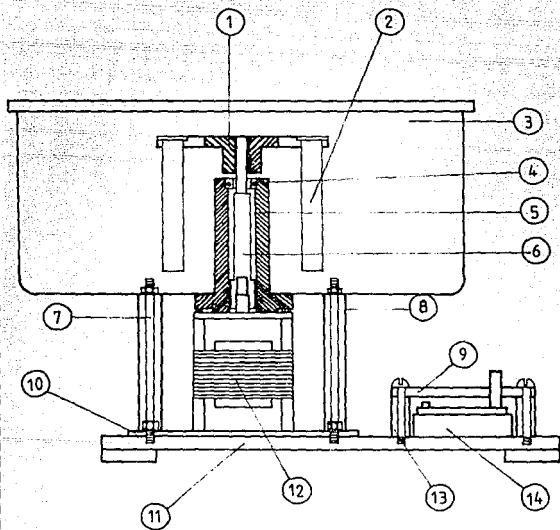
Trabajo Especializado de Grado  
 2011-2012



Escala: 1:7	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
	DIAGRAMA DE ENSAMBLE		Acat.: S/A
UNAM			12

Instituto Nacional de Estadística y Geografía  
 INEGI

TAMAÑO NORMALIZADO: A  
 297 x 420 mm



Escala: 1:25	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
	MONTAJE		Acot.: S/A
UNAM			13

PZA.	DESCRIPCION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	CABEZAL	1	Ver plano Num.1
2	CAMISA	8	Ver plano Num. 3
3	CARCAZA	1	Ver plano Num. 7
4	BALERO	1	De bolas Num. 608
5	CUERPO	1	Ver plano Num. 11
6	EXTENSION	1	Ver plano Num. 10
7	ESPARRAGOS	6	Varilla de latón de $\phi 7/8"$
8	POSTES	6	Tubo aluminio de $\phi 7/8"$
9	MICA	1	Ver plano Num. 6-B
10	PLATO	1	Ver plano Num. 4
11	BASE	1	Placa colorón de 1"
12	MOTOR	1	110 V, 1/3 HP
13	CUBIERTA	1	Ver plano Num. 6-A
14	REOSTATO	1	De deslizamiento

Escuela: <u>S/E</u>	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: <u>ESTRADA I. U.</u>	REVISOR: <u>BORJA R.V.</u>
	LISTA DE PARTES		Acot.: <u>S/A</u>
<b>UNAM</b>			<b>13-A</b>

#### 9.4. PRUEBAS

Con este nuevo dispositivo no se encontró vibración, solamente apretando bien las tuercas de los espárragos, además el aparato daba las 3000 rpm y no tenía sobrecalentamiento.

El aparato se volvió a llevar a la DGSM para continuar con las pruebas pero nuevamente se tuvo que recoger al día siguiente,

Esta vez el problema surgió de lo siguiente:

Al estar apagado el aparato se tocó el cabezal y con el dedo se hizo que girara y se notó que el giro era un poco forzado, lo cuál daba a entender que había "algo" que estaba haciendo que el eje con su extensión se apretara.

Pero este "apretamiento" no tenía problema (aparentemente), la centrifuga arrancaba y giraba sin forzarse. Este problema podría tener fundamento en que la extensión no se maquinó del todo bien y podría tener alguna excentricidad. Pero el problema no estaba al arrancar, sino al acabar el ciclo de centrifugado; cuando iba disminuyendo la velocidad angular llegaba un momento en que el cabezal se detenía de golpe y las camisas se columpiaban y golpeaban en el cuello del cuerpo; esto provocaba que se revolvieran otra vez, por el impacto, las sustancias de la sangre con el suero ya centrifugado.

Si el problema era que estaba muy apretada la flecha con la extensión, se pensó en aflojar un poco las tuercas de los espárragos pero al poner a funcionar la centrífuga comenzó a vibrar y hasta hacer saltar la centrífuga. Con lo anterior se tuvo que pensar en otro diseño que redujera la vibración y que permitiera que el eje gire libremente y sin forzarse.

## **X REDISEÑO 2**

## X REDISEÑO 2

### 10.1 Cambios

Atribuyendo el problema a lo ya comentado anteriormente, que en razón de que la extensión que estaba acoplada al eje del motor y que debido a alguna excentricidad por alguna falla en el maquinado, se diseñó una flecha que suplió a la flecha del rotor y a la extensión (ver figura 10.1).

Esta flecha tiene la misma forma que tiene el eje del motor y la extensión cuando están unidas (ver figura 10.2 y plano Num. 14), para esto se tuvo que sacar la flecha del rotor y unirla a la extensión para así diseñar una flecha que fuera desde la chumacera inferior del motor hasta la tuerca de seguridad del cabezal.

Esta flecha fue maquinada y acabada por medio de torneado (ver figura 10.3 y 10.4).

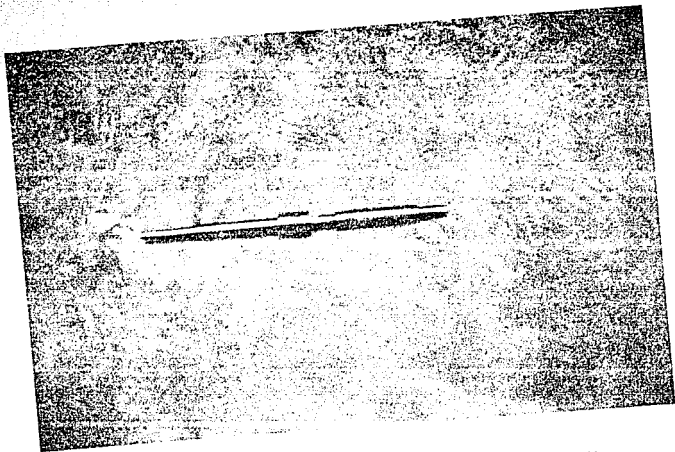


Figura 10.1 FLECHA Y EXTENSION (ACOPLADAS)

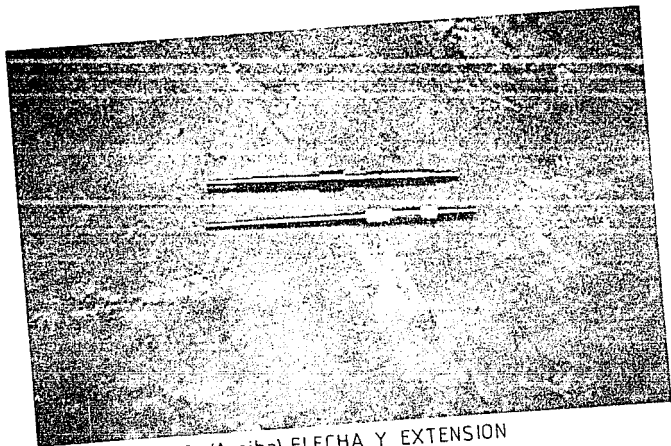


Figura 10.2 (Arriba) FLECHA Y EXTENSION  
(Abajo) EJE DEL ROTOR





Figura 10.3 MAQUINADO DEL EJE DEL ROTOR

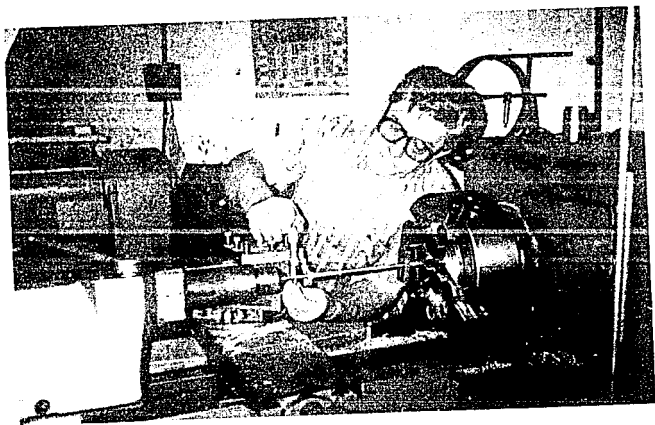


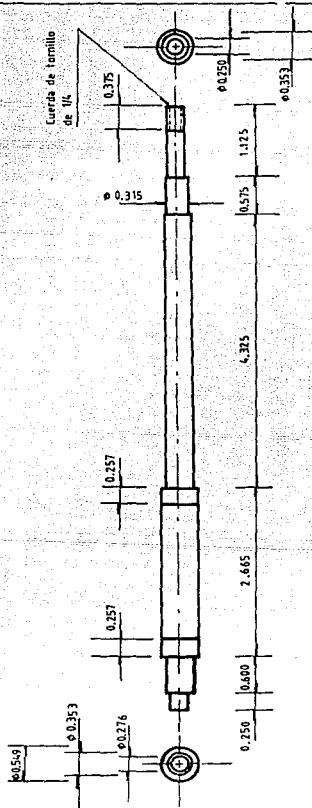
Figura 10.4 MEDICION CON MICROMETRO


## 10.2 PLANOS


 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
 UNAM

TAMAÑO NORMALIZADO A  
 DIF. 1:10 MM.

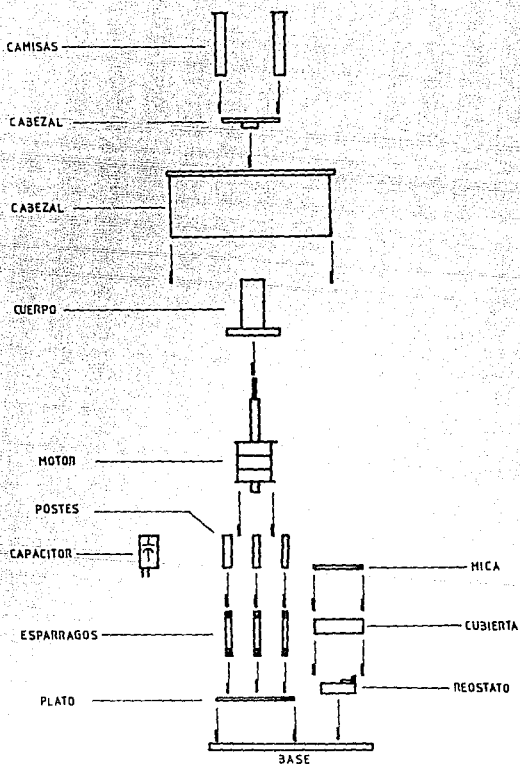
Material : TX10 Tratado




Escala: <u>1:15</u>	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
	EJE DEL ROTOR		Acot.: PULG.
UNAM			14

UNAM  
 Facultad de Ingeniería  
 Departamento de Ingeniería Mecánica

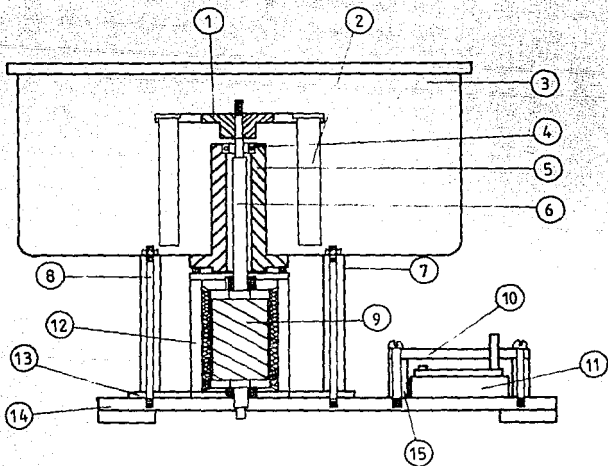
Taller de Mecánica  
 2013-2014




Escala: <u>1:7</u>	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
	DIAGRAMA DE ENSAMBLE		Acd.: S/A
UNAM			15


 Facultad de Ingeniería Mecánica  
 UNAM

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA MECÁNICA  
 UNAM



Escala: 1:2.5	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA LU.	REVISO: BORJA R.V.
	MONTAJE		Acot.: S/A
UNAM			16

RT	DESCRIPCION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	CABEZAL	1	Ver plano Num.1
2	CAMISA	8	Ver plano Num.3
3	CARCAZA	1	Ver plano Num.7
4	BALERO	2	De bolas Num.608
5	CUERPO	1	Ver plano Num.11
6	EJE	1	Ver plano Num.14
7	POSTES	6	Tubo aluminio de $\phi$ 7/8"
8	ESPARRAGOS	6	Varilla de latón de $\phi$ 1/8"
9	ROTOR	1	Datos del motor
10	MICA	1	Ver plano Num 6-3
11	REOSTATO	1	De destlizamiento.
12	MOTOR	1	110V, 1/3 W
13	PLATO	1	Ver plano Num.4
14	BASE	1	Placa de colorón de 1"
15	COBIERTA	1	Ver plano Num.6-A

Escala: S/E	DISEÑO DE MAQUINAS	LIBRERO: ESTRADA L.U.	REVISOR: SORJA R.V.
UNAM	LISTA DE PARTES	Acot.: S/A	
		16-A	

### 10.3 PRUEBAS

Las pruebas no fueron muchas, esto debido a que con el cambio de eje no hubo ningún cambio, el agitador tuvo la misma vibración y los mismos problemas que anteriormente se presentaron.

Se desechó la posibilidad de alguna excentricidad ya que el eje no tiene extensiones ni acoplamiento alguno. Pero en una de tantas veces que se armó y se desarmó la centrífuga para encontrar el problema, se encontró lo siguiente:

El motor es tipo jaula de ardilla y además cuenta con chumaceras. Estas chumaceras están colocadas en las tapaderas de los extremos del motor. Aquí es donde estaba el problema. Las tapaderas son de lámina, entonces al apretar las tuercas de los espárragos la lámina se flexiona y desvía, aunque imperceptiblemente, la verticalidad del cuerpo y a su vez el eje, forzando así el giro del mismo.

## XI REDISEÑO 3

---



## XI REDISEÑO 3

### 11.1 Cambios

Está visto que el problema fue mucho más complicado de lo que se pensó, por lo tanto, se hicieron cambios más radicales.

- Primeramente se suprimieron las chumaceras por baleros para evitar desgaste en el eje del rotor.
- Se le hizo un nuevo maquinado al cuerpo (ver plano 18) para que éste quedara bien atornillado y fijo en la parte donde está la tapadera superior, además se le hizo una cavidad en la parte inferior para que ahí quedara colocado un balero, esto para reforzar la verticalidad del eje.
- Se diseñó una tapa inferior (ver plano 19) para suprimir la chumacera que ahí se encuentra. De igual manera en esta tapa se puso un balero. La tapa va atornillada y fija en lugar de la tapa de lámina.
- El motor se fijó a la base.
- El eje del rotor se remaquinó para ajustarlo a las nuevas medidas (ver plano 17) que se requirieron debido a los cambios de las tapas de lámina por los dispositivos con baleros.

- Se cambió el resíato de deslizamiento por uno de perilla, para dar más comodidad de operación y estética al aparato (ver figura 11.1 y 11.2).

Estos cambios evitaron que se tuvieran piezas acopladas ó también superpuestas evitando problemas de descentramientos y desapareciendo vibraciones posibles.

Con el cambio de tapaderas de lámina a aluminio y atornilladas desapareció la flexión que sufría el eje del motor, y con esto último se puede apretar tanto como se quiera las tuercas de los espárragos que fijan la carcasa.

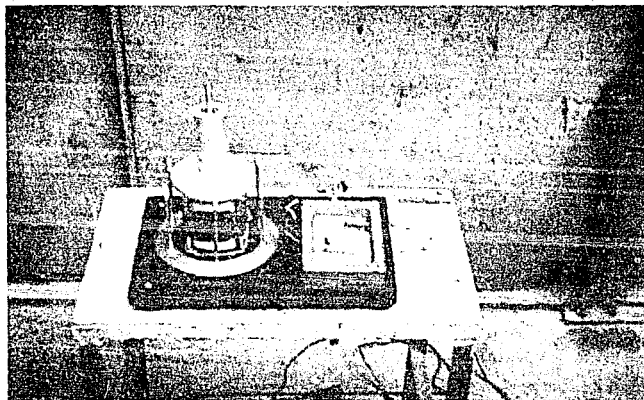


Figura 11.1 REOSTATO DE DESLIZAMIENTO

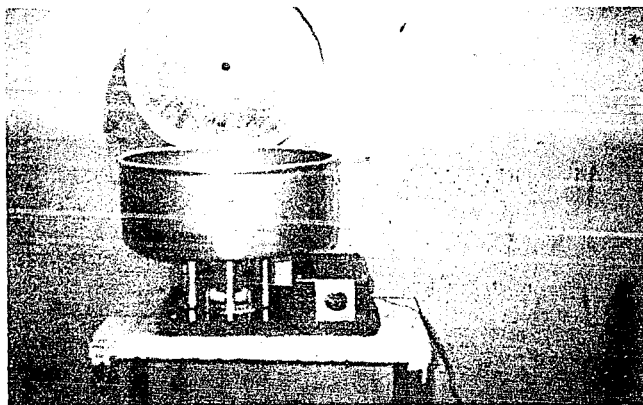


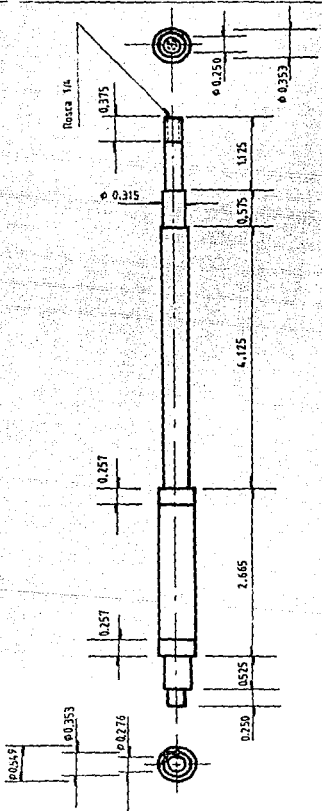
Figura 11.2 REOSTATO DE PERILLA


## 11.2 PLANOS

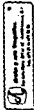

 Facultad de Ingeniería Mecánica  
 UNAM

TALLER DE DISEÑO DE MÁQUINAS  
 2017-18

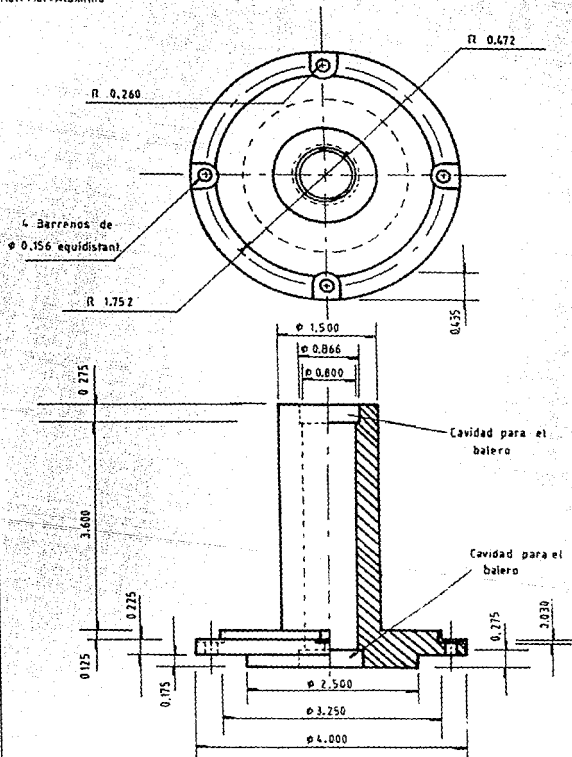
Material: TX10 Tratado




Escala: 1:1.5	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA LU.	REVISO: BORJA R.V.
	EJE DEL ROTOR		Acol.: PULG.
UNAM			17


 DISEÑO DE MAQUINAS  
 ESTRADA L.U.

Material: Aluminio

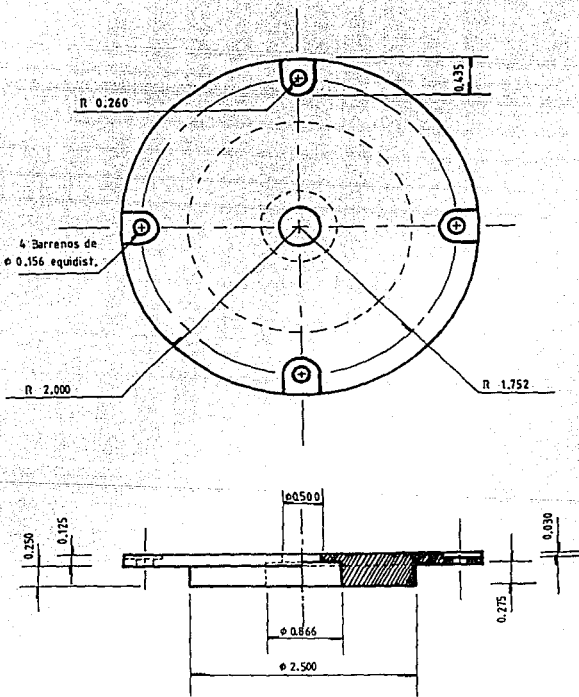


TAMAÑO NORMALIZADO A  
 DIN A3 (210 x 297 mm)


Escala: 1:1.5	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO: BORJA R.V.
	<b>CUERPO</b>		Acor.: PULG.
UNAM			<b>18</b>

61  
DISEÑO DE MÁQUINAS  
Estrada L.U.  
Borja R.V.

Material: Aluminio

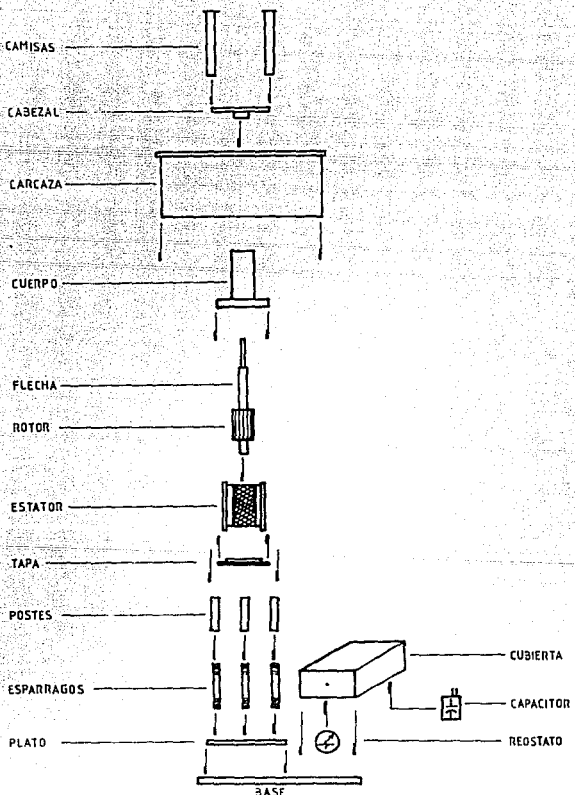



UNAM  
Escuela de Ingeniería  
Mecánica  
Carrilón 1000  
C.P. 04510

Escala: 1:1	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISÓ: BORJA R.V.
	<h1>TAPA</h1>		Acot.: PULG.
UNAM			19

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TAMAÑO NORMALIZADO A  
300 X 210 MM

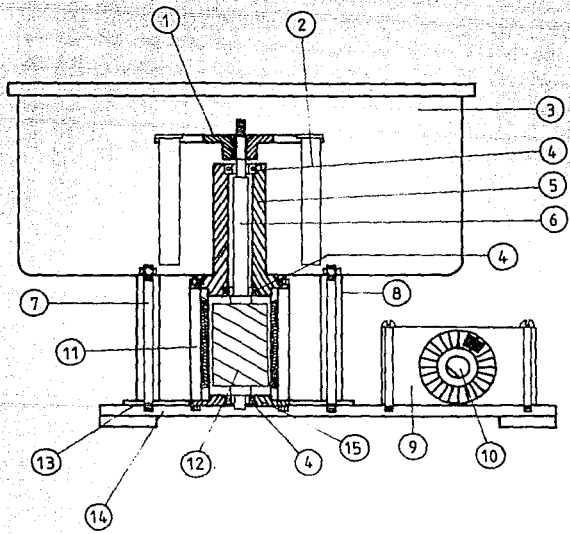



Escala: <u>1:7</u>	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISÓ: BORJA R.V.
	DIAGRAMA DE ENSAMBLE		Acol.: S/A
UNAM			20




 Facultad de Ingeniería Mecánica  
 UNAM

TAMAÑO NORMALIZADO A  
 200 x 250 mm



Escala: <b>1:2.5</b>	DISEÑO DE MAQUINAS	DIBUJO: ESTRADA L.U.	REVISO BORJA R.V.
	<b>MONTAJE</b>		Acot.: S/A
<b>UNAM</b>			<b>21</b>

PEZ.	DESCRIPCION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
1	CABEZAL	1	Ver plano Num.1
2	CAMISA	8	Ver plano Num.3
3	CARCAZA	1	Ver plano Num.7
4	BALERO	2	Superior 608, Inferior 609
5	CUERPO	1	Ver plano Num.18
6	EJE	1	Ver plano Num.17
7	ESPARRAGOS	6	Varilla de latón de $\phi$ 1/8"
8	POSTES	6	Tubo aluminio de $\phi$ 7/8
9	CUBIERTA	1	Material: PVC
10	REOSTATO	1	De perilla, 50 W, 50 Ohm
11	MOTOR	1	110 V, 1/3 HP
12	ROTOR	1	Datos del motor
13	PLATO	1	Ver plano Num.4
14	BASE	1	Placa de celoron de 1"
15	TAPA	1	Ver plano Num.19

Escrito: S/E	DISEÑO DE MAQUINAS	DISEÑO: ESTRADA L.U.	REVISOR: BORJA P.V.
	LISTA DE PARTES		Acc.: S/A
UNAM			21-A

### 11.3 PRUEBAS

Al hacer las pruebas personales al aparato, antes de llevarlo a la DGSM, se encontró una pequeña vibración que persistía. Se checkaron cada una de las piezas y no se veía porqué. Después de una revisión minuciosa y exhaustiva a todo, se encontró el pequeño detalle:

Como la centrífuga se armó y desarmó aproximadamente 30 veces por motivo de cambios, ajustes y révisiones, el agujero del cabezal en donde entra el eje del motor se holgó por motivo de desgaste y es que el eje es de acero y el cabezal de aluminio. Como el eje tiene cuerda para tuerca, cada vez que se colocaba el cabezal la cuerda estuvo haciendo la función de lima y lo desgastó.

Para corregir esto, se maquinó un buje de acero 1045 y se le puso al cabezal para evitar desgaste (ver plano 22).

Con estos cambios, se llevó el aparato a la DGSM donde estuvo trabajando los ciclos normales de operación. No se presentó vibración alguna y sí mayor comodidad para operar debido al cambio de roástato de perilla por el de destizamiento.

Después de 10 semanas de trabajo normal la centrífuga no ha presentado ningún problema.

En la figura 11.2.1 se muestra el momento en el que se carga el aparato con los tubos de ensaye.

En la figura 11.2.2 se muestra al operario momentos antes de que el cabezal se detenga (nótese las camisas al vuelo).



Figura 11.2.1 CARGANDO EL AGITADOR

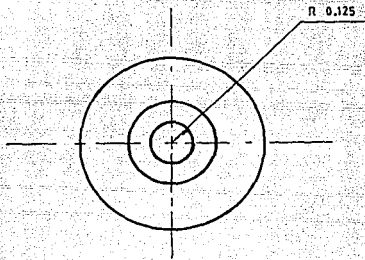


FIGURA 11.2.2 FINAL DEL CICLO DE CENTRIFUGADO

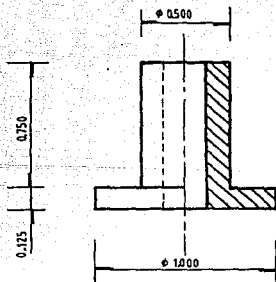
## 11.4 PLANOS

UNAM  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TRANSACCIONES TECNOLÓGICAS SA  
CALLE 1000  
C.P. 04500



Material: Acero 1045



Escala: 2:1

DISEÑO DE MAQUINAS

DIBUJO:  
ESTRADA L.U.

REVISÓ:  
BORJA R.V.



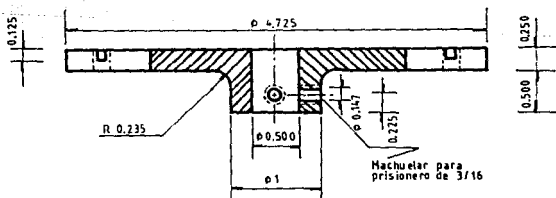
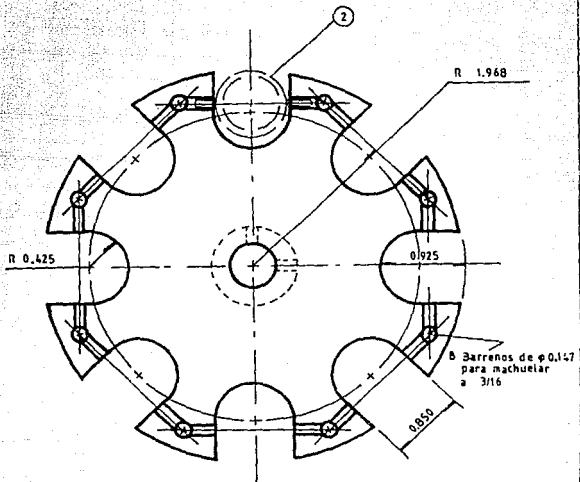
UNAM

BUJE

Acot.: PULG.

22

MATERIAL: Aluminio



Escala: 1:1

DISEÑO DE MAQUINAS

DIBUJO:  
ESTRADA L.U.

REVISO:  
BORJA R.V.



UNAM

CABEZAL

CON ENTRADA PARA BUJE

Acot.: PULG.

23



## **XII CARACTERISTICAS DEL AGITADOR CENTRIFUGO**

## XII CARACTERÍSTICAS DEL AGITADOR CENTRIFUGO

Las características del prototipo de agitador centrífugo resultante son:

### - RENDIMIENTO:

La centrifuga alcanza una velocidad de 3000 RPM para realizar la centrifugación requerida.

Las camisas tienen las dimensiones para contener tubos de ensaye de 13mm de diámetro exterior por 100mm de largo.

El consumo de energía es el mismo que el original.

### - AMBIENTE DE OPERACION

Temperatura, presión y humedad estándar (atmosférica).

Las condiciones de polvo y suciedad son mínimas.

Bajo nivel de ruido.

No está expuesto a vibraciones.

### - VIDA ÚTIL

4 años en partes eléctricas como el reóstato y el motor y 20 años en los componentes mecánicos, considerando 15 ciclos por día y trabajando 320 días al año.

- **COSTO DE PRODUCCION ESTIMADO**  
NS\$1,500.00 por centrífuga, siguiendo el proceso de fabricación empleado en esta tesis. En una producción en serie el costo bajaría.
  
- **TAMAÑO**  
Fácilmente transportable, más ligero que el original.
  
- **MATERIALES**  
En un 90% son materiales no oxidables como el aluminio, acero inoxidable, colorón.
  
- **SEGURIDAD**  
El grosor de la lámina de la carcaza es suficiente para soportar el impacto de una camisa que llegara a salirse del anillo.
  
- **MANTENIMIENTO**  
Revisar que la tuerca de seguridad del cabezal no esté floja, al igual que los prisioneros.  
Las camisas deben asentar bien en los anillos.  
Verificar que las gomas que están en el fondo de las camisas estén bien acomodadas.  
Los tornillos de seguridad que están en el cabezal, no deben estar flojos.  
Revisar que la carcaza esté bien apretada.

## **PRECAUCIONES**

Antes de conectar la centrifuga al toma corrientes fijarse que el interruptor esté en apagado.

Verificar que la tapadera de la carcaza esté bien cerrada antes de poner a funcionar el aparato.

Asegurarse de que los tubos de ensaye estén llenados al mismo nivel.

No se debe cambiar la centrifuga de lugar mientras esté funcionando.

## **XIII CONCLUSIONES**

### XIII- CONCLUSIONES

La realización de este trabajo fué altamente satisfactoria para mí, ya que tuve que aplicar muchos de los conocimientos que adquirí en la facultad y otros más en mi vida práctica dentro del taller mecánico. Los problemas que se presentaron fueron múltiples; desde el más pequeño hasta el más grande de los elementos me presentaba un reto a vencer. Con respecto a lo anterior, bien cabe mencionar lo siguiente: El hecho de que se tuvo la necesidad de hacer 3 rediseños, no quiere decir que los anteriores, al que funcionó bien, no sirvieran; sino que se presentaron otros factores independientes al diseño de la centrífuga. Por ejemplo, si las láminas laterales del motor no se hubiesen flexionado, la centrífuga hubiera funcionado bien desde el primer rediseño, evitándose así, la realización de los otros 2 rediseños. Lo mismo para el segundo rediseño.

Nuestro programa de planeación se llevó mucho más tiempo del marcado pero es que no solamente se trataba de diseñar un agitador centrífugo, fabricarlo y ver si funcionaba o no para luego hacer un reporte de las fallas. Este aparato funciona con electricidad casera normal, da las revoluciones necesarias para la centrifugación, es seguro, y lo que es más importante, cumplió con el objetivo primordial trazado al comienzo de este trabajo de tesis: FUNCIONA.

Las pruebas que todo el tiempo estuvieron presentes en la realización de este diseño fueron primordiales para su buen funcionamiento ya que para encontrar las fallas en un aparato no hay nada como someterlo al trabajo diario y normal, como cualquier otro aparato.

Esta centrifuga fue realizada con materiales y elementos que se pueden adquirir comercialmente, sin tenerlos que encargar a algún país, con lo cual lo que trato de decir es que este aparato puede ser fabricado en serie, puesto que no se requirió del uso de alguna fundición en especial. los ciclos fueron básicamente torneado, taladrado, fresado, rechazado, forjado; y esto puede realizarse sin mayor complicación, en un taller con máquinas-herramienta.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MEXICO

C O N S T A N C I A

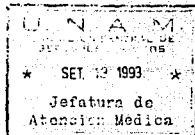
Por medio de la presente hago constar que el Aparato -  
Centrífugo realizado por el C. URIEL ESTRADA LOPEZ, -  
pasante de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista  
con número de cuenta 84 33446-0, satisface las necesida-  
des de centrifugación que requiere el Laboratorio de -  
Análisis Clínicos para sus determinaciones, esto lo hemos  
comprobado ya que dicho aparato ha estado funcionando en  
nuestro laboratorio desde el pasado mes de junio.

Por lo antes expuesto y a petición del interesado, se --  
otorga la presente en Ciudad Universitaria, Distrito -  
Federal a los trece días del mes de septiembre de mil no  
vecientos noventa y tres.

Atentamente .

" POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU "  
EL JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ATENCION MEDICA

DR. CARLOS BORJA PONCE





## **XIV REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

#### XIV REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

**(1) MAQUINAS ELECTROMAGNETICAS Y ELECTROMECHANICAS**

**Autor:** Leander W. Matsch

**Editorial:** Representaciones y servicios de Ingeniería.

**(2) DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA**

**Autor:** Joseph E. Shigley

Larry D. Mitchell

**Editorial:** Mc Graw Hill (Cuarta Edición)

**(3) FUNDAMENTOS DE FISICA**

**Autor:** Frank J. Blatt

**Editorial:** Prentice Hall (Tercera Edición)

**(4) DIBUJO TECNICO INDUSTRIAL**

**Autor:** Francisco J. Calderón Barquin

**Editorial:** Porrúa S.A. (Trigésima Edición)

**(5) INTRODUCCION A LA MECANICA DE LOS FLUIDOS**

**Autor: R. W. Fox**

**Alan T. McDonald**

**Editorial: Interamericana (Segunda Edición)**

**(6) INTRODUCCION A LA MECANICA DE SOLIDOS**

**Autor: Egor P. Popov**

**Editorial: Limusa (Sexta Impresión)**

**(7) LA CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES**

**Autor: Donald R. Askeland**

**Editorial: Grupo Editorial Iberoamericana**

**(8) FUNDAMENTOS DE DIBUJO EN INGENIERIA**

**Autor: Warren J. Luzzader**

**Editorial: Prentice Hall (Novena Edición)**

**(9) CATALOGO GENERAL SKF**

**Catálogo 3000 Sp. Diciembre 1975**

**(10) MECANICA VECTORIAL PARA INGENIEROS**

**Autor: Beer&Johnston**

**Editorial: Mc Graw Hill (Cuarta Edición)**

**(11) ENGINEERING DESIGN**

**-A materials and processing approach-**

**Autor: George Dieter**

**Editorial: Mc Graw Hill**