

T  
621.406  
D441  
C.2.

ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE  
UNA TURBINA CENTRIFUGA  
IMPULSORA DE ABRASIVOS PARA  
MAQUINA GRANALLADORA DEL  
LABORATORIO DE FUNDICION"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:  
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

NESTOR DE SEGOVIA G.

GUAYAQUIL - ECUADOR

1988

## A G R A D E C I M I E N T O

Al ING. MARCOS TAPIA Q.  
Director de tesis, por  
dirección y orientación  
en la realización de  
este trabajo.

Al ING. HOMERO ORTIZ A.  
Jefe del área de meta -  
lurgia, por su valiosa  
ayuda.

Al ING. IGNACIO WIESNER  
Profesor del área de me  
talurgia, por su aporte  
científico.

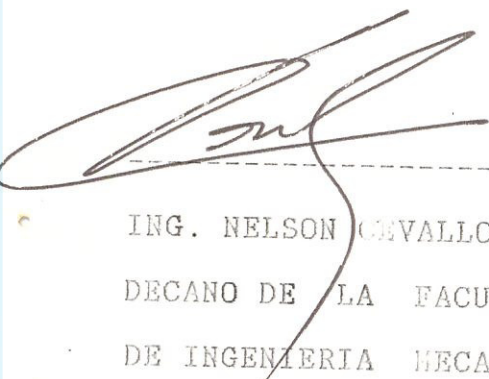
Al ING. HENRY AGUIRRE R  
Profesor del área de me  
talurgia, por sus con-  
sejos.




DEDICATORIA

A mis padres

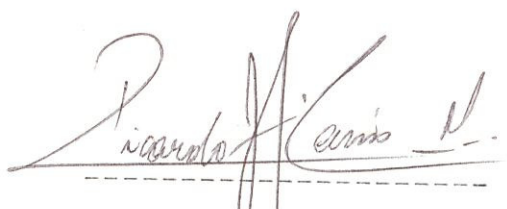
A mis hermanos




ING. NELSON CEVALLOS B.  
DECANO DE LA FACULTAD  
DE INGENIERIA MECANICA



ING. MARCOS TAPIÁ Q.  
DIRECTOR DE TESIS



ING. RICARDO CASSIS M.  
MIEMBRO PRINCIPAL DEL  
TRIBUNAL



ING. EDMUNDO VILLACIS M.  
MIEMBRO PRINCIPAL DEL  
TRIBUNAL

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por lo hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Según el artículo 6 del reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned above a dotted line.

.....  
NESTOR ALFONSO DE SEGOVIA G.

## R E S U M E N

El presente trabajo trata de dar una idea concreta y precisa acerca de una turbina centrífuga impulsora de abrasivos, para ser adaptado a una máquina granalladora tipo mesa giratoria, utilizado en procesos de limpieza en fundición.

Una vez definido la descripción de la máquina granalladora y su aplicación específica, además de establecer los diferentes tipos de abrasivos y turbinas, el diseño se logra a través del estudio teórico, dados de una manera muy general en publicaciones especializadas en la materia, que hacen posible la comprensión de la operación y funcionamiento de la turbina, logrando de esta forma establecer criterios que sirvan para definir un procedimiento de diseño de un caso particular y establecer la forma de las partes que la conforman, para esto se diseñó una turbina de 365 mm. de diámetro y que maneja un flujo de abrasivo de 110 kg/min.

De las pruebas realizadas los resultados fueron favorables a todo nivel, tanto de los materiales con que fueron construido los componentes, así como su funcionamiento, logrando con esto dejar en claro que la producción de turbinas a nivel nacional, es perfectamente posible.

# INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN .....	6
INDICE GENERAL .....	7
INDICE DE FIGURAS .....	11
INDICE DE TABLAS .....	17
INTRODUCCION .....	19
I .- ANTECEDENTES .....	21
II .- GENERALIDADES .....	24
2.1 Fundamento de limpieza por granallas de acero .....	24
2.2 Descripción de máquina granalladora .....	26
2.3 Clases de granallas usadas para la limpieza y su especificación .....	28
2.3.1 Granallas de alambre de acero .....	29
2.3.2 Granallas de hierro blanco .....	34
2.3.3 Granallas de acero .....	38
2.3.4 Granallas de bronce .....	52
2.3.5 Recortes de clavos .....	52
2.4 Grados de limpieza .....	53
III.- INGENIERIA DE PROYECTO .....	62
3.1 Conocimiento de las necesidades .....	62



3.2 Clases de turbinas utilizadas para limpieza .....	64
3.3 Descripción de las partes constitutivas del sistema .....	75
3.3.1 Paletas .....	75
3.3.2 Rueda de distribución .....	76
3.3.3 Cápsula de control .....	79
3.3.4 Conducto de alimentación .....	81
3.4 Principio de trabajo .....	82
3.5 Consideraciones básicas de diseño .....	84
IV .- DISEÑO Y CALCULOS .....	89
4.1 Diseño de la turbina .....	89
4.1.1 Diseño de la rueda de paleta .....	91
4.1.2 Diseño de las paletas .....	95
4.1.3 Diseño de la rueda de distribución .....	98
4.1.4 Diseño de la cápsula de control ....	98
4.2 Cálculo de la velocidad de salida de la granalla .....	99
4.3 Cálculo de la energía de impacto .....	110
4.4 Diseño del eje de la turbina .....	111
4.4.1 Estimación de las cargas actuantes sobre el eje .....	112
4.4.2 Determinación del diámetro mínimo del eje .....	117
4.4.3 Determinación de la velocidad crítica .....	125



4.5 Cálculo de la potencia del motor requerido .....	130
V .- SELECCION DE PARTES Y MATERIALES .....	131
5.1 Selección de materiales para la construcción .....	131
5.1.1 Selección del material para la paleta	134
5.1.2 Selección del material para el disco	136
5.1.3 Selección del material para la cápsula de control y rueda de distribución .....	137
5.1.4 Selección del material para el blindaje .....	138
5.1.5 Selección del material para el conducto de alimentación y soporte de rodamientos .....	138
5.1.6 Selección del material para la carcaza .....	138
5.2 Selección de partes normalizadas .....	139
5.2.1 Selección de bandas y polea .....	139
5.2.2 Selección de rodamientos .....	142
VI .- PROCESO DE CONSTRUCCION .....	145
VII .- PRUEBAS EXPERIMENTALES .....	156
7.1 Plan de pruebas .....	156
7.2 Datos y resultados .....	159

VIII.- DISCUSION DE RESULTADOS .....	172
IX .- ANALISIS ECONOMICO .....	181
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	184
PLANOS PARA CONSTRUCCION .....	188
APENDICE .....	215
BIBLIOGRAFIA .....	222

## INDICE DE FIGURAS

No.	Pag.
2.1 ILUSTRACION DEL IMPACTO DEL ABRASIVO SOBRE LA SUPERFICE DEL METAL	25
2.2 MAQUINA GRANALLADORA CENTRIFUGA TIPO MESA GIRATORIA	27
2.3 ALAMBRE CORTADO DE $\emptyset,4$ MM. DE DIAMETRO Y 1.500 MPa., DESPUES DE VARIOS PASES	30
2.4 ACCION DE ROMPIMIENTO DE LAS GRANALLAS DE ACERO	40
2.5 ESQUEMA COMPARATIVO DE LA LIMPIEZA CON GRANALLAS ESFERICAS Y ANGULARES	40
2.6 ESQUEMA MOSTRANDO EL REBOTAMIENTO DE LAS GRANALLAS ESFERICAS	42
2.7 ACCION DE LIMPIEZA UTILIZANDO MEZCLA DE GRANALLAS	43
2.8 ILUSTRACION DE UNA MEZCLA MAL BALANCEADA, EN LA CUAL EL NUMERO DE IMPACTOS POR LIBRA ES 153.250	44
2.9 ILUSTRACION DE UNA MEZCLA BIEN BALANCEADA, EN LA CUAL EL NUMERO DE IMPACTOS POR LIBRA ES 683.250	44

No.	Pag.
2.10 DISCOS COMPARADORES PARA SUPERFICIES GRANALLADAS	53
3.1 PRIMERA TURBINA TIPO "BATIDORA" DISEÑADO POR TILGHMAN	65
3.2 PRIMERA TURBINA TIPO "DESLIZADORA" DISEÑADA POR TILGHMAN	65
3.3 TURBINA ORIGINAL DEL TIPO DESLIZADORA, ALIMENTADO POR EL CENTRO CON UN CONTROL DIRECCIONAL, DISEÑADO POR BYRNE	67
3.4 TURBINA DISEÑADA POR ALFRED GUTMANN, CON ALIMENTACION DE ABRASIVO AYUDADO POR AIRE	68
3.5 TURBINA DE UN SOLO DISCO DISEÑADO POR LA CORPORACION PANGBORN	69
3.6 TURBINA TIPO "BATIDORA" DE ALIMENTACION PERIFERICA	70
3.7 TURBINA TIPO " BATIDORA " DE ALIMENTACION AXIAL	71
3.8 TURBINA TIPO "DESLIZADORA" DE FORMA COMPACTA	73
3.9 TURBINA TIPO DESLIZADORA DE UNICO DISCO DISEÑADA POR A. GUTMANN CON ALIMENTACION AYUDADA POR AIRE	74

No.	Pag.
3.10 PALETA DE LA TURBINA DESLIZADORA COMPACTA, TIPO WHEELABRATOR	75
3.11 PALETA DE LA TURBINA DESLIZADORA DE UNICO DISCO, TIPO PANGBORN	76
3.12 PRIMER IMPULSOR DESARROLLADO PARA LAS TURBI- NAS DE CHORREADO	77
3.13 DISEÑO MEJORADO DEL IMPULSOR	77
3.14 RUEDA DE DISTRIBUCION UTILIZADA POR LA COR- PORACION PANGBORN Co.	78
3.15 RUEDA DE DISTRIBUCION UTILIZADA POR LA COR- PORACION WHEELABRATOR	78
3.16 CAPSULA DE CONTROL DE ABERTURA RECTANGULAR CON SU RESPECTIVO PATRON DE CHORRO	79
3.17 CAPSULA DE CONTROL DE ABERTURA TRIANGULAR CON SU RESPECTIVO PATRON DE CHORRO	80
3.18 CONDUCTO DE ALIMENTACION	81
3.19 DISPERSION DEL FLUJO DE ABRASIVOS	83
3.20 EFICIENCIA DEL FLUJO DE ABRASIVO VS AMPERAJE PARA TURBINAS CONDUCCIDAS POR BANDAS	88
4.1 DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN EL DISCO	92



No.	Pag.
4.2 MOSTRANDO EL INTERIOR DE LA TURBINA	94
4.3 REPRESENTACION DE LA PALETA	95
4.4 UBICACION DE LA GRANALLA EN LA RUEDA DE DISTRIBUCION	99
4.5 TRAYECTO DEL MOVIMIENTO LIBRE DE LA GRANALLA RELATIVO A LA RUEDA	102
4.6 DIAGRAMA DE VELOCIDADES EN EL PUNTO DE UNION DE LA GRANALLA CON LA PALETA	103
4.7 POSICION DE SALIDA DE LA GRANALLA Y SU RESPECTIVA VELOCIDAD, CONSIDERANDO SIN LOS EFECTOS DE FRICCION; Y CONSIDERANDO ROZAMIENTO EN LAS PALETAS	105
4.8 FUERZAS ACTUANTES EN LA PALETA	108
4.9 REPRESENTACION EN QUE SE MUESTRA LOS ANGULOS ORIGINADOS POR LA BANDA	115
4.10 DIAGRAMA DE FUERZAS QUE ACTUAN EN LA POLEA CONDUcida	116
4.11 DIAGRAMA DE FUERZAS QUE ACTUAN EN EJE	118
4.12 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES Y MOMENTO FLECTOR EN EL PLANO "xy"	120



No.	Pag.
4.13 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES Y MOMENTO FLECTOR EN EL PLANO "xz"	121
4.14 DIMENSIONES TENTATIVAS PARA EL EJE DE LA TURBINA	124
4.15 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES	126
4.16 DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES	127
4.17 DIAGRAMA M/EI PARA EL CALCULO DE LA ELASTICA	128
5.1 MOSTRANDO LAS PERDIDAS DE VOLUMEN DE ALGUNOS MATERIALES RESISTENTES AL DESGASTE	132
6.1 MODELO DE MADERA DE LA CARCAZA	146
6.2 MODELO DE MADERA DE LA PALETA	146
6.3 ALABES FUNDIDO	151
6.4 TORNEADO DEL DISCO DE LA TURBINA	151
6.5 RUEDA DE DISTRIBUCION	152
6.6 CAPSULA DE CONTROL	152
6.7 BALANCEAMIENTO DINAMICO DE LA TURBINA	153
6.8 TRIANGULO DE VELOCIDADES PARA BALANCEAMIENTO	154
6.9 MONTAJE DE LA TURBINA	155

No.	Pag.
6.10 VISTA COMPLETA DE LA TURBINA	155
7.1 LOCALIZACION DEL CHORRO DE ABRASIVO	160
7.2 MOSTRANDO EL PATRON DE CHORRO	161
7.3 PIEZA DE FUNDICION ANTES Y DESPUES DE GRANA- LLADO, TIEMPO DE CHORREADO 3 MIN.	163
7.4 PIEZA DE FUNDICION ANTES Y DESPUES DE GRANA- LLADO, TIEMPO DE CHORREADO 5 MIN.	164
7.5 RODILLO DE LAMINACION, ANTES Y DESPUES DE GRANALLADO	165
7.6 PIEZA DE BRONCE, ANTES Y DESPUES DE GRANA- LLADO	167
7.7 PIEZA DE BRONCE, CON AGUJERO EN LA PARTE CENTRAL, ANTES Y DESPUES DE CHORREADO	168
7.8 PLANCHA DE ACERO, ANTES Y DESPUES DE GRANA- LLADO	169
7.9 RUEDA DE CADENA, ANTES Y DESPUES DE CHORREA- DO	170
7.10 MOSTRANDO LA PARTE INTERIOR DE LA TURBINA	171

## INDICE DE TABLAS

No.		Pag.
I	ESPECIFICACION SAE J441 PARA GRANALLAS DE ALAMBRE CORTADO	32
II	RECOMENDACIONES PARA EL EMPLEO DE ALAMBRE DE ACERO CORTADO	33
III	COMPOSICION QUIMICA DE LAS GRANALLAS DE HIERRO BLANCO EN DIFERENTES PARTES DEL MUNDO	35
IV	ESPECIFICACION DE TAMAÑO SEGUN LA NORMA BIS No. 2451 PARA GRANALLAS REDONDAS DE HIERRO TEMPLADO	36
V	ESPECIFICACION DE TAMANO SEGUN LA NORMA BIS No. 2451 PARA GRANALLAS ANGULARES DE HIERRO TEMPLADO	37
VI	ESPECIFICACION DE TAMAÑO SEGUN LA NORMA SAE J-444 PARA GRANALLAS REDONDAS DE ACERO	47
VII	ESPECIFICACION DE TAMAÑO SEGUN LA NORMA SAE J-444 PARA GRANALLAS ANGULARES DE ACERO	48
VIII	NUMERO APROXIMADO DE GRANALLAS POR LIBRA	49
IX	PIEZAS QUE PUEDEN SER LIMPIADAS POR IMPACTO DE GRANALLA Y TAMANOS APROPIADOS	51

No.		Pag.
X	GRADOS DE LIMPIEZA SEGUN VARIAS NORMAS INTERNACIONALES	55
XI	FLUJO DE ABRASIVOS PARA TURBINAS CENTRIFUGAS TIPO DESLIZADORA DADO SUS DIMENSIONES Y POTENCIA	85
XII	INTENSIDAD DE IMPACTO UTILIZADO EN OPERACIONES DE LIMPIEZA	87

C

## INTRODUCCION

En nuestro país, el proceso de limpieza de piezas salidas de fundición se lo realiza a mano, ya sea con cepillos metálicos, amoladoras, cinceles neumáticos, etc. Los cuales exigen mucho tiempo y son muy laboriosos efectuarlos. Existen procedimientos de limpieza mecánica con abrasivos, que son impulsados por aire comprimido, turbinas centrífugas, chorros de agua, etc. Las cuales logran una limpieza excelente de numerosas partes en pocos minutos.

En la actualidad, la máquina más utilizada es la granalladora con turbina centrífuga, siendo ésta patentada por primera vez en 1.870 y a partir de entonces, se ha venido desarrollando diversos tipos y formas, hasta que hoy se usa la de tipo deslizadora patentada por la Corporación Wheelabrator. Entre los abrasivos usados en este tipo de máquina tenemos: arena, granallas de fundición, granallas de acero, esferas de vidrio, etc.



El objeto del presente trabajo consiste en el diseño de la turbina impulsora centrífuga y la construcción de la misma, para ser acoplada a la máquina granalladora del laboratorio de fundición de la ESPOL. Asimismo conlleva el propósito de servir como complemento para optar el título de Ingeniero Mecánico.

Con esta tesis de grado, se pretende el desarrollo de tecnología apropiada y la adaptación a nuestro medio, constituyendo un elemento integral para el desarrollo de nuestro país, incorporando y adaptando los conocimientos, con base científica, e incidiendo en la disminución de costos de transferencia de tecnología externa y, por último, evitando la dependencia tecnológica.

El diseño de la turbina centrífuga abarca todo el sistema lanzador conformado por la rueda de distribución, cápsula de control, turbina, conducto de alimentación, blindaje y carcasa, así como el sistema de transmisión compuesto por caja de rodamientos, eje conductor y un apropiado motor.



## CAPITULO I

### ANTECEDENTES

La iniciativa de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPOL, por concretar un esfuerzo que desemboque en el desarrollo tecnológico, hace posible que con el apoyo del BID (Banco Interamericano de Desarrollo), se realice el proyecto de construcción de máquinas.

Dentro de los equipamientos propuestos en el proyecto está la construcción de una máquina granalladora a utilizarse en la nave de fundición de la ESPOL, siendo el sistema lanzador de abrasivos el equipo a ser desarrollado. Así tenemos que existen dos métodos de limpieza por chorreado con abrasivos, el de aire comprimido y con turbinas. El primero presenta ciertas desventajas una de las cuales es que consume 10 veces más, aumentado con esto los costos de operación, además de necesitar equipos auxiliares. Por lo que el método de chorreado con turbinas impulsoras es

el más conveniente, siendo éste un sistema que basa su funcionamiento en la fuerza centrífuga para el lanzamiento de las granallas (1) y llevar a cabo la remoción de arena de moldeo de piezas fundidas.

El proceso de limpieza originalmente fue conocido como arenado "sandblasting" ya que en un principio se usaba arena como abrasivo y el medio de lanzamiento era aire comprimido; durante mucho tiempo y hasta hoy este nombre sigue utilizandose, aún cuando se use granallas como abrasivo. Fue en 1.936, que apareció el término "chorreado centrífugo" o más bien conocido como chorreado sin aire (airless blasting) esta terminología se introdujo ya que desarrolló un nuevo método de lanzamiento de abrasivos por medios mecánicos (turbinas impulsoras) con un dispositivo conocido como "wheelabrator" que elimina la utilización de aire comprimido y la necesidad de que el operador lo maneje manualmente. Aunque este tipo de chorreado con turbina ya había sido patentado por B.C. Tilghman en 1.870, pero tubieron que pasar más de 60 años para que la primera turbina operacional sea diseñada. En 1.939, William E. Rosenberger introdujo otro término empleado en su libro titulado "limpieza por impacto", siendo éste el preciso para este proceso.

---

(1)Granallas: granos metálicos menudos.

En los años posteriores la Compañía Richarson & Son, principales empresas en la limpieza por chorredo, cambiaron sus máquinas de arenado (Tilghman Sand Blast) a máquinas granalladoras provistas con turbinas Wheelabrator, siendo estos los primeros en utilizar turbinas impulsoras para la limpieza de piezas salidas de fundición, las que resultaron ser muy eficientes para ser montadas en sus líneas de producción, llegando incluso en el año de 1.952 a limpiar 1.000 toneladas de piezas fundidas a la semana. El crecimiento del método de limpieza por chorredo con turbinas fue de rápido crecimiento durante la 2da guerra, llegándose a instalar estas máquinas en casi toda la gran industria de la fundición.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 FUNDAMENTOS DE LIMPIEZA CON GRANALLAS DE ACERO

La limpieza de partes tiene como objeto retirar la arena adherida, óxido y demás impurezas con el fin de que presenten una superficie regular y limpia. El chorreado se efectúa debido al impacto que realiza un chorro de granallas lanzadas a elevadas velocidades y dirigidos contra la superficie de trabajo, (fig. 2.1) esto se logra por algún método mecánico, por aire comprimido a elevadas presiones; o por turbinas centrífugas rotando a elevadas velocidades. Esta energía de impacto que adquieren las granallas llega a la superficie que tiene elementos extraños y que son desprendidos por el constante golpeteo de miles de partículas abrasivas, obteniéndose en pocos minutos una superficie completamente limpia. x



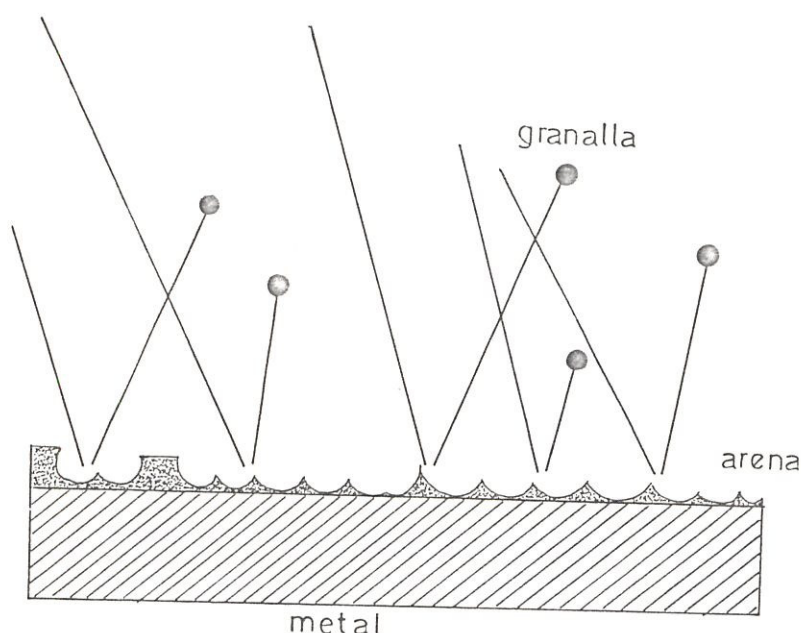


FIGURA 2.1 ILUSTRACION DEL IMPACTO DEL ABRASIVO SOBRE LA SUPERFICIE DEL METAL.

La limpieza elimina toda materia extraña, proporcionando una superficie clara y uniforme, sin manchas. En la práctica, el grado hasta el cual se limpia la pieza puede variar considerablemente, dependiendo de la velocidad, el tipo y tamaño de la granalla, y del tiempo de chorreado.

La limpieza es una operación que debe hacerse, antes de pasarla al taller mecánico; ya que las piezas coladas tienen en su superficie arena adherida, el desprendimiento de dichas partículas evita un excesivo desgaste de la herramienta de corte de la máquina - herramienta.

## 2.2 DESCRIPCION DE LA MAQUINA GRANALLADORA

La máquina granalladora está constituida por un conjunto de sistemas que la hacen eficiente y de seguro manejo, lo conforman el sistema lanzador que impulsa la granalla por la acción de la fuerza centrífuga, producida por la rotación de la turbina, la cual tiene incorporada una variedad de dispositivos que ayudan a guiar al chorro a impactar sobre la superficie de trabajo. Este chorreado de abrasivos debe ser hecho en cabinas cerradas, debido al peligro que encierra, ya que las granallas son lanzados a elevadas velocidades. Después de impactar sobre la pieza, las granallas caen a través de los agujeros de la mesa de trabajo al sistema transportador que lo conforman un tornillo sinfín y un elevador de cangilones accionados por un motoreductor, luego pasan a un sistema de separación donde es retirada la arena por el recolector de polvos, y son depositadas luego en una tolva, donde caen por gravedad al conducto de alimentación, y de donde son nuevamente lanzados, cerrando así el circuito.

Las máquinas granalladoras más adecuadas para fundición son el tipo mesa giratoria, tambor rodante y, colgante con cinta monoriel; la primera (fig. 2.2) es utilizada para la limpieza de piezas pequeñas y



medianas, la segunda para piezas pequeñas y la última para piezas grandes y/o complejas.

La potencia que requiere este tipo de máquina es menor al de aire comprimido, dado que no necesita de un compresor de aire, ni requiere de depósitos de aire, cañerías, magueras, etc. lo que constituye un ahorro de energía y espacio físico.

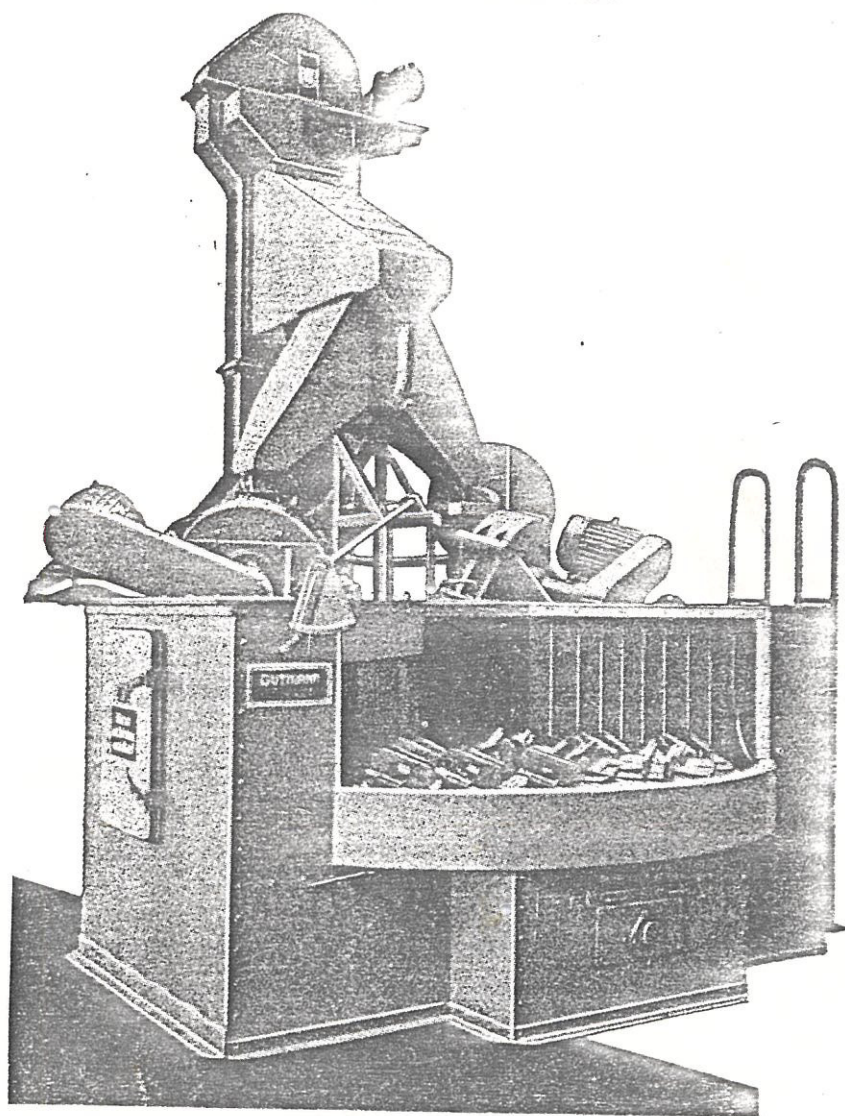


FIGURA 2.2 MAQUINA GRANALLADORA CENTRIFUGA TIPO MESA GIRATORIA.

### 2.3 CLASES DE GRANALLAS USADAS PARA LA LIMPIEZA Y SU ESPECIFICACION.

Durante muchos años, se ha usado arena como abrasivo, en el proceso de limpieza; actualmente ha caído en desuso debido a que la arena se fractura rápidamente y la vida útil comparada con otros abrasivos es muy corta. Además, la arena que se utilizaba era del tipo sílice, que provoca una enfermedad mortal conocida como silicosis, debido a la inhalación de finísimos polvos, que penetran en las celdas pulmonares produciendo irritación y llegando, en algunos casos, a la atrofia del pulmón y, muy a menudo, con efectos secundarios de tuberculosis; por esta razón, su uso ha quedado prohibido en toda Europa y los Estados Unidos.

Para suplir la demanda de abrasivos, se ha empleado otros materiales para el proceso de limpieza tales como : alambre cortado de acero, granallas de hierro blanco, granallas de acero, granallas de bronce, recortes de clavos; también se ha utilizado abrasivos no metálicos como: esferas de vidrio, perlas de nylon, glóbulos de polietileno, granos de carburo de silicio, escorias metalúrgicas, así como materiales orgánicos obtenidos de vegetales triturados; por ej. cortezas de coco, pepas de durazno, cáscaras de nuez, etc.

### 2.3.1 GRANALLAS DE ALAMBRE DE ACERO

Este tipo de abrasivo fue propuesto por primera vez en 1.872 por Tilghman, patente # 3626; y luego en 1.950 es utilizado por la General Motors, patente # 5667,815, en un principio este material era producido a partir de alambre de acero estirado de  $\emptyset,5$  a 2 mm. de diámetro con  $\emptyset,7$  a  $\emptyset,8$  % de carbono.

La vida útil de este tipo de abrasivo depende de las propiedades metalúrgicas tales como composición, estructura y, el grado de endurecimiento que resulte del trabajado en frío, en el proceso de estirado y cortado.

Los alambres cortados de acero debido a sus bajas propiedades mecánicas, requieren muy pocos pases en la máquina de chorreado para que los bordes obtenidos en el corte se pierdan, tal como se muestra en la figura 2.3.

La reducción gradual se observa después de 125 pases, transcurridos los 2.500 pases el material ha cobrado la forma esférica; los alambres están sujetos a endurecimiento en frío durante el redondeo, mientras está en uso; la dureza se mantiene constante cuando el material es redondo.



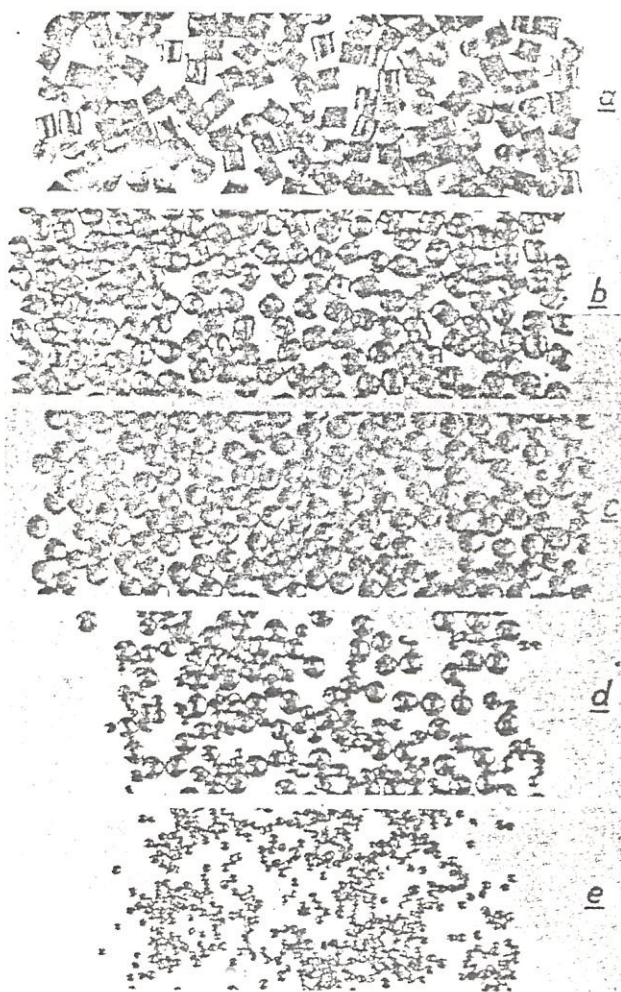


FIGURA 2.3 ALAMBRE CORTADO DE 0,4 MM. DE DIA.  
Y 1.580 MPa., DESPUES DE VARIOS PASES  
a. Alambre recién cortado. b.  
Después de 125 pases. c. Después de  
2.500 pases. d. Después de 5.500  
pases e. Después de 10.000 pases.

TABLA I ESPECIFICACION SAE J441 PARA GRANALLAS DE ALAMBRE CORTADO

TAMAÑO No	DIAMETRO		ESFUERZO TENSIL		DUREZA RC
	pul.	mm.	kip/pul <sup>2</sup> .	MPa.	
CW62	0,0625	1,6	237-272	1633-1874	36
CW54	0,054	1,4	243-279	1674-1922	39
CW47	0,047	1,2	248-286	1709-1970	41
CW41	0,041	1,1	255-293	1757-2019	42
CW35	0,035	0,9	261-301	1798-2074	44
CW32	0,032	0,8	265-305	1823-2100	45
CW28	0,028	0,7	271-311	1867-2143	46
CW23	0,023	0,6	345-380	2377-2618	48



La norma SAE, ha creado una especificación para los alambres de acero cortado que se usan en los equipos de limpieza por chorreado y establece que el alambre debe ser cortado en forma cilíndrica, con una longitud aproximadamente igual al diámetro. El material debe ser condicionado, esto es, removidos sus bordes hasta que sean redondos. El alambre es designado con el diámetro medido en milésimas de pulgada y anteponiendo las letras CW (cut wire), que significa alambre cortado. (tabla I)

Las tolerancias en el diámetro del alambre son del orden de  $\pm 0,025$  mm. en tamaños más pequeños y  $\pm 0,051$  mm. en los tamaños más grandes.

La composición química recomendada por la norma SAE J441 es la siguiente:

Carbono	0,47 - 0,75 %
Silicio	0,10 - 0,30 %
Manganeso	0,60 - 0,12 %
Fósforo	0,045 %
Azufre	0,050 %

Para el uso de alambre para diversas aplicaciones, se hacen las siguientes recomendaciones en la tabla II.

TABLA II RECOMENDACIONES PARA EL EMPLEO DE  
ALAMBRE DE ACERO CORTADO.

MATERIALES	TAMAÑOS DE ALAMBRE (MM.)
Acero	1,2 - 1,5
Fundición de hierro	Ø,9 - 1,2
Hierro maleable	Ø,4
Acero dulce	Ø,4
Acero de dureza media	Ø,4
Tubería galvanizada	Ø,4
Tubería de gran diámetro	Ø,4 - Ø,75
Tubería soldada	Ø,4 - Ø,6
Planchas de acero	Ø,4 - Ø,6
Planchas para buques	Ø,6 - Ø,75
Bronces	Ø,4 - Ø,6
Aleaciones ligeras	Ø,4

En las instalaciones más comunes de chorreado, el tamaño de alambre de Ø,4 - Ø,6 mm., es el más conveniente. Algunos operadores emplean alambre de un solo tamaño, aunque también se lo puede hacer con una mezcla de diferentes tamaños, obteniéndose mejores resultados en la limpieza.

### 2.3.2 GRANALLAS DE HIERRO BLANCO

Las granallas de hierro blanco es uno de los abrasivos utilizados para todos los propósitos. El hierro es fundido en un cubilote y continuamente es golpeado en el flujo de colado, por un chorro a elevada presión de vapor o agua por medio de la cual el hierro es desintegrado en partículas esféricas templadas.

Estas granallas son usualmente de una estructura muy fina y consisten en carburos muy duros encerrado en una masa obscura de carácter martensítico, junto con algo de austenita retenida, lo que origina que sean frágiles y que su velocidad de rompimiento sea grande. La fractura del material origina ciertas puntas y bordes cortantes incrementando la velocidad de limpieza. Para la selección de las granallas de hierro hay que considerar la velocidad de rompimiento, la velocidad de limpieza y el tipo de superficie terminada, siendo ésta usado donde se requiere la máxima velocidad de limpieza. La acción cortante es ideal para ciertas aplicaciones. A continuación se da la composición química comparativa de la granalla en diferentes partes del mundo (Tabla III).

TABLA III COMPOSICION QUIMICA DE LAS GRANALLAS  
DE HIERRO BLANCO EN DIFERENTES PARTES  
DEL MUNDO.

ORIGEN	TIPO	C	Si	S	P	Mn
R. Unido	redondo	3,24	0,58	0,160	0,87	0,42
R. Unido	redondo	3,12	0,82	0,206	0,98	0,16
Alemania	redondo	3,25	0,62	0,150	0,74	0,21
E.E.U.U	angular	3,40	0,80	0,083	0,28	0,21
E.E.U.U	redondo	3,36	2,11	0,117	0,58	0,50
E.E.U.U	redondo	3,10	2,68	0,111	0,54	0,33
Francia	redondo	3,08	2,02	0,120	1,07	0,47
Suiza	angular	3,20	1,95	0,190	0,60	0,58

En algunos casos se le agrega 0,25 a 1 % de cobre, para incrementar la resistencia a la fractura por impacto. La dureza de estas granallas varía entre 60 a 80 RC. Las especificaciones de tamaño son dados por la norma BIS # 2451, que indica a las granallas redondas por el prefijo S (shot) y angulares por el prefijo G (grit), seguidas por un número de grado, que representa el diámetro aproximado en diez milésima de pulgada, para las esféricas; y milésima de pulgada, para las angulares, tal como se muestra en la tabla IV y tabla V.



TABLA IV ESPECIFICACION DE TAMAÑO SEGUN LA NORMA BIS N° 2451 PARA GRANALLAS REDONDAS DE HIERRO TEMPLADO

ABERTURA		TAMIZ N°.	S:1320 S:1110 S:950 S:800 S:660 S:550 S:470 S:390 S:340 S:240 S:170 S:120 S:70													
mm.	pul.															
4,75	0,187															
4,00 *	0,157	4														
3,35	0,1319	5														
2,80 *	0,1102	6	90 10													
2,40	0,0945	7		90 10												
2,00 *	0,0787	8			85 10											
1,63	0,0661	10				85 15										
1,40 *	0,0551	12					5% max									
1,20	0,0472	14					80 15									
1,00 *	0,0394	16						5% max								
0,85	0,0335	18						80 15								
0,71 *	0,0280	22							80 15							
0,60	0,0236	25								10% max						
0,50 *	0,0197	30									10% max					
0,42	0,0165	36										10% max				
0,35 *	0,0140	44											75 15			
0,30	0,0118	52												10% max		
0,18 *	0,0071	85												70 20		
0,09	0,0035	120													72 20	

\* Tamaños marcados corresponden a los dados por la Norma Internacional (I.S.O.)



TABLA V ESPECIFICACION DE TAMAÑO SEGUN LA NORMA BIS N° 2451 PARA GRANALLAS ANGULARES DE HIERRO TEMPLADO

ABERTURA		TAMIZ No.	G:95	G:80	G:66	G:55	G:47	G:39	G:34	G:24	G:17	G:12	G:07	G:05	G:02
mm	pul.														
3,35 *	0,1319	5													
2,80 *	0,1122	6													
2,40	0,0945	7	80 10												
2,00 *	0,0787	8	80 10												
1,68	0,0661	10		80 10						TODAS PASAN					
1,40 *	0,0551	12			80 10										
1,20	0,0472	14				75 10									
1,00 *	0,0395	16					75 15								
0,850	0,0335	18						75 15							
0,710*	0,0280	22													
0,600	0,0236	25								75 15					
0,500*	0,0197	30			NINGUNA PASA										
0,420	0,0165	36									75 15				
0,355*	0,0140	44													
0,300	0,0118	52										65 20			
0,180*	0,0071	85											65 20		
0,090	0,0035	120												55 25	

\* Tamaños marcados corresponden a los dados por la Norma Internacional (I.S.O.)

### 2.3.3 GRANALLAS DE ACERO

Probablemente es el más utilizado de los abrasivos, posee una alta resistencia a quebrarse y una dramática reducción del desgaste de la máquina.

La elaboración de las granallas de acero es más complicada que las granallas de hierro fundido, con algunas partes similares en ambos procesos, para su fabricación hay que seleccionar chatarra de acero bajo en azufre y fósforo, donde es fundido en hornos de arco eléctrico, con un estricto control químico y de temperatura. A la temperatura crítica de colado, el acero es pulverizado por un proceso patentado, produciendo una calidad uniforme de granallas.

Existen dos fases de tratamiento térmico para darle dureza, la granalla es homogenizada y refinada a una alta temperatura en hornos, en los cuales la atmósfera es controlada para prevenir oxidación y descarburización. Después es descargado en un recipiente para el temple, donde se bombea gran cantidad de agua al punto de descarga y asegura uniformidad de la estructura. Para el caso de las granallas

esféricas, ésta es cargada en un horno rotatorio en donde es calentada a temperatura de revenido para darle una vida máxima y dureza uniforme. Luego es cribada para propósitos de graduación de tamaño. Mientras que las granallas angulares es producido tomando los tamaños más grandes y colocado en molinos de bolas para ser trituradas, luego es revenida a la dureza correcta y graduada a las especificaciones normalizadas.

Las granallas de acero tienen características opuestas a las granallas de hierro blanco; las de acero tienen una vida útil mayor a las de hierro, ya que su velocidad de rompimiento es menor, siendo que éstas se quiebran suavemente debido a su estructura. Eventualmente el quebrado se debe a que se vuelven altamente esforzadas y finalmente se revientan en fragmentos, las partículas quebradas se convierten entonces en glóbulos, los cuales cuando llegan a sobre esforzarse, se quiebran nuevamente en pequeños pedazos (fig 2.4), este ciclo se repite continuamente hasta que las partículas se vuelven muy pequeñas y finalmente son expulsados por el sistema recolector de polvos.

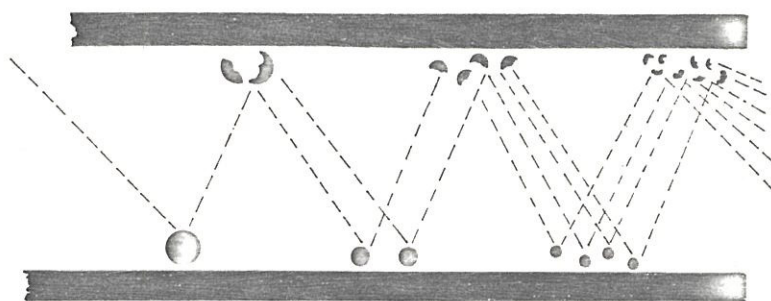


FIGURA 2.4 ACCION DE ROMPIMIENTO DE LAS GRANALLAS ACERO.

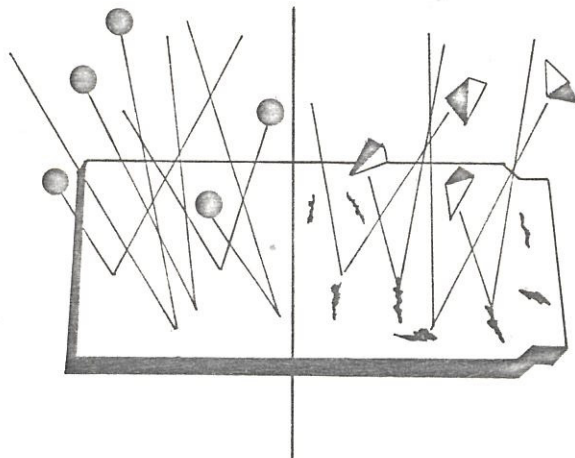


FIGURA 2.5 ESQUEMA COMPARATIVO DE LA LIMPIEZA CON GRANALLAS ESFERICAS Y ANGULARES.



En la figura 2.5 se observa la acción de limpieza realizada por los dos tipos de granallas de acero, observese la huella dejada por las granallas angulares.

Pruebas hechas con granallas de acero, han revelado que la vida efectiva es 4 a 8 veces más que la de hierro blanco, su utilización en la máquina mejoró la vida útil de las partes que conforman la turbina, además el granallado con hierro blanco produce un acabado blanco, en algunos casos casi de plata, mientras que la granalla de acero produce un acabado de martillado, muy satisfactorio para la mayoría de operaciones de limpieza, y es ideal en casos que se requiera aplicación de pintura.

Hasta cierto punto, la cantidad de energía que llega a la superficie de la pieza depende de: la dureza del abrasivo, por su mayor resistencia a la deformación y, por la mayor resistencia al impacto, lo que implica que el abrasivo resista a la deformación y fractura, limpiando más rápidamente que abrasivos más suaves. El rebotamiento de las granallas de acero incrementa la habilidad para limpiar áreas escondidas. (fig. 2.6)

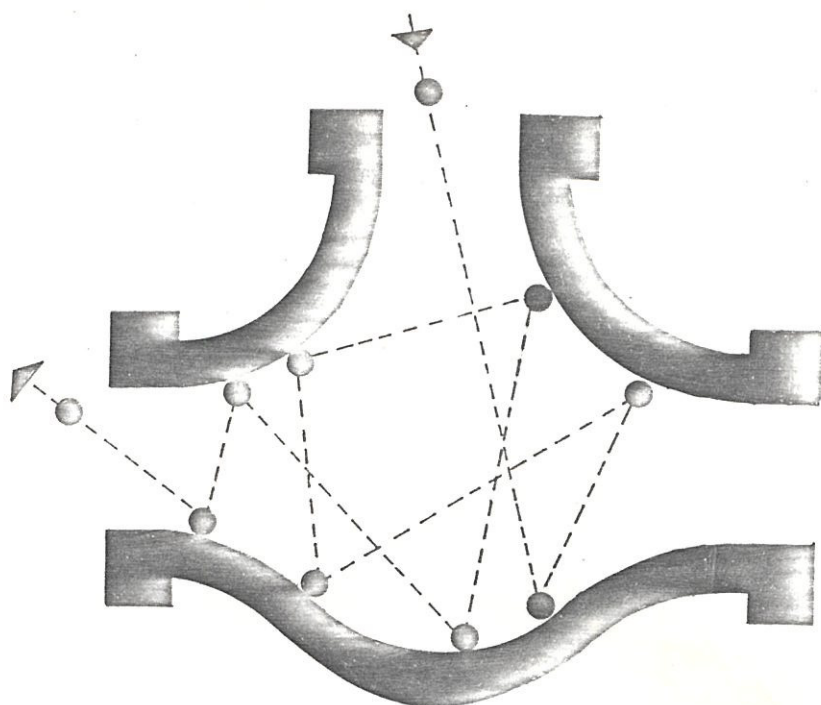


FIGURA 2.6 ESQUEMA MOSTRANDO EL REBOTAMIENTO DE LAS GRANALLAS ESFERICAS.

El valor de la dureza de las granallas es muy importante, puesto que controla la vida del abrasivo, la velocidad de limpieza y el acabado. Además el alcance y limpieza son afectados por el tamaño de las granallas. Es conveniente que para una operación de limpieza eficiente se utilice una mezcla de granallas de diferente tamaño, esto se lo realiza ya que si utilizamos granallas grandes, éstas fragmentan los contaminantes duros y gruesos de la pieza de trabajo, mientras que las granallas pequeñas terminan de limpiar la superficie, llegando a incrementar la acción de limpieza (Fig. 2.7).

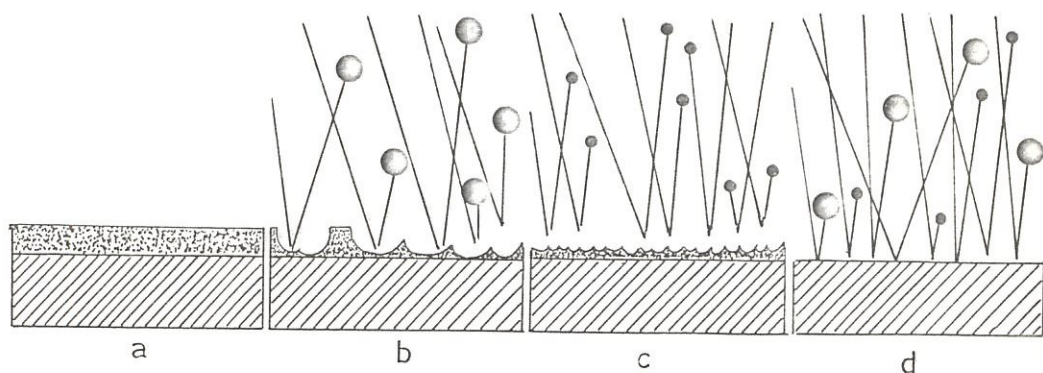


FIGURA 2.7 ACCION DE LIMPIEZA UTILIZANDO MEZCLA DE GRANALLAS.

a.- Superficie sin limpiar. b.- Limpieza con granallas grandes, gran penetración, poca razón de limpieza. c.- Limpieza con granallas pequeñas, poca penetración. d.- Limpieza con una mezcla de granallas, gran razón de limpieza.

La mezcla debe ser el resultado de una cuidadosa selección, debido a que las granallas grandes tienden a retener el tamaño original más tiempo, que las más pequeñas. Una ineficiente y lenta razón de limpieza resultará de una mezcla mal balanceada, (fig. 2.8) en cambio una mezcla bien balanceada proporciona una elevada cantidad de impactos. (fig. 2.9)

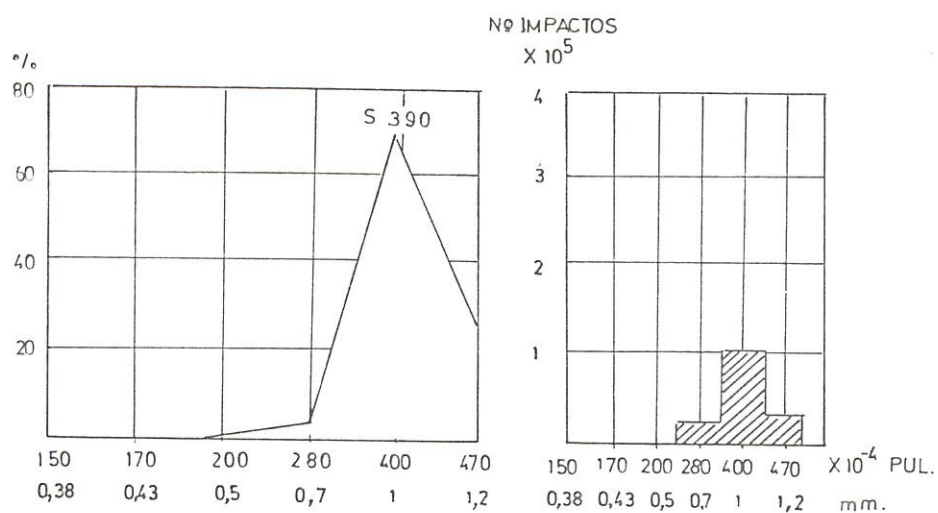


FIGURA 2.8 ILUSTRACION DE UNA MEZCLA MAL BALANCEADA, EN LA CUAL EL NUMERO DE IMPACTOS POR LIBRA ES 153.250

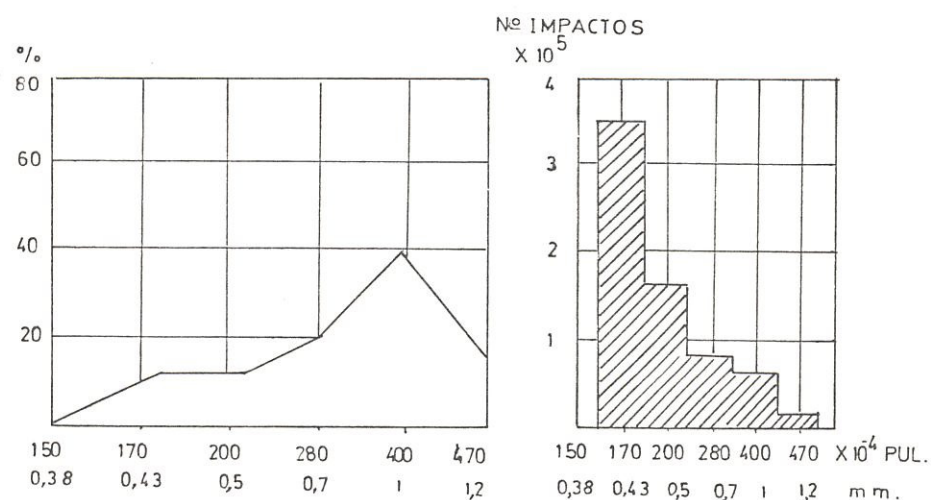


FIGURA 2.9 ILUSTRACION DE UNA MEZCLA BIEN BALANCEADA, EN LA CUAL EL NUMERO DE IMPACTOS POR LIBRA ES 683.250



La composición química de las granallas de acero está dada por la especificación SAE J-827 en los Estados Unidos y especificación B.S.C.R.A. en el Reino Unido, siendo la siguiente:

	SAE	B.S.C.R.A.
Carbono	0,85 - 1,2 %	0,6 - 1,25 %
Silicio	0,40 % min.	0,2 - 1,1 %
Magnesio	0,60 - 1,2 %	1,25 % max.
Azufre	0,05 % max.	0,08 % max.
Fósforo	0,05 % max.	0,08 % max.

La especificación SAE J-827 también indica la dureza de la granalla de acero redonda, éstas deben estar en el rango de 40 RC a 50 RC, siendo su microestructura uniformemente templada con una matriz martensítica y con finos carburos bien distribuidos. La densidad de la granallas no debe ser menor de 7 g/cc. ni contener más de 10% de porosidades, la apariencia general debe ser lo más esférica como sea posible conseguir comercialmente, además debe contener un mínimo de partículas combinadas como granallas quebradas, escoria, polvo, etc.

La dureza de las granallas de acero angulares es variada; en los Estados Unidos se producen granallas angulares en 5 durezas mientras que en el Reino Unido en 2 durezas.

## ESTADOS UNIDOS

## REINO UNIDO

63 - 65 RC

60 - 67 RC

58 - 60 RC

47 - 53 RC

54 - 57 RC

48 - 50 RC

42 RC



Las granallas angulares con un valor de dureza de 47 - 53 RC operan similarmente a las granallas redondas. La aplicación de estas granallas es hecha para la limpieza de pieza que se galvanizan, para el esmaltado vitrioso, preparación de superficies para el revestimiento con zapatas de frenos.

El tamaño de las granallas está especificado por la norma SAE J-444, que identifican a las granallas redondas por el prefijo S (shot), y las angulares por el prefijo G (grit), seguidas por el número de grado, que representa el diámetro en diez milésima de pulgada para las esféricas, (tabla VI) y el número de tamiz para las angulares. (tabla VII)

TABLA VII ESPECIFICACION DE TAMAÑO SEGUN LA NORMA SAE J-444 PARA GRANALLAS REDONDAS DE ACERO

TAMIZ No.	TAMAÑO pul.	TAMAÑO mm.	S 780	S 660	S 550	S 460	S 390	S 330	S 280	S 230	S 170	S 110	S 70
7	0,1110	2,80											
8	0,0937	2,36											
10	0,0787	2,00	85%						TODAS PASAN				
12	0,0661	1,70	97%	85%									
14	0,0555	1,40		97%	85%								
16	0,0469	1,18			97%	85%							
18	0,0394	1,00				96%	85%						
20	0,0331	0,85						85%					
25	0,0280	0,71						96%	85%				
30	0,0232	0,60							96%	85%			
35	0,0197	0,50								97%			
40	0,0165	0,425		NINGUNA PASA							85%		
45	0,0138	0,355									97%		
50	0,0117	0,300										80%	
80	0,0070	0,180										90%	80%
120	0,0049	0,125											90%
200	0,0029	0,075											

TABLA VIII ESPECIFICACION DE TAMAÑO SEGUN NORMA SAE J-444 PARA GRANALLAS ANGULARES DE ACERO

TAMIZ	TAMAÑO pul.	TAMAÑO mm.	G 10	G 12	G 14	G 16	G 18	G 25	G 40	G 50	G 80	G 120
7	0,110	2,80										
8	0,0937	2,36										
10	0,0787	2,00	80%					TODAS	PASAN			
12	0,0661	1,70	90%	80%								
14	0,0555	1,40		90%								
16	0,0469	1,18				75%						
18	0,0394	1,00				85%	75%					
20	0,0331	0,85										
25	0,0280	0,71					85%	70%				
30	0,0232	0,60										
35	0,0197	0,50										
40	0,0165	0,425						80%	70%			
45	0,0138	0,355										
50	0,0117	0,300		NINGUNA PASA					80%	65%		
80	0,0070	0,180								75%	65%	
120	0,0049	0,125									75%	60%
200	0,0029	0,075										70%
325	0,0017	0,045										



Para conocer el número de impactos que la granalla efectúa sobre la pieza de trabajo, los fabricantes nos indican cuantas granallas hay en una determinado peso. (tabla VIII)

TABLA VIII NUMERO APROXIMADO DE GRANALLAS POR LIBRA.

GRADO	GRANALLAS POR LIBRA
S.800	12.000
S.660	20.000
S.550	33.000
S.470	55.000
S.390	95.000
S.340	155.000
S.240	420.000
S.170	1.500.000
S.120	3.500.000
S.70	12.000.000

Para seleccionar el tamaño correcto de granallas y el tipo que debe usarse, los fabricantes dan referencias que están basadas en prácticas hechas en sus laboratorios, pero que no son necesariamente la única opción. (Tabla IX)



#### 2.3.4 RECORTES DE CLAVOS.

En 1.953 F. Meinseholt propuso una patente cubriendo el empleo de recortes de clavos como abrasivo; los recortes son los desechos de las puntas y cabezas de los clavos en las operaciones de fabricación. El resultado de la limpieza no es igual a los abrasivos convencionales, la forma de la partícula no es tan favorable para una limpieza regular. Las partículas en varios pases toman la forma esférica, debido a que es elaborado en un acero de 0,08 % de carbono, la cual limita sus aplicaciones.

#### 2.3.5 GRANALLAS DE BRONCE.

Existen ventajas claras en usar bronce en lugar de granallas de hierro o de acero, para la limpieza de materiales no ferrosos. Una de las ventajas es que el bronce no desgarrar ninguna partícula de la superficie metálica de la pieza; el bronce dura más que el acero por ser más tenaz, y no se fractura, por lo que las granallas de bronce duran más en servicio. Observaciones sobre el uso de granallas de bronce usado sobre piezas de bronce han resultado con mejores acabados.



## 2.4 GRADOS DE LIMPIEZA.

El grado de limpieza de la pieza es fundamental si éstas van a ser pintadas, donde el acabado superficial es una característica muy importante que tienen gran influencia sobre el consumo de pintura y el grado de protección obtenido con un espesor de película determinado. El acabado superficial depende de la condición original de la pieza, de la intensidad y duración del chorreado, así como del abrasivo utilizado. Para comprobar el acabado superficial hecho por el chorreado con granallas, se utilizan los discos comparadores, (fig. 2.10)

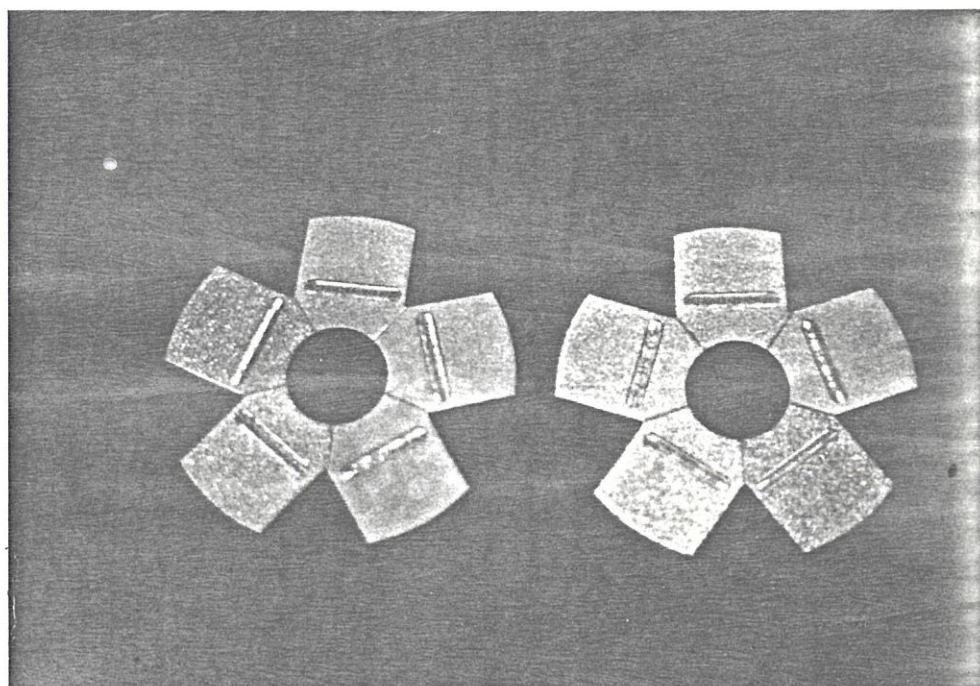


FIGURA 2.10 DISCOS COMPARADORES PARA SUPERFICIES GRANALLADAS.



Estos discos normalizados sirven para efectuar una comparación tanto visual como táctil, empleando para ello un magnificador que es un lupa de 5X (iluminada), o comparando la rugosidad con la yema de los dedos, cada disco está compuesto por cinco secciones, cada una con un diferente patrón de profundidad. Cada sección está marcada primeramente con el valor de la profundidad nominal en mils (1 mils =  $25,4 \times 10^{-3}$  mm.); la próxima letra indica el tipo de abrasivo "G/S" para granallas angulares, y "SH" para granallas redondas y el último número indica el año que fue hecho el disco.

Para establecer los grados de limpieza, existen varias normas internacionales, entre las que cabe destacar: La norma Británica (British Standard) BS 4232; la norma Norteamericana con la especificación de preparación de superficies del consejo de pintura para estructuras de acero (Steel Structures Painting Council Surface Preparation Specification) SSPC-Vis 1 y, la norma Suiza (Swedish Standard) SIS 05-59-00-1967.

Aunque estas normas difieren entre sí en su alcance, las 3 coinciden en especificar los mismos resultados finales, por lo que pueden referirse y compararse unas con otras, como se observa en la tabla X.

TABLA X GRADOS DE LIMPIEZA SEGUN VARIAS NORMAS INTERNACIONALES

DESCRIPCION	BS 4232 : 1.967	SSPC : 1.963	SIS 055900-1.967
CHORREADO A " METAL BLANCO "	1a Calidad	SSPC-SP 5	Sa 3
CHORREADO A " METAL CASI BLANCO "	2a Calidad	SSPC-SP 10	Sa 2½
CHORREADO " COMERCIAL "	3a Calidad	SSPC-SP 6	Sa 2
CHORREADO LIGERO	-	SSPC-SP 7	Sa 1
LIMPIEZA MECANICA	-	SSPC-SP 3	St 2 - 3
EXPOSICION A LA INTemperIE Y CHORREADO	-	SSPC-SP 9	Sa 2, 2½ ó 3
LIMPIEZA DE ACERO NUEVO A LA LLAMA	-	SSPC-SP 4	-
LIMPIEZA MANUAL	-	SSPC-SP 2	-
LIMPIEZA CON DISOLVENTES	-	SSPC-SP 1	-

Analicemos ahora la definición de los grados de limpieza.

CHORREADO A METAL BLANCO: Eliminación total de toda la calamina, herrumbre, pintura y elementos extraños, visibles a simple vista.

CHORREADO A METAL CASI BLANCO: Limpieza hasta que el 95 % de cada una de las zonas de la superficie total esté libre todo residuo visible.

CHORREADO COMERCIAL: Limpieza hasta que al menos las 2/3 de cada una de las zonas de la superficie total esté libre de todo residuo visible.

CHORREDO<sup>A</sup> LIGERO: Limpieza hasta conseguir que se haya eliminado residuos visibles en un 50 %.

La norma Americana y Suiza contienen especificaciones para otros procedimientos distintos de limpieza, mientras que la norma Británica ha tomado la actitud de no recomendar grados de limpieza que no se consideren apropiados para el pintado. Esta norma da a la vez recomendaciones para su aplicación.

1a. calidad: Usada para acero trabajado, donde la limpieza extrema de la superficie debe ser considerada para una prolongada vida del sistema con el uso de pinturas químicamente resistentes, como pinturas a base de resinas epóxicas y vinílicas.

2a. calidad: Requerimiento mínimo para sistemas donde se utilice pinturas químicamente resistentes. También donde se requiere obtener mejor eficiencia con pinturas convencionales, usadas bajo condiciones corrosivas regulares.

3a. calidad: Para aceros que van a ser pintados con pinturas convencionales bajo condiciones corrosivas medias.

Para la interpretación de la norma suiza para los grados de limpieza indica a continuación:

Grados de preparación por chorreado

Sa 1 : Chorreado ligero que desprende la capa suelta de laminación, el óxido junto con las partículas extrañas existentes.

Sa 2 : Chorreado minucioso que desprende casi toda la capa de laminación, de óxido y prácticamente todo elemento extraño. Deberá adquirir entonces un color grisáceo.

Sa 2 1/2 : Chorreado muy minucioso que elimina la capa de laminación, el óxido y toda materia extraña, las cuales se quitan de una manera tan perfecta que los restos sólo aparezcan como ligeras manchas o rayasen las zonas muy afectadas.



Sa 3 : Chorreado a metal puro que elimina por completo toda la capa de laminación, óxido y elementos extraños existentes. Teniendo un color metálico uniforme.

Grados de preparación por raspado y limpieza manual con cepillo de acero.

St 2 : Raspado, limpieza manual con cepillo de acero - esmerilado o cepillado a máquina, etc. - de una manera minuciosa. Mediante el tratamiento se quitarán las capas sueltas de laminación, el óxido y las partículas extrañas. Luego se limpiará el polvo, entonces deberá adquirir un suave brillo metálico.

St 3 : Raspado, limpieza manual con cepillo de acero - esmerilado o cepillado a máquina, etc. - de una manera muy minuciosa. Después de quitar el polvo, la superficie deberá presentar un claro brillo metálico.

## CAPITULO III

### INGENIERIA DE PROYECTO

#### 3.1 CONOCIMIENTOS DE LAS NECESIDADES.

El diseño de turbinas centri fugas para el chorreado con granallas se debe principalmente a la falta de equipos de limpieza para piezas salidas de fundición; actualmente esto se lo hace con herramientas manuales o mecánicas, tales como cepillos de acero, rascadores, lijas, cinceles neumáticos, muelas abrasivas, cepillos de acero rotativas (gratas), lijadoras, esmeriladoras, etc. Estas operaciones resultan lentas y costosas, por lo que una máquina automática lo haría en un tiempo muy corto y a un costo relativamente bajo.

En nuestro país existen máquinas de chorreado con arena y granalla, pero sólo se lo utiliza para la limpieza de piezas oxidadas o para sacar pintura. El

equipo más usado en nuestro medio es el de aire comprimido, que utiliza como abrasivo arena de sílice, y es usado para limpiar tanques de almacenamiento, buques, y piezas relativamente grandes. La desventaja de este sistema de chorreado está en que necesita de espacios sumamente extensos, siendo esto peligroso debido a la contaminación ambiental que es originada, por lo que es necesario que el operador esté equipado con un buen sistema de protección, y por último, la arena no es recuperada. En la actualidad el empleo de la arena de sílice esta prohibido en otros países, por lo que han recurrido a otros tipos de abrasivo.

El diseño y construcción de la máquina granalladora provista de una turbina centrífuga es parte del proyecto de construcción de máquinas de la Facultad de Ingeniería Mecánica, para equipar sus laboratorios.

### 3.2 CLASES DE TURBINAS UTILIZADAS PARA LA LIMPIEZA.

La primera patente original de una turbina centrífuga lanzadora de abrasivos fue emitida por B.C. Tilghman (1), en el año de 1.870, en la que diseñó dos tipos de turbina; la "batidora" (fig. 3.1) y "deslizadora" (fig. 3.2), siendo completamente diferentes sus acciones propulsoras, en un principio ambos fueron promovidos, pero tuvieron que pasar 60 años para que la primera máquina operacional fuera producida.

Existen un sinnúmero de razones por este tiempo de retraso, algunas fueron por las limitaciones de diseño, la inadecuada disponibilidad de arena como abrasivo y la falta de apropiados materiales resistentes al desgaste. Aparte de esto, había la continua búsqueda de un medio para el control direccional del chorro de abrasivo, la que posteriormente fue encontrada con gran esfuerzo y trabajo, llevada a cabo en varios diseños de turbinas.

---

(1) Benjamín Chew Tilghman, nacido en Filadelfia (E.E.U.U.). Le fue concedido la patente # 2147 en Gran Bretaña, en la cual cubrió todos los posibles procesos de proyección de abrasivos para la limpieza de superficies metálicas, tales como chorreado por aire comprimido, turbinas centrífugas, chorros de agua, vapor, etc.



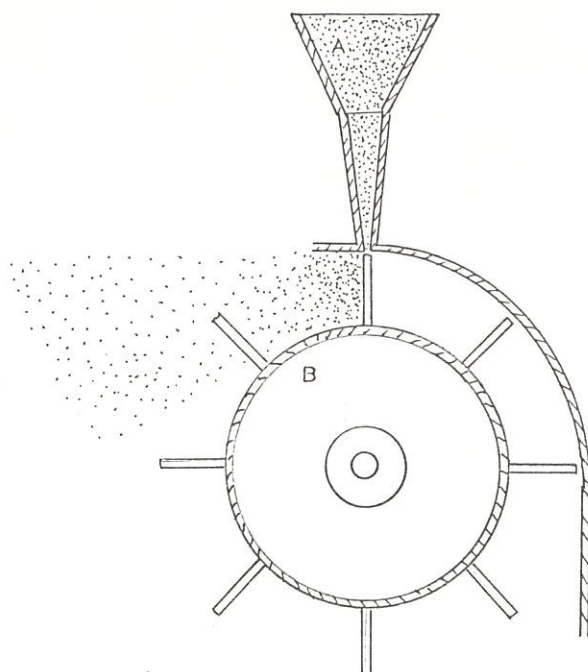


FIGURA 3.1 PRIMERA TURBINA TIPO "BATIDORA" DISEÑADO POR TILGHMAN.

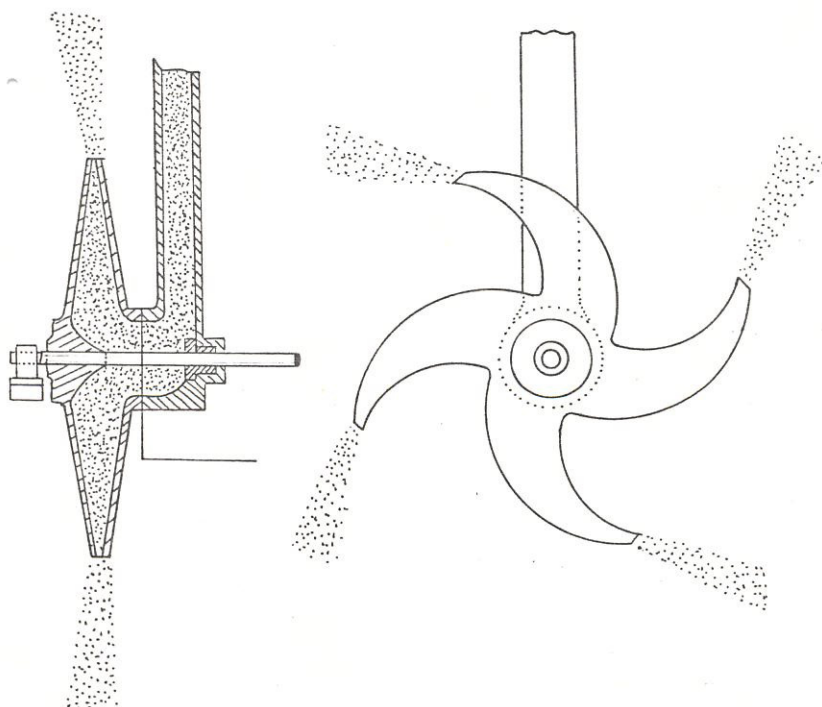
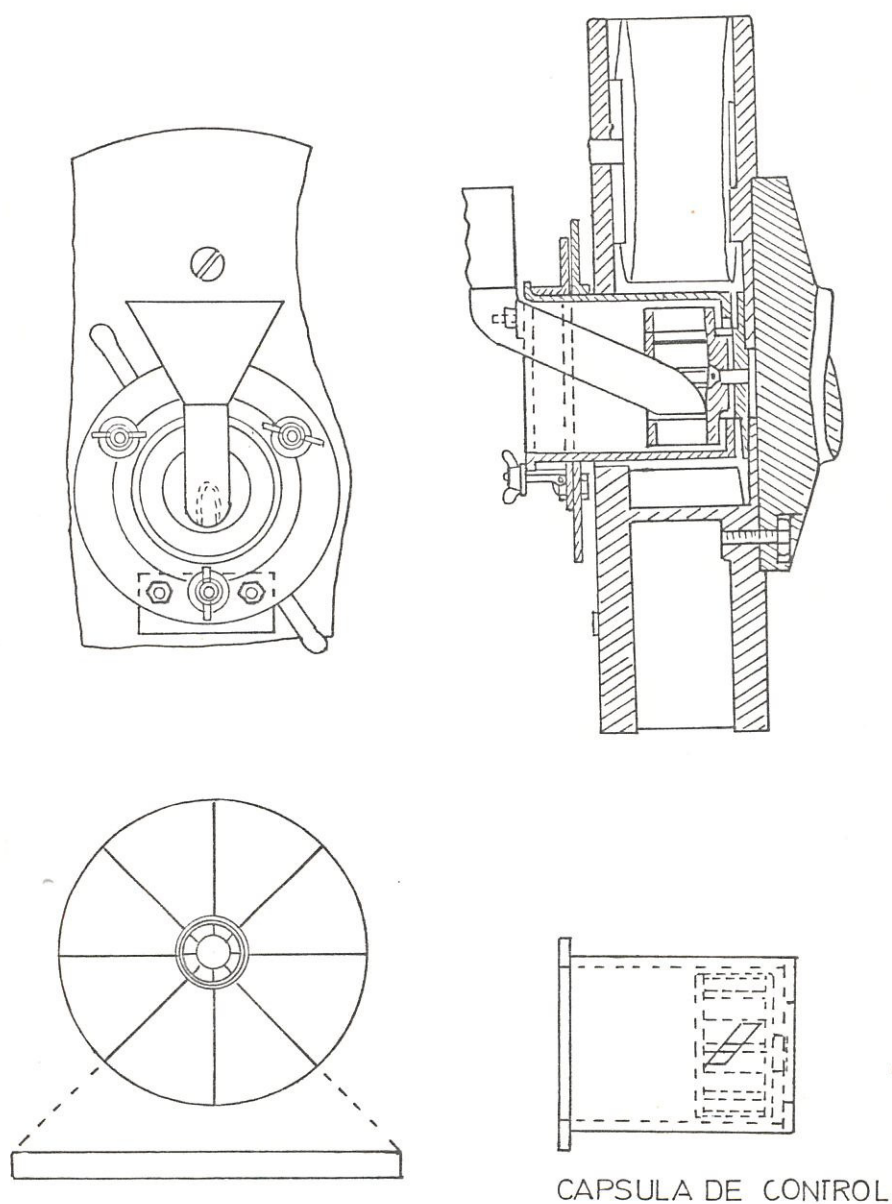


FIGURA 3.2 PRIMERA TURBINA TIPO DESLIZADORA DISEÑADO POR TILGHMAN.

Durante muchos años hubo especulación acerca de cuando la primera turbina fue patentada, ya que aparecieron en los años posteriores, en 1.913, por Bouillett (patente # 4365) y en 1.915, por Stacey (patente # 8294) diseños algo similares a los de Tilghman, ambos fueron elementales y ninguno propuso un sistema de alimentación de abrasivo, por lo que no prosperaron; una similar suerte sucedió con el diseño de Kisse en 1.925.

Años más tarde, en 1.935, W. Schemman y Kottmann diseñaron una turbina que en un principio fue bueno, pero las limitaciones de la capacidad debió ser la causa de severo desgaste, resultaron ser muy robustas, pesadas y con potentes motores, por lo que este no tubo ventaja para permitir flexibilidad.

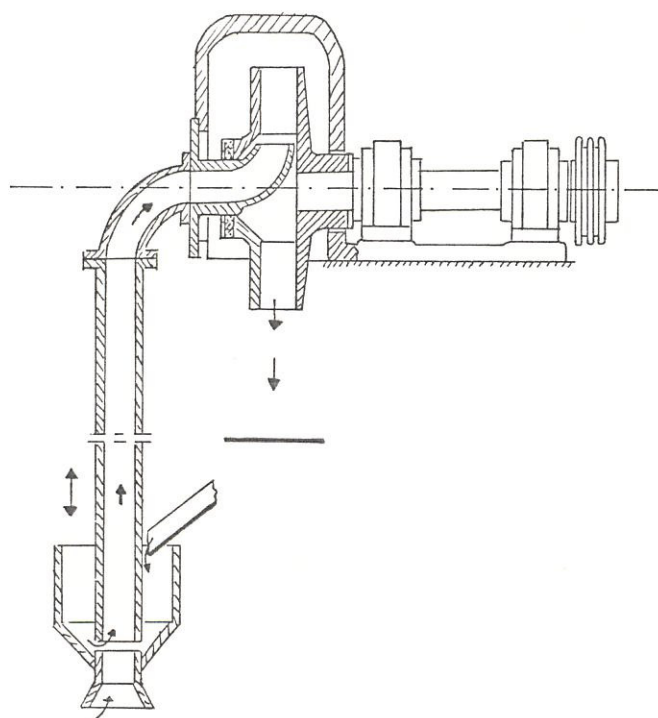
En 1.936 E. L.W. Byrne de la Compañía Americana de equipamentos para fundición (American Foundry Equipment Company), ahora conocido como la Corporación Wheelabrator, patentó una turbina que, pasó a ser la base de todas los futuros diseños (fig. 3.3). El valor principal de esta turbina es el control direccional, en el cual el abrasivo es dirigido específicamente hacia la pieza de trabajo y no indiscriminadamente, además este diseño introdujo el impulsor, así como paletas removibles, siendo la alimentación de abrasivo por el centro.



PATENTE Nº 441466

FIGURA 3.3 TURBINA ORIGINAL DEL TIPO DESLIZADORA,  
ALIMENTADO POR EL CENTRO Y CON UN CONTROL  
DIRECCIONAL, DISEÑADO POR BYRNE.

En 1.939, La Sociedad Anon Etablissements produjo una turbina en la cual la alimentación del abrasivo es ayudado por un ventilador. En el mismo año Alfred Gutmann elaboró un diseño similar (fig. 3.4), en la cual el abrasivo es suministrado a las paletas con ayuda de aire inyectado en el conducto de alimentación.



PATENTE N° 498601

FIGURA 3.4 TURBINA DISEÑADA POR ALFRED GUTMANN, CON ALIMENTACION DE ABRASIVO AYUDADO POR AIRE.



En 1.940, la Corporación Pangborn, produjo un sinnúmero de turbinas sin paletas, pero ninguno alcanzó éxito. En ese mismo año, produjo una turbina de un solo disco con paletas. Ocho años más tarde introdujo un impulsor de forma alabeada, a ser usado en conjunción con el diseño anterior, mejorando la eficiencia (fig. 3.5).

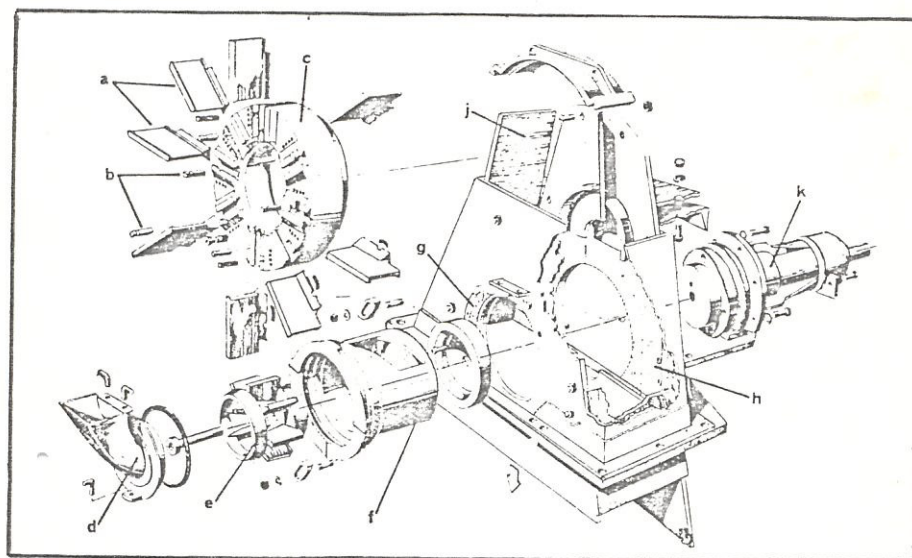


FIGURA 3.5 TURBINA DE UN SOLO DISCO DISEÑADO POR LA CORPORACION PANGBORN.

a. paletas    b. clavija sujetadora    c.  
 disco    d. conducto de alimentación    e.  
 impulsor    f. cápsula de control    g.  
 indicador de posición de la cápsula    h.  
 carcasa    j. blindaje    k. rodamiento

### 3.2.1 TURBINA TIPO BATIDORA.

Inicialmente este tipo de turbina fue recibido con mayor aceptación en Europa. Existen dos formas básicas de diseño: la de alimentación periférica y la de alimentación axial.

La turbina de alimentación periférica está constituida por dos discos entre los cuales están dispuestas las paletas, el conducto de alimentación va colocado en la periferia de la rueda, siendo la que suministra los abrasivos en un punto donde cae entre las paletas, lanzándolos hacia afuera (fig. 3.6).

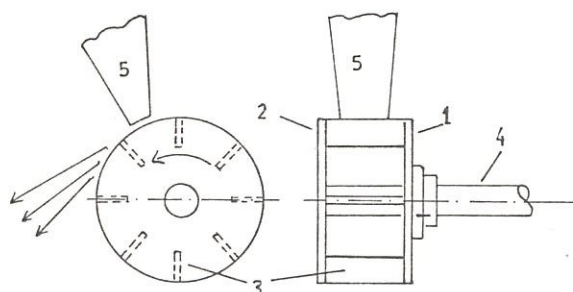


FIGURA 3.6 TURBINA TIPO " BATIDORA " DE ALIMENTACION PERIFERICA.

1. disco lateral izquierdo 2. disco lateral derecho 3. paletas 4. eje conductor 5. conducto de alimentación.

La turbina de alimentación axial consiste en un solo disco y dos paletas (fig. 3.7), el abrasivo es alimentado axialmente en la porción interior de la rueda, desde donde ésta es batida hacia afuera. La ventaja es que hay menos choque de los abrasivos que en la de alimentación periférica, otra ventaja es que puede ser operada en el plano vertical, como en el horizontal, además por ser de único disco, pueden colocarse paletas a los dos lados del disco, lo cual resulta conveniente cuando se requiera montar múltiples ruedas sobre un eje común.

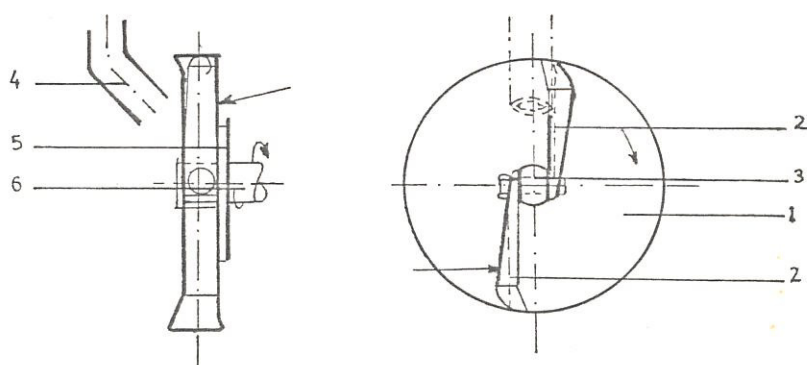


FIGURA 3.7 TURBINA TIPO " BATIDORA " DE ALIMENTACION AXIAL.

1. disco 2. paletas 3. espaciador  
4. conducto de alimentación 5. manzana  
6. eje conductor.

### 3.2.2 TURBINA TIPO " DESLIZADORA ".

A mediados de los años 30, este tipo de turbina fue introducida, y a partir de entonces ha venido desarrollándose, gracias a que tiene un control direccional del chorro de abrasivo. Siendo este tipo la más utilizada actualmente. La turbina deslizadora presentan dos variantes: de forma compacta, y de único disco.

La turbina deslizadora de forma compacta (fig. 3.8), está constituida por dos discos laterales entre las cuales van dispuestos las paletas, la alimentación es realizada por la parte central de la rueda de impulso, en cuyo interior se encuentra la rueda de distribución y la cápsula de control.

La turbina deslizadora de único disco, presenta un solo disco, en cuya cara lateral van colocados las paletas, la alimentación del abrasivo es realizada por el centro de la rueda, ayudado por el suministro de aire en el conducto de alimentación, (fig. 3.9) esta turbina tiene mayor aceptación en Alemania, mientras que en los Estados Unidos la Corporación Pangborn utiliza esta turbina de único disco, pero con un impulsor (fig. 3.5).



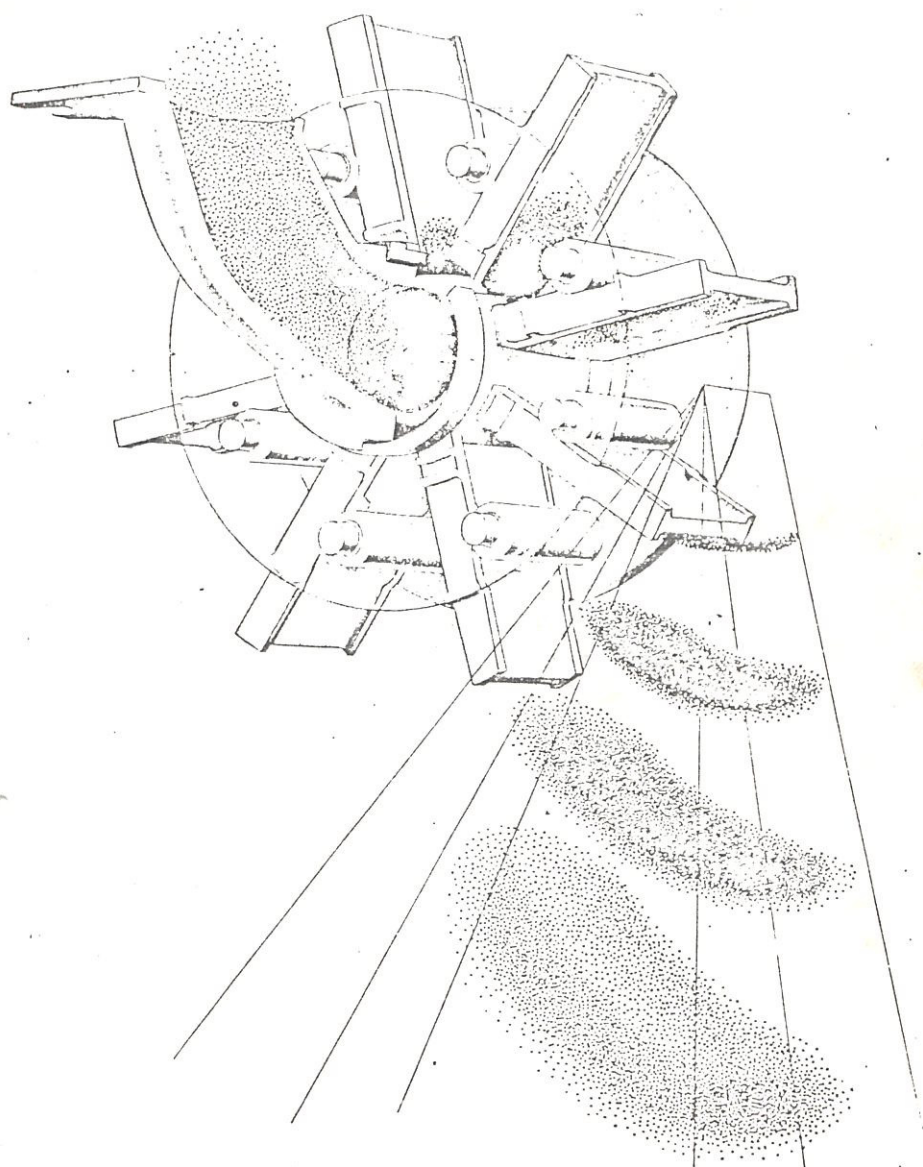


FIGURA 3.8 TURBINA TIPO "DESLIZADORA" DE  
FORMA COMPACTA.

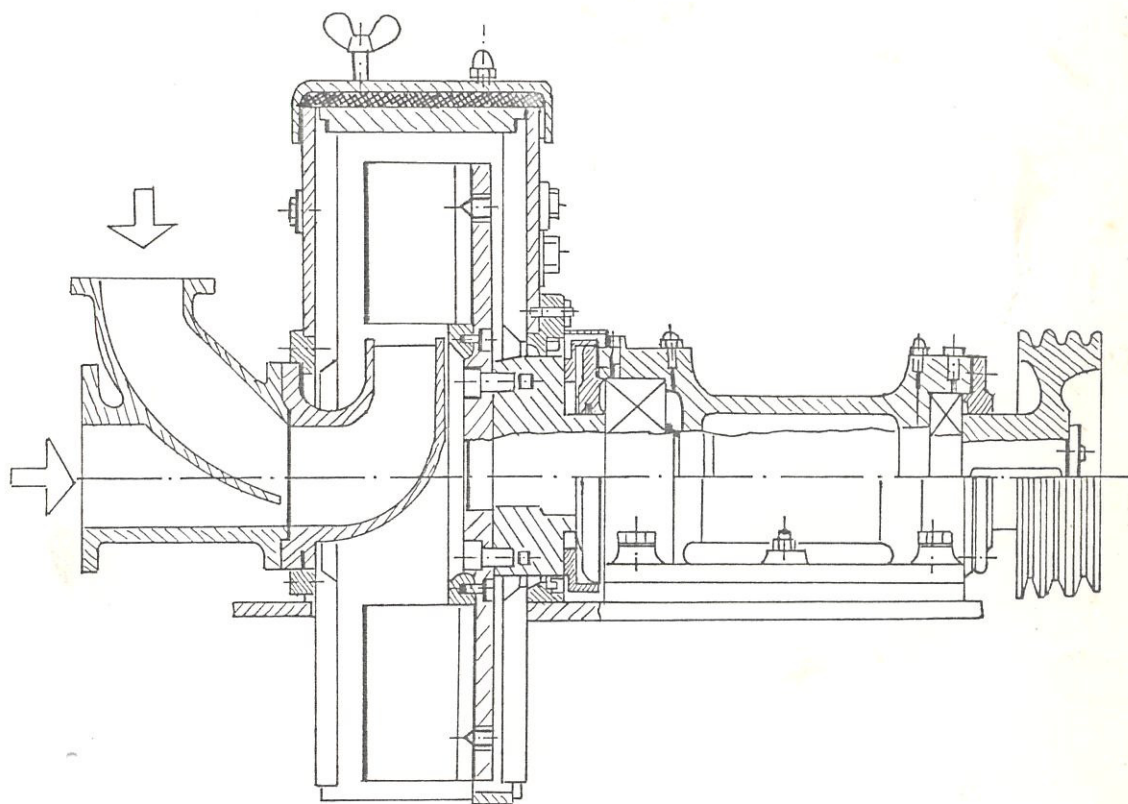


FIGURA 3.9 TURBINA TIPO DESLIZADORA DE UNICO DISCO  
DISEÑADA POR A. GUTMANN CON ALIMENTACION  
AYUDADA POR AIRE.

### 3.3 DESCRIPCION DE LAS PARTES CONSTITUTIVAS DEL SISTEMA.

La turbina centrífuga tipo deslizadora está conformado por las paletas, la rueda de distribución, la cápsula de control y el conducto de alimentación.

#### 3.3.1 PALETAS

La función de las paletas es la de lanzar el abrasivo a elevadas velocidades. Usualmente se utilizan 8 paletas. Para el caso de turbinas de forma compacta estas son mantenidas entre dos discos, colocadas en forma radial en las ranuras y sujetados con apropiados pernos ó resortes. (fig 3.10)

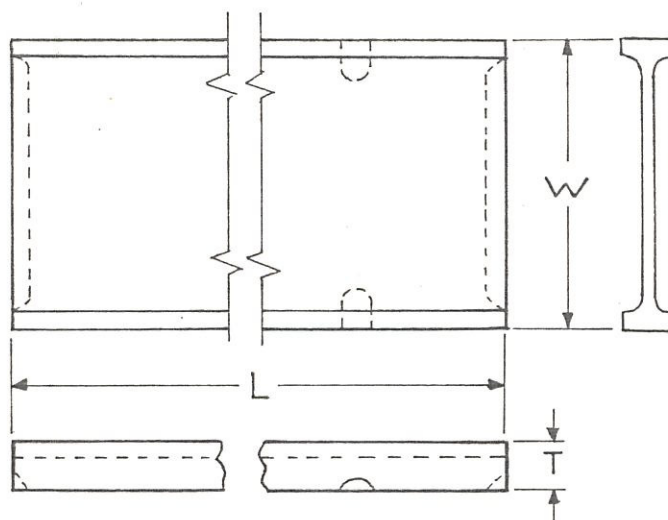


FIGURA 3.10 PALETA DE LA TURBINA DESLIZADORA  
COMPACTA, TIPO WHEELABRATOR.

Para turbinas de único disco, las paletas son construidas con una pestaña en forma de cola de milano y sujeta con una clavija (fig. 3.11)

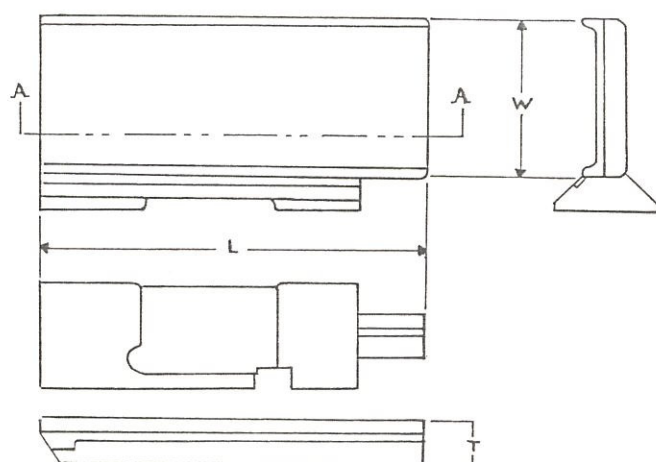


FIGURA 3.11 PALETA DE LA TURBINA DESLIZADORA DE UNICO DISCO, TIPO PANGBORN.

### 3.3.2 RUEDA DE DISTRIBUCION.

Más bien conocido como impulsor, ya que impulsa al abrasivo que viene del conducto de alimentación y lo lanza a las paletas a través de la abertura de la cápsula de control. En el transcurso de los años este ha venido variando de diseño; así tenemos el primer impulsor usado en las turbinas de chorreado, (fig. 3.12) resultó ser poco satisfactorio. Un diseño mejorado se logró haciendo que el abrasivo entre por el centro del impulsor. (fig. 3.13)



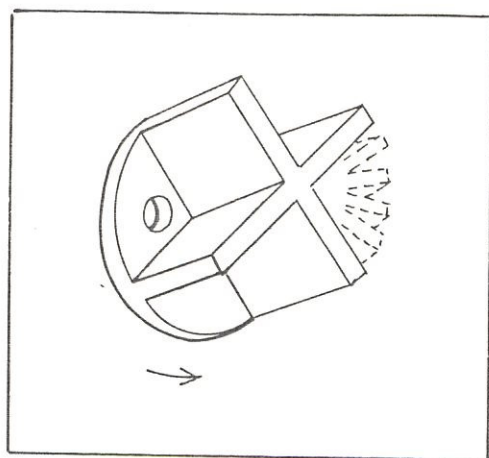


FIGURA 3.12 PRIMER IMPULSOR DESARROLLADO PARA LAS TURBINAS DE CHORREADO

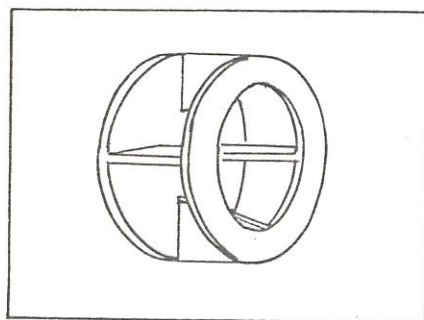


FIGURA 3.13 DISEÑO MEJORADO DEL IMPULSOR.

Actualmente lo hace de tal forma que los álabes de la rueda de distribución tenga la misma cantidad de paletas de la turbina. Este diseño permite a los abrasivos ser alimentados con exactitud. (Fig. 3.14 y Fig 3.15)

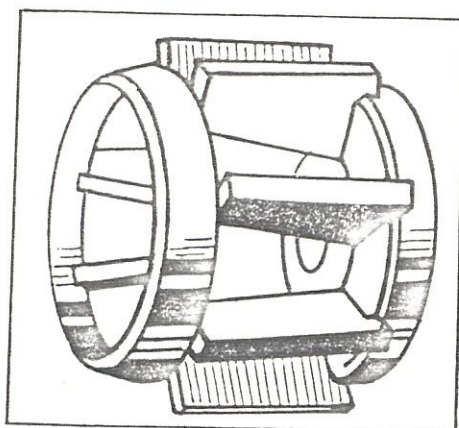


FIGURA 3.14 RUEDA DE DISTRIBUCION UTILIZADA POR  
LA PANGBORN Co.

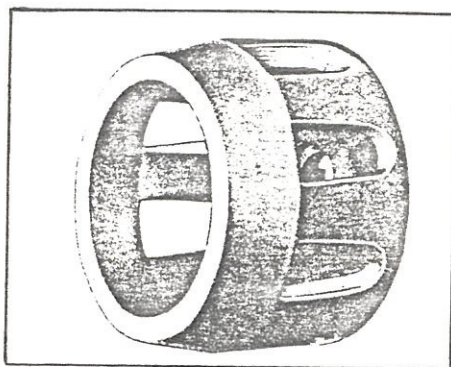


FIGURA 3.15 RUEDA DE DISTRIBUCION UTILIZADA POR  
LA CORPORACION WHEELABRATOR.

### 3.3.3 CAPSULA DE CONTROL.

La función de la cápsula de control es dirigir el flujo de abrasivos al sitio de trabajo, por medio de una apropiada abertura, que determina el punto de salida del abrasivo desde la turbina. La forma de la abertura controla la propagación del "sitio activo", existen dos formas: la abertura rectangular donde patrón de chorro se muestra en la figura 3.16, y la abertura triangular (fig. 3.17), en la que se observa alargamiento del sitio activo.

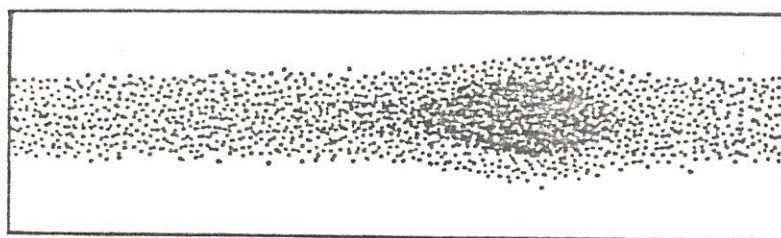
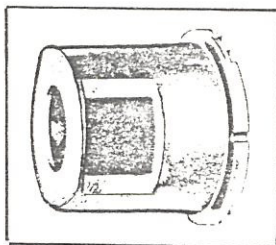


FIGURA 3.16 CAPSULA DE CONTROL DE ABERTURA RECTANGULAR CON SU RESPECTIVO PATRON DE CHORRO.

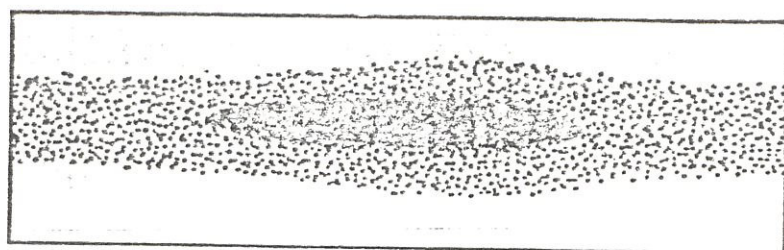
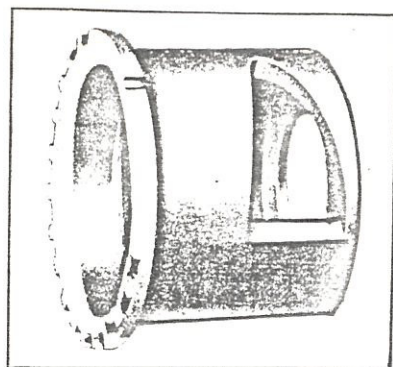


FIGURA 3.17 CAPSULA DE CONTROL DE ABERTURA TRIANGULAR CON SU RESPECTIVO PATRON DE CHORRO.

El sitio activo es la zona de alta concentración de impactos en la pieza de trabajo; la que puede estar ubicada a medio camino en el patrón de chorro, pudiendo también moverse hacia adelante o atrás, puesto que la abertura puede ser posicionada en diversos puntos a  $360^{\circ}$ .



### 3.3.4 CONDUCTO DE ALIMENTACION

Es el componente de alimentación de abrasivo, el conducto es diseñado para asegurar el libre y adecuado flujo (fig. 3.18), éste es ayudado por el impulsor que tiene una acción un tanto similar a un ventilador y la admisión de aire ayuda al flujo de abrasivo; por tal razón algunos diseños han incorporado aire inducido en el conducto de alimentación en vez del impulsor.

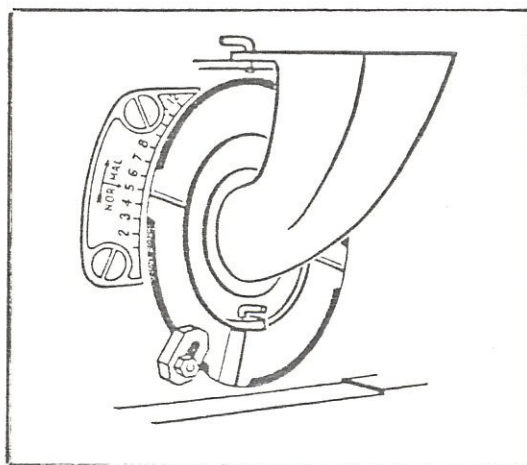


FIGURA 3.18 CONDUCTO DE ALIMENTACION.

El conducto de alimentación no debe ser fijado demasiado lejos del impulsor, ya que el abrasivo podría caer entre el espacio formado por estos, lo que originaría una acción turbulenta resultante que disturbe el flujo, tampoco se debe fijarse muy cerca del impulsor, ya que ocasionaría traba en el sistema.



### 3.4 PRINCIPIO DE TRABAJO

El trabajo que realiza la turbina tipo deslizadora con alimentación con impulsor (fig. 3.8) es el siguiente: Los abrasivos que se encuentran en la tolva caen por acción de la gravedad a través del conducto de alimentación al interior de la turbina, el cual es recogido por la rueda que distribución que pone a los abrasivos en rotación, preacelerándolos y para luego lanzarlos a la cápsula de control, en donde parte de los abrasivos son detenidos por la pared interior y, otra parte pasa por la abertura de la cápsula de control a las paletas, teniendo muy en cuenta que la cápsula de control debe estar localizado en una posición selectiva, de tal forma que proporcione un control direccional preciso del chorro a la pieza de trabajo. Los abrasivos que llegan a las paletas de impulso, adquieren mayor velocidad conforme avanzan radialmente y, finalmente son lanzados a elevada velocidad, siendo este flujo, chorros individuales de abrasivos que se mueven por partes, en diversos instantes de tiempo y en distintos puntos, resultando una conocida dispersión de chorros de abrasivos. (fig 3.19)





FIGURA 3.19 DISPERSION DEL FLUJO DE ABRASIVOS.



### 3.5 CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑO.

Para el diseño de la turbina, hay que tener presente su disposición, para esto nuestra máquina granalladora es del tipo mesa rotatoria, en cuyo caso la turbina va colocada en posición horizontal encima de la mesa de trabajo, de tal forma que el chorro impacte perpendicularmente a la superficie a limpiar. El abrasivo que se utiliza en estas operaciones de limpieza son granallas de acero, lo que significa que el material con que se fabricará la turbina deberá ser muy resistente al desgaste, además con juegos y claros entre las partes de por lo menos 6 mm. para evitar trabas en el sistema. El número de paletas de las turbinas es generalente 8, lo que facilita el recambio, ya que se tiene que cambiarse las paletas tanto del que está malogrado como la del lado opuesto, evitando desbalanceamiento de la turbina. La abertura de la cápsula de control deber ser colocada de tal forma que chorro de abrasivo sea dirigido a la pieza.

La turbina tipo deslizadora son fabricadas en diferentes tamaños, que van desde los 254 mm. a 554 mm. con potencias de 2 HP a 100 HP, dependiendo de la cantidad de abrasivo que manejen. En la tabla XI se muestran algunas tamaños de turbinas, indicando la potencia y el flujo de abrasivo a ser utilizado.



TABLA XI FLUJO DE ABRASIVOS POR MINUTO PARA TURBINAS TIPO DESLIZADORA DADO SUS DIMENSIONES Y POTENCIA

HP	10 x 1 pul (254 X 25,4 mm)	14 x 2 pul (355,6 X 50,8 mm)	15 x 2½ pul (381 X 63,5 mm)	19½ x 2½ pul (495 X 63,5 mm)	19½ x 3 pul (495 X 76,2 mm)	19½ x 5 pul (495 X 127 mm)	21 x 5 pul (533,4 X 127 mm)
2	42 lb (19,05 kg)						
5	125 lb (56,69 kg)	100 lb (45,35 kg)					
10		250 lb (113,39 kg)	350 lb (158,75 kg)	200 lb (90,70 kg)			
15		367 lb (166,46 kg)	350 lb (158,75 kg)	350 lb (158,75 kg)	290 lb (131,52 kg)		
20				475 lb (215,41 kg)	533 lb (241,71 kg)		
25				600 lb (272,10 kg)	700 lb (317,35 kg)		
30				800 lb (362,80 kg)	833 lb (377,76 kg)		
40						1000 lb (453,35 kg)	950 lb (430,85 kg)
50						1300 lb (589,55 kg)	1200 lb (544,05 kg)
60						1567 lb (710,76 kg)	1500 lb (680,02 kg)
75						2083 lb (947,34 kg)	1800 lb (816,07 kg)
100						2833 lb (1.244,46 kg)	1800 lb (816,07 kg)

La velocidad que deben tener las granallas están en el rango de 70 a 80 m/seg, para alcanzar esta velocidad las turbinas deben girar a determinada revoluciones, dependiendo del diámetro de éstas; por ejemplo, una turbina de 254 mm. necesita rotar a 4.200 rpm, mientras que una turbina de 495 mm. gira tan sólo a 2.250 rpm. aunque estas velocidades pueden ser modificadas un poco para ser adaptados a ciertas aplicaciones, de cualquier modo estas variaciones de velocidad están limitadas; por ejemplo, una turbina de 495 mm. que rote a menos de 1.800 rpm la efectividad disminuye.

No hay, en general, diseños normalizados para tal o cual proceso; de hecho depende sólo del factor de rapidez de salida de la granalla de la turbina, por lo cual hay una limitada velocidad, dependiendo de la intensidad de impacto, como se muestra en la tabla XII.

La eficiencia de la turbina depende de varios factores como una buena mezcla de abrasivos, la colocación de la cápsula de control, el flujo normal de abrasivos, el estado y condición de las partes de la turbina, como es la rueda de distribución, la cápsula de control, las paletas y el conducto de alimentación.(fig. 3.20)

TABLA XII INTENSIDAD DE IMPACTO UTILIZADO EN OPERACIONES DE LIMPIEZA

APLICACION	INTENSIDAD DE IMPACTO	
	lb-pul.	N-m.
Piezas forjadas	0,0147 - 0,0088	0,020 - 0,012
Piezas fundidas	0,0103 - 0,0065	0,014 - 0,009
Piezas fundidas o forjadas pequeña, acabado fino de secciones leves.	0,0071 - 0,0033	0,009 - 0,004
Limpieza después de tratamiento térmico	0,0053 - 0,0013	0,007 - 0,002
Limpieza de incrustaciones ligeras, óxido, acabado extra fino	0,0022 - 0,0001	0,003 - 0,001



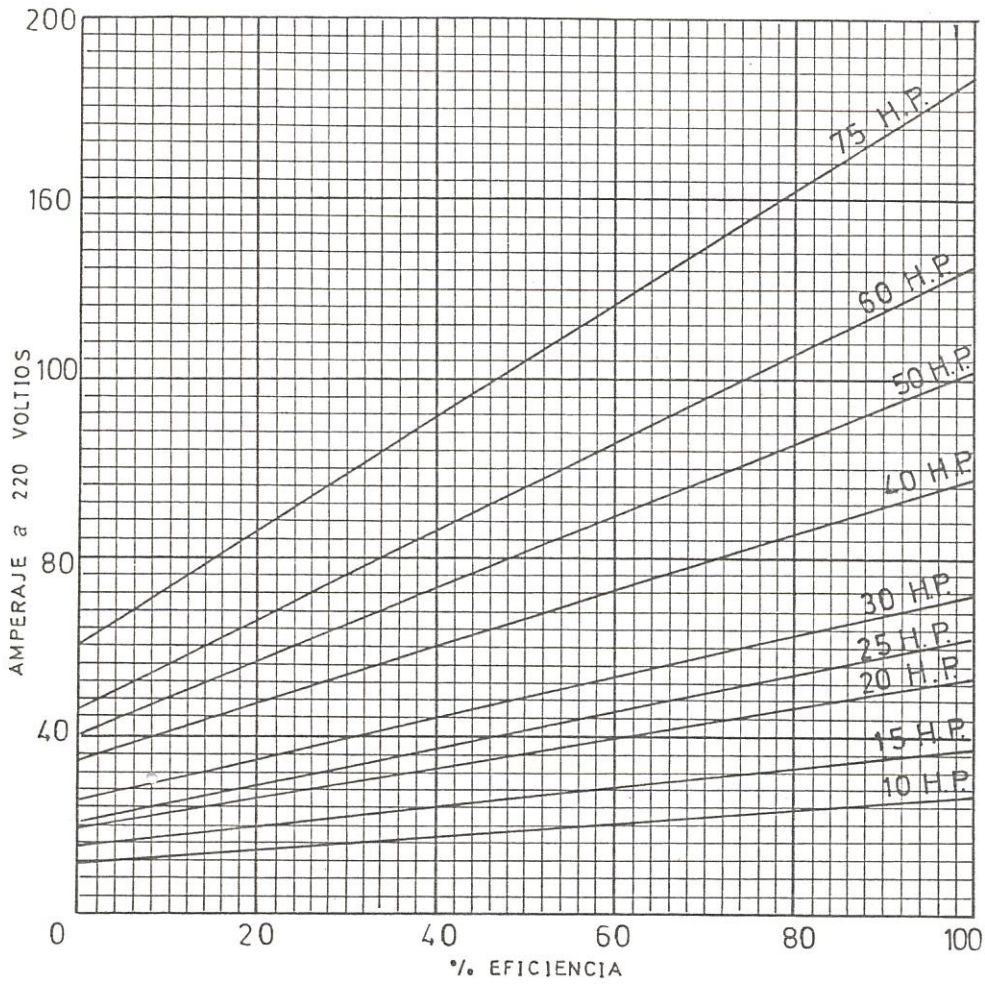


FIGURA 3.20 EFICIENCIA DEL FLUJO DE ABRASIVO VS  
AMPERAJE PARA TURBINAS CONDUCTA POR  
BANDAS.



## CAPITULO IV

### DISEÑO Y CALCULOS

#### 4.1 DISEÑO DE LA TURBINA

La rueda centrífuga de chorreado que se va a diseñar es del tipo deslizador compacta, es decir de doble disco; siendo este tipo la más utilizada en la industria metalúrgica.

Para la selección se tomó en cuenta la facilidad para su construcción, así tenemos que las paletas no son de forma complicada como en las de único disco, donde para ser fijados es necesario la construcción de cola de milano, además que no es necesario disponer de un ventilador.

Para seleccionar el tamaño apropiado, hay que tener presente las siguientes consideraciones:

- Limitaciones de peso y espacio;
- Bajo requerimientos de potencia;
- Buena razón de limpieza;
- Facilidad de instalación;
- Facilidad de operación;
- Facilidad de mantenimiento, y
- Bajo costos.

Por lo anteriormente citado y teniendo presente que la máquina es del tipo mesa giratoria, en donde se van a limpiar piezas salidas de fundición de pequeño y mediano tamaño, necesitando para tal aplicación requerimientos de abrasivos y potencia no tan elevados, por lo que de la tabla XII del capítulo anterior, se pasa a seleccionar una rueda de 356 mm. con una potencia de 10 HP, manejando un flujo de 110 kg/min.

La velocidad de rotación para este tamaño de rueda se establece en 365 rad/seg. (3.485 rpm.) valor que posteriormente será comprobado en cálculos posteriores, de tal forma que la velocidad de salida de la granalla esté en el rango sugerido de 70 a 80 m/seg.

#### 4.1.1 DISEÑO DE LA RUEDA DE PALETAS.

La turbina a diseñar está constituida por dos ruedas o discos, los cuales se mantiene unidos por medio de separadores cilíndricos que van roscados a estos. En la cara interior de los discos existen ranuras practicadas en forma radial a cada  $45^{\circ}$ , sitio en donde van colocados las paletas; en una de las ruedas se acopla una manzana. En la otra rueda presenta una abertura central en la cual permite acoplar la cápsula de control (plano 7.05.21.86)

El diámetro de los discos es menor que la distancia hasta donde llega la paleta (diámetro de la turbina), esto se lo hace para disminuir peso del sistema, logrando reducir inercia. Para calcular los esfuerzos en el disco rotatorio con agujero (fig 4.1) ref # 7 , tenemos:

$$S_{r_{\max}} = \varrho \omega^2 r \times 10^{-3} (u+3) [1 - (r_1/r_0)] / 8 \quad (4.1)$$

$$S_{t_{\max}} = \varrho \omega^2 r \times 10^{-3} (u+3) [1 + [(1-u)/(u+3)] (r_1/r_0)^2] / 4 \quad (4.2)$$

$$\zeta_{\max} = S_{t_{\max}} / 2 \quad (4.3)$$

Donde

$S_{r \max.}$  = Esfuerzo radial máximo, en MPa.

$S_{t \max.}$  = Esfuerzo tangencial máximo, en MPa.

$\tau_{\max.}$  = Esfuerzo cortante máximo, en MPa.

$\rho$  = densidad (7,8 g/cc. para fundición)

$\nu$  = razón de Poisson. (0,27 para fundición)

$\omega$  = velocidad angular, en rad/seg.

$r_i$  = radio interior del disco, en metros.

$r_o$  = radio exterior del disco, en metros.

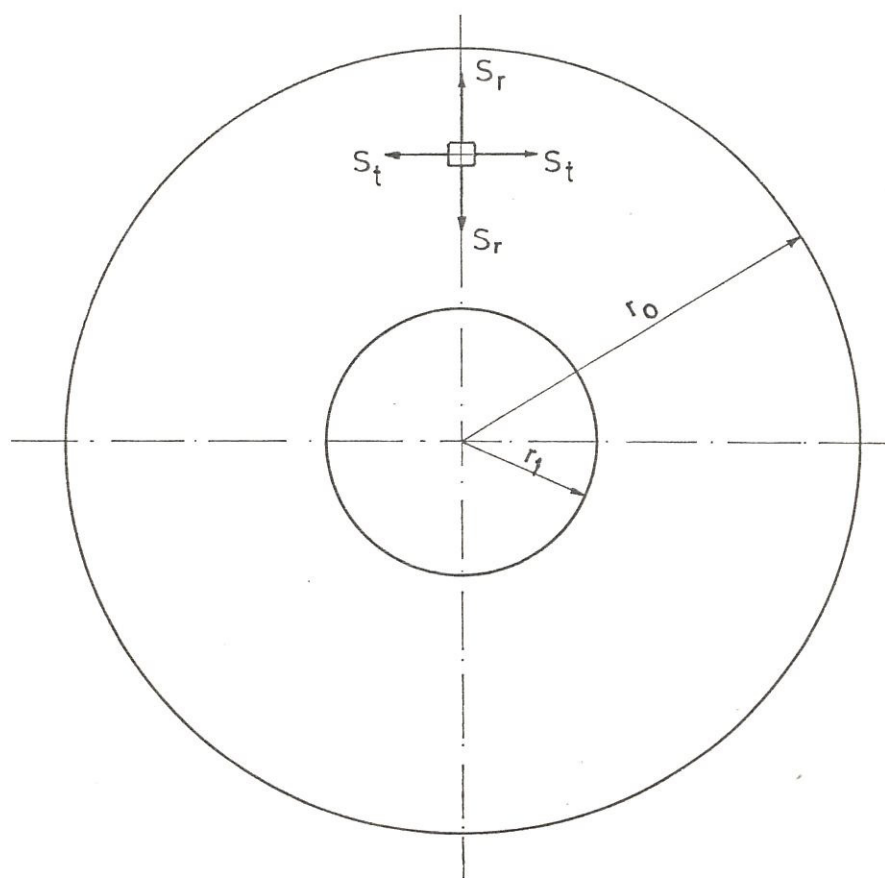


FIGURA 4.1 DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN EL DISCO.



Sabiendo que en disco A el radio interior es 0,070 m. y el radio exterior es 0,150 m. reemplazando en las ecuaciones anteriores 4.1, 4.2, 4.3 tenemos:

$$S_{r \max} = 2,71 \text{ MPa.}$$

$$S_{t \max} = 20,04 \text{ MPa.}$$

$$Z_{\max} = 10,02 \text{ MPa.}$$

En el disco B el radio interior es 0,035 m. y el radio exterior es 0,150 m. siendo los valores de esfuerzo de:

$$S_{r \max} = 5,62 \text{ MPa.}$$

$$S_{t \max} = 19,35 \text{ MPa.}$$

$$Z_{\max} = 9,63 \text{ MPa.}$$

Como se muestra en las fórmulas anteriores, el esfuerzo es independiente del ancho del disco, y sólo depende de la velocidad y de los radios.

La manzana de la rueda va fijada al eje por un cono de ajuste, evitando concentradores de esfuerzo. La carga de empuje del cono la da un perno alen, que a su vez ajusta la rueda de distribución, tal como se muestra en la figura 4.2.

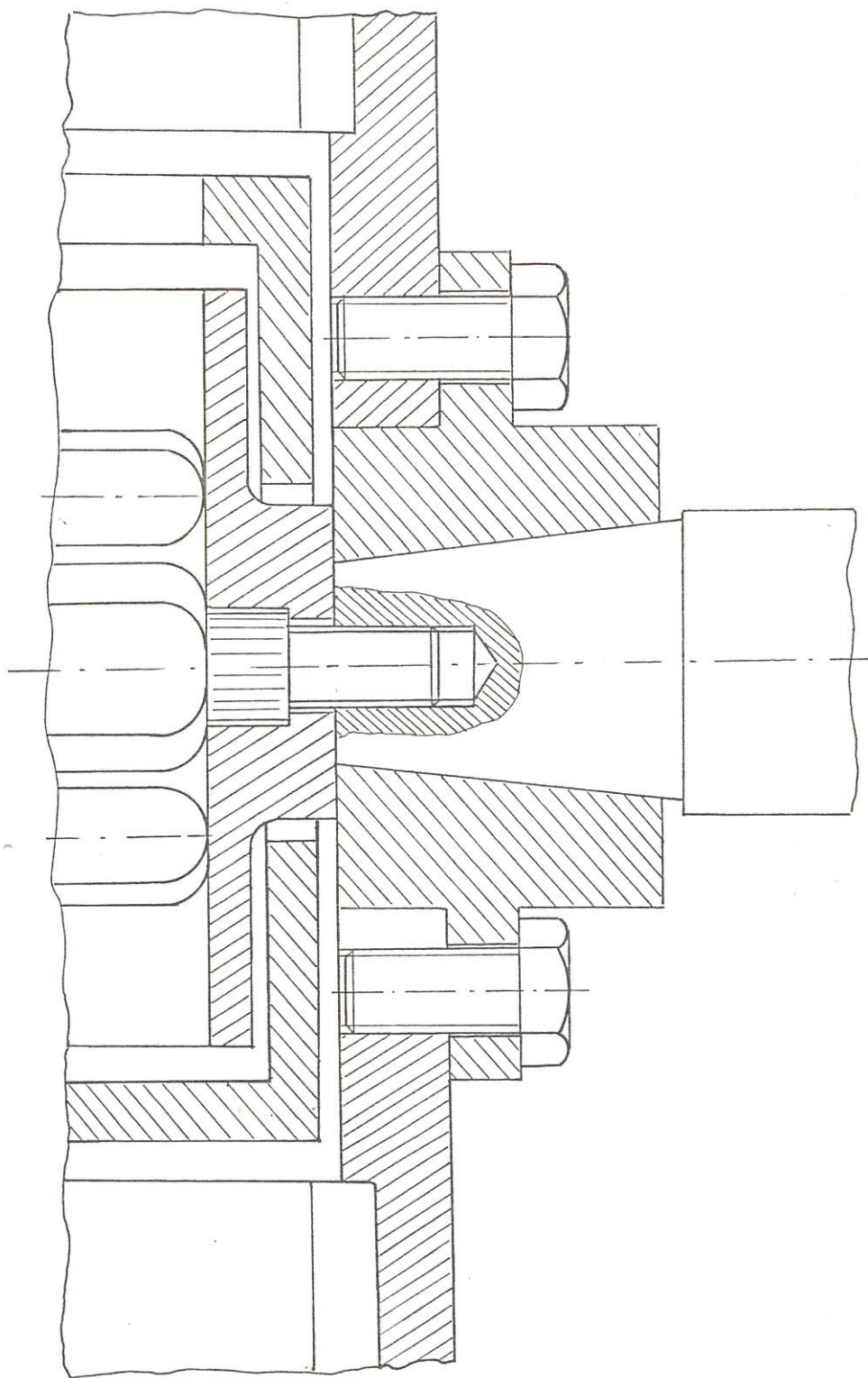


FIGURA 4.2 MOSTRANDO EL INTERIOR DE LA TURBINA

#### 4.1.2 DISEÑO DE LAS PALETAS

La forma de las paletas es plana con resaltes en los bordes laterales, que sirven para poder guiarlos entre los dos discos en las ranuras respectivas (Plano 7.Ø5.22.86). La fijación se lo realiza con un perno prisionero, debido a que las paletas es de un material duro; en consecuencia frágil; el sobreapriete del perno de fijación, podría causar su rompimiento, por lo que el apriete debe ser lo necesario. A continuación se realiza el cálculo del perno que ajusta la paleta. (fig. 4.3)

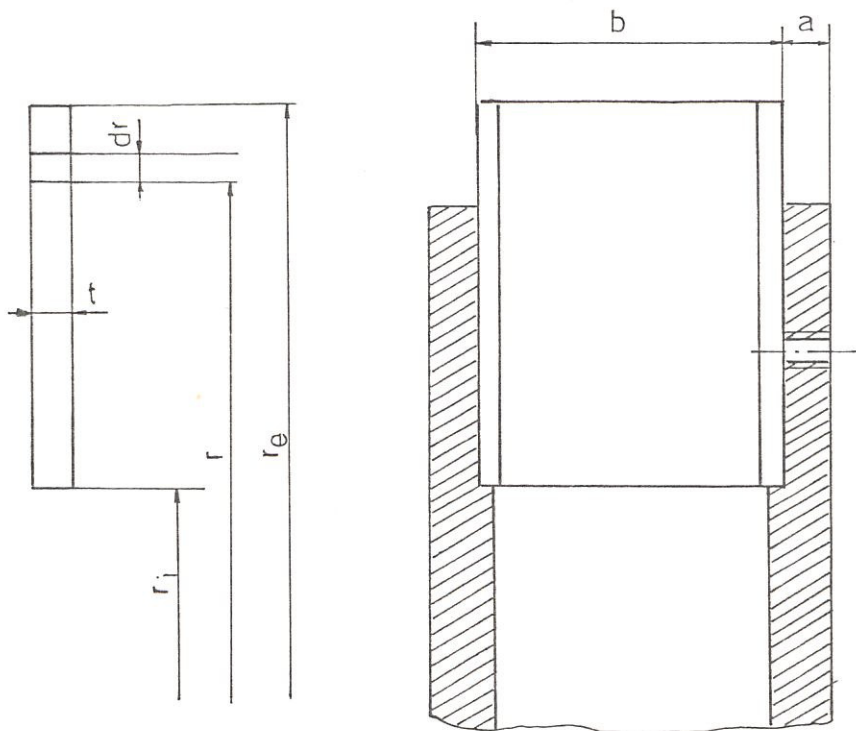


FIGURA 4.3 REPRESENTACION DE LA PALETA

Primeramente calculamos la fuerza originada por la paleta al rotar, siendo ésta la fuerza centrífuga en las paletas:

$$dF = a^n dm \quad (4.4)$$

Sabiendo que  $a^n = \omega^2 r$

$$dm = \rho dV \quad y$$

$$dV = b t dr$$

Reemplazando en la ecuación 4.4 tenemos:

$$dF = \omega^2 \rho b t r dr$$

Integrando la ecuación anterior tenemos:

$$F = \rho b t \omega^2 (r_e - r_i) / 2 \quad (4.5)$$

Donde  $F$  = Fuerza centrífuga, en Newton

$b$  = ancho de la paleta, en metros

$t$  = espesor de la paleta, en metros

$r_e$  = radio exterior, en metros

$r_i$  = radio interior, en metros

Con las dimensiones siguientes:

ancho de la paleta = 0,08 m.

espesor de la paleta = 0,011 m.

radio exterior donde llega la paleta = 0,178 m.

radio interior donde inicia la paleta = 0,07 m.

densidad de la fundición = 7.800 kg/m.



Remplazando estos valores en la ecuación 4.5 tenemos:

$$F = 12.246,4 \text{ Newtons}$$

Procedemos al cálculo del diámetro del perno, debido al esfuerzos por corte:

$$\zeta = F/A \quad (4.6)$$

$$\text{Sabiendo que } \zeta = 0,5 \frac{S_b}{n}$$

$$A = \pi d^2/4$$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$d = (8nF/S_b\pi)^{1/2} \quad (4.7)$$

donde  $S_b$  = Esfuerzo tensil, en Mpa.

$F$  = Fuerza aplicada, en Newtons.

$d$  = diámetro del perno, en mm.

$n$  = factor de seguridad

Para un perno prisionero grado 8.8, la resistencia a la tensión es de 827 MPa. y considerando un factor de seguridad de 2.5, reemplazando en la ecuacion 4.7 tenemos:

$$d = 9,71 \text{ mm.}$$

Del cálculo anterior, tenemos que el diámetro que utilizaremos es de 10 mm. por lo que se usa un perno prisionero M 10 x 15 mm.

#### 4.1.3 DISEÑO DE LA RUEDA DE DISTRIBUCION.

El diseño debe ser de tal forma que lance a los abrasivos a una cierta velocidad a través de la abertura de la cápsula de control, para tal efecto se lo hace con lumbreras a cada  $45^{\circ}$ , dispuestos en forma radial y con una longitud de 50 mm., logrando con esto que el chorro tenga un gran campo de acción y el desgaste no sea tan severo (plano 7.05.26.86). La rueda de distribución es fijada al sistema por un perno al extremo del eje conductor y que presiona fuertemente al disco (fig. 4.2).

#### 4.1.4 DISEÑO DE LA CAPSULA DE CONTROL.

Este elemento es diseñado de forma de un cilindro hueco, permitiendo que el su interior sea alojado la rueda de distribución; en su cara cilíndrica presenta una abertura rectangular de 50 mm. x 146,6 mm. de longitud de arco (plano 7.05.19.86). La cápsula de control es fija, sujeta a la carcasa con 2 pernos, siendo corrediza la cápsula al quitarle una cierta carga a los pernos, permitiendo con esto posicionar la abertura en diversos puntos y que el patrón de chorro sea situado en forma conveniente.

#### 4.2 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SALIDA DE LA GRANALLA.

Para calcular la velocidad final de salida y el ángulo con que sale, primeramente debemos considerar a la parte de la rueda de distribución donde se ubica la granalla, como un triángulo, para facilidad de cálculos se considera como si fuera un triángulo rectángulo, con ángulos de  $45^\circ$ , tal como se muestra en la figura 4.4.

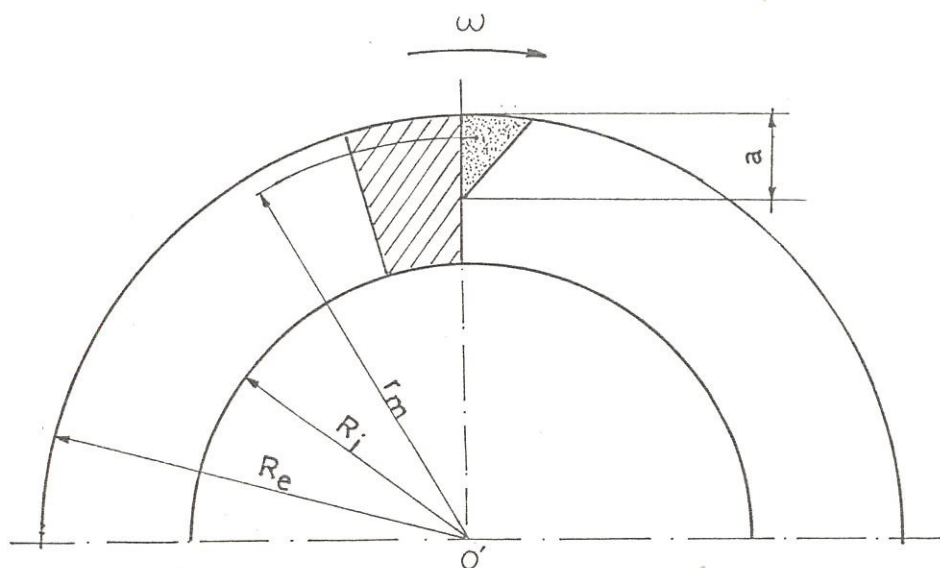


FIGURA 4.4 UBICACION DE LA GRANALLA EN LA RUEDA DE DISTRIBUCION.

Para empezar debemos conocer el valor del lado del triángulo, mediante la siguiente relación obtenida a partir del gráfico anterior:

$$a = (2m \times 10^{-6} / 8n \varnothing L) \quad (4.8)$$

Donde  $a$  = lado del triángulo, en mm.

$m$  = flujo del abrasivo, en kg/min.

$\rho$  = densidad (7,3 g/cc. para el acero)

$L$  = longitud de la abertura, en mm.

$n$  = velocidad angular, en rpm.

El radio del momento del centro de gravedad del triángulo es:

$$r_m = R_e - a/3 \quad (4.9)$$

Donde  $R_e$  es el radio exterior del impulsor en mm.

Reemplazando los datos ya conocidos y sabiendo que el radio exterior de la rueda de distribución es 56 mm. tenemos que:

$$a = 4,64 \text{ mm.}$$

$$r_m = 54,45 \text{ mm.}$$

Considerando ahora una primera aproximación del movimiento como un todo, se puede aceptar que bajo el efecto de la fuerza centrífuga, debido al movimiento desde un radio de 54,45 mm. hasta un radio de 56 mm., existe una velocidad radial y circunferencial, que viene dado según la igualdad siguiente (ref # 5):

$$V_{ro} = [\omega^2 (R_e^2 - r_m^2) + V_{rm}^2]^{1/2} \quad (4.10)$$

$$V_{co} = R_e \omega \quad (4.11)$$



La velocidad total será la suma geométrica de la velocidad radial y la velocidad circunferencial

$$V_o = (V_{co}^2 + V_{ro}^2)^{1/2} \quad (4.12)$$

Y el ángulo entre  $V_{co}$  y  $V_o$  igual a:

$$\alpha_o = \text{arc tag } (V_{ro} / V_{co}) \quad (4.13)$$

Reemplazando valores tenemos los siguientes resultados:

$$V_{ro} = 5,41 \text{ m/seg.}$$

$$V_{co} = 20,44 \text{ m/seg.}$$

$$V_o = 21,14 \text{ m/seg}$$

$$\alpha_o = 14,82^\circ$$

Para hallar el punto donde la granalla se topa con la paleta, el chorro de granalla libre relativo a la rueda debe ser tomado muy en cuenta. La posición del centro de gravedad del lugar donde va la granalla se obtiene usando coordenadas polares. (fig. 4.6):

$$R_1 = [(V_{co} \cdot t)^2 + (R_e + V_{ro} \cdot t)^2]^{1/2} \quad (4.14)$$

$$\psi_1 = \text{arc tag } [V_{co} t / (R_e + V_{ro} \cdot t)] \quad (4.15)$$

Donde  $t$  es el tiempo de duración desde el comienzo del movimiento libre.

Como en el tiempo " t " la rueda girará según el ángulo "  $\omega t$  ", el movimiento angular del centro de gravedad relativo a la rueda se determina con el ángulo:

$$\psi'_1 = \psi_1 - \omega t \quad (4.16)$$

Ahora el punto de gravedad de un depósito de granalla gira hasta la siguiente posición, en un ángulo de  $= 45^\circ$  relativo a la rueda de distribución y luego trasladado a la paleta a una distancia radial  $R_1$ , en el punto 1. (fig. 4.5)

$$\psi'_1 = \text{arc tag} [20,44t / (0,056 + 5,41t)] - 365(180/\pi)t = 45^\circ$$

Resolviendo ecuación por tanteo tenemos que  $t = 0,0045$  segundos.

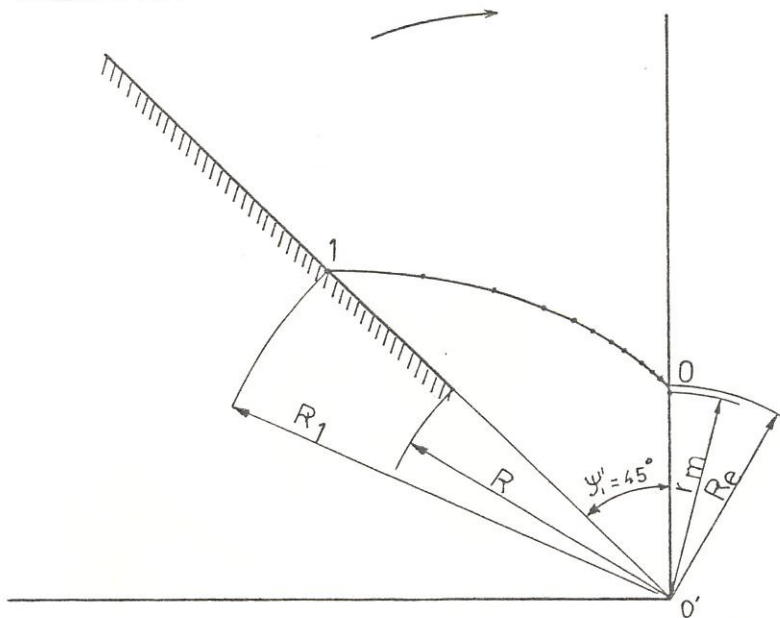


FIGURA 4.5 TRAYECTO DEL MOVIMIENTO LIBRE DE LA GRANALLA RELATIVO A LA RUEDA.

Reemplazando el valor de "t" tenemos:

$$R_1 = 0,122 \text{ m.}$$

$$\psi_1 = 48,86^\circ$$

Para hallar la velocidad radial en la paleta, utilizamos el método del paralelogramo. (fig. 4.6)

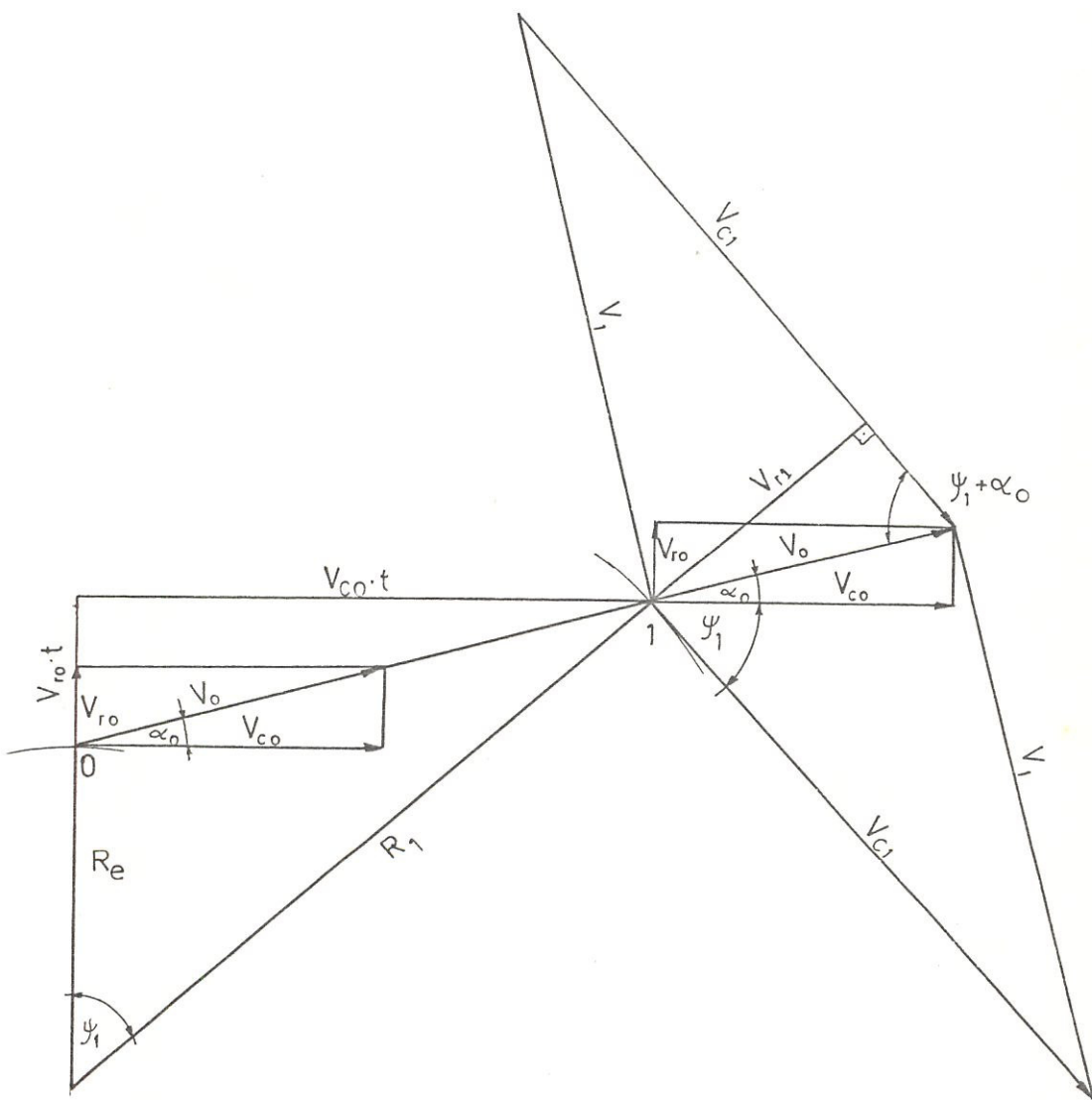


FIGURA 4.6 DIAGRAMA DE VELOCIDADES EN EL PUNTO DE UNION DE GRANALLA CON LA PALETA.

Del gráfico anterior se obtiene que la velocidad radial en el punto "1" es:

$$V_{r1} = V_o \sin(\psi_1 + \alpha_o) \quad (4.17)$$

Y la velocidad circunferencial de:

$$V_{c1} = \omega R_1 \quad (4.18)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$V_{c1} = 44,53 \text{ m/seg.}$$

$$V_{r1} = 18,95 \text{ m/seg.}$$

Finalmente pasamos a calcular la velocidad de salida, siendo la componente radial en el punto "2" de (ref. # 5 ):

$$V_{r2} = [\omega^2(R_2^2 - R_1^2) + V_{r1}^2]^{1/2} \quad (4.19)$$

Y la componente tangencial

$$V_{c2} = \omega R_2 \quad (4.20)$$

La velocidad absoluta de salida de la granalla es:

$$V_2 = [V_{r2}^2 + V_{c2}^2]^{1/2} \quad (4.21)$$

El ángulo entre la velocidad  $V_2$  y la circunferencial  $V_{c2}$  es:

$$\alpha_2 = \arctan (V_{r2} / V_{c2}) \quad (4.22)$$



Reemplazando valores tenemos:

$$V_{r2} = 50,96 \text{ m/seg.}$$

$$V_{c2} = 64,97 \text{ m/seg.}$$

$$V_2 = 82,57 \text{ m/seg.}$$

$$\alpha_2 = 38,10$$

Para hallar el punto de salida de la granalla, se debe encontrar el ángulo de giro, en el instante en que la granalla hace contacto con las paletas hasta el instante de la salida.

Para este caso el ángulo se lo calcula según la siguiente relación (ref. # 5):

$$\theta_2 = \ln [(V_{r2} + V_{c2}) / (V_{r1} + V_{c1})] \quad (4.23)$$

De igual manera, se debe hallar el ángulo de giro, desde que la granalla sale del centro de gravedad hasta que sale de la rueda de distribución, recorriendo la granalla una distancia de 1,55 mm.

$$\theta_0 = \ln [(V_{r0} + V_{c0}) / \omega R_m] \quad (4.24)$$

Reemplazando valores obtenemos que:

$$\theta_2 = 0,602 \text{ rad. } (34,5^\circ)$$

$$\theta_0 = 0,26 \text{ rad. } (15^\circ)$$

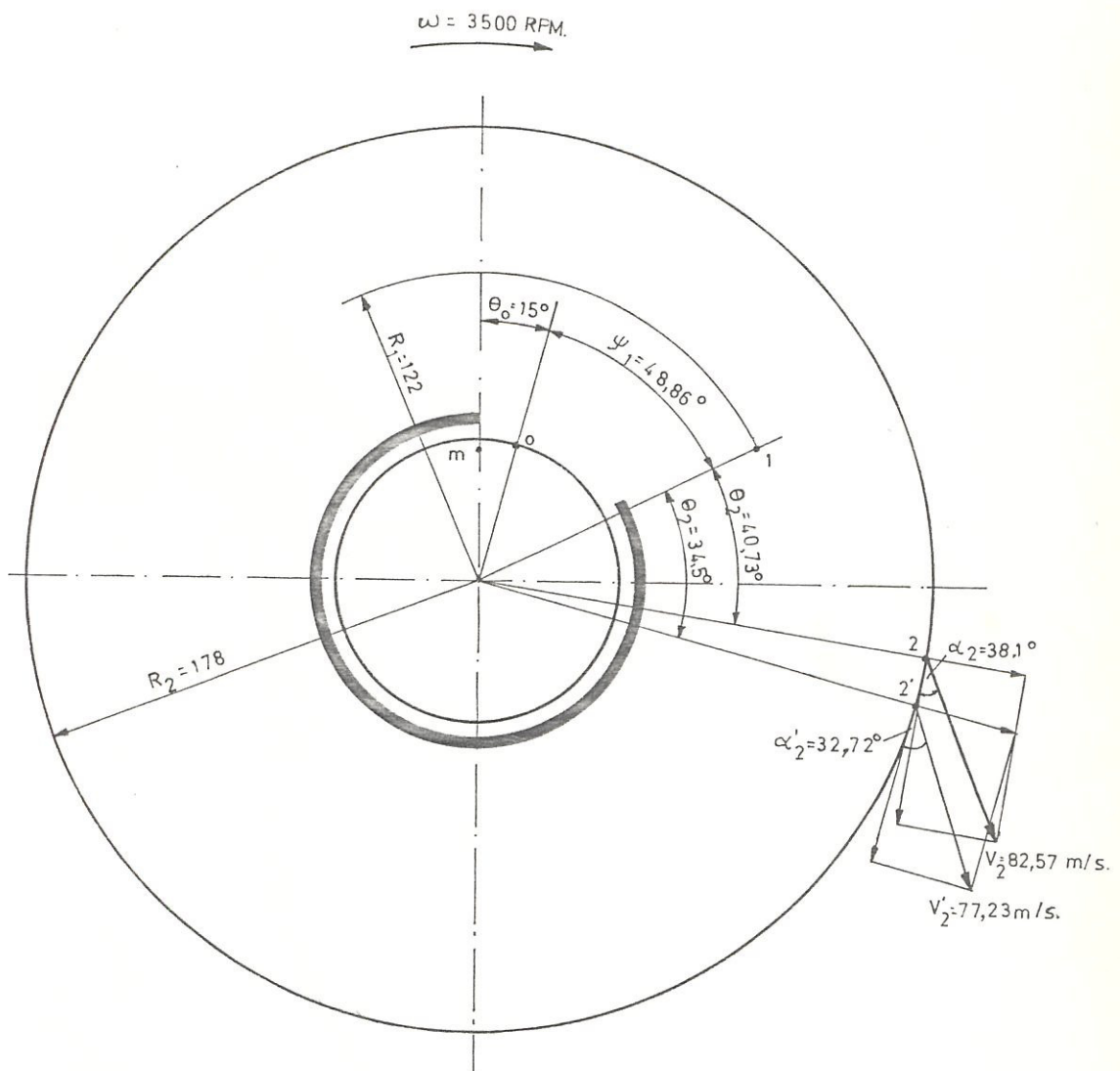


FIGURA 4.7 POSICION DE SALIDA DE LA GRANALLA Y SU RESPECTIVA VELOCIDAD, CONSIDERANDO SIN LOS EFECTOS DE FRICCION; Y CONDIDERANDO ROZAMIENTO EN LAS PALETAS.

En la figura 4.7 se observan ciertas medidas, siendo el punto "Ø" donde se ubica el centro de gravedad de la granalla, y que se ha desplazado a un ángulo de giro de  $15^{\circ}$ . En el tiempo en que ocurre el movimiento libre, osea desde el punto "Ø" hasta el punto "1" en que toca con las paletas, a una distancia de 122 mm., la rueda ha girado un ángulo de  $48,86^{\circ}$ . Luego de recorrer la granalla sobre la paleta hasta su salida, la rueda se ha desplazado a un ángulo de giro de  $34,5^{\circ}$ , siendo entonces el ángulo de salida de la granalla de la rueda la suma de los respectivos ángulos e igual a  $98,36^{\circ}$ .

En los cálculos anteriores, no se consideró los efectos de fricción, pero ahora nuevamente se desarrollarán los cálculos considerando el rozamiento, para esto la ecuación del movimiento de la granalla en la paleta en forma radial  $V_{r2}$  debe ser nuevamente formulada.

Sobre el centro de gravedad de la masa (granalla) en la paleta, actúan las siguientes fuerzas. (fig. 4.8)

La fuerza centrífuga =  $m\omega^2 x$

La fuerza normal =  $2m\omega dx/dt$ , siendo esta fuerza la que aprieta a la masa contra la paleta, y

La fuerza de rozamiento =  $2m\mu\omega dx/dt$

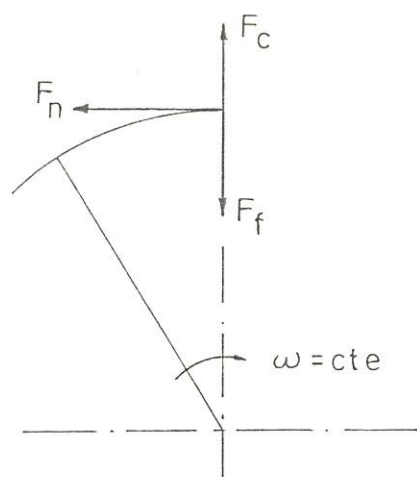


FIGURA 4.8 FUERZAS ACTUANTES EN LA PALETA.

Haciendo sumatoria de fuerzas en dirección radial tenemos que la ecuación resultante es:

$$m \omega^2 x - 2m\mu\omega dx/dt = m dV/dt$$

Resolviendo la ecuación anterior tenemos que la nueva ecuación del movimiento radial tiene ahora la forma de:

$$(\omega^2 x^2 - 2AVx - V^2)^{1/2} [(B\omega x + Ax + V)/(B\omega x - Ax - V)] \exp(\mu/2B) =$$

$$(\omega^2 x^2 - 2AV_{r1}R_1 - V_{r1}^2)^{1/2} [(B\omega R_1 + AR_1 + V_{r1})/(B\omega R_1 - AR_1 - V_{r1})] \exp(\mu/2B)$$

(4.25)

Donde  $A = \mu\omega$  y  $B = (\mu^2 + 1)^{1/2}$

Para hallar el valor de la velocidad  $V_{r2}$  primeramente obtenemos el valor de la parte derecha de la ecuación anterior, para esto reemplazamos los datos obtenidos



en el punto "1", donde  $R_1 = 0,122$  m;  $V_{r1} = 18,95$  m/seg. y sabiendo que el coeficiente de fricción entre el acero y la fundición es 0,33 siendo el resultado obtenido de 43,33.

Ahora la ecuación 4.25 toma la forma de:

$$(4221 - 43V_{r2} - V_{r2}^2)^{1/2} [(90 + V_{r2}) / (47 - V_{r2})] \exp(0,16) = 43,33$$

Resolviendo la ecuación por tanteo se obtiene que:

$$V_{r2} = 41,75 \text{ m/seg}$$

Comparando este resultado con el obtenido en los cálculos anteriores  $V_{r2} = 50,96$  m/seg., se observa que el rozamiento sobre las paletas disminuye la velocidad de salida de la granalla en:

$$(50,96 - 41,75) / 50,96 \times 100 = 18,07 \%$$

La velocidad absoluta de salida, reemplazando en la ecuación 4.22 es:

$$V'_2 = 77,23 \text{ m/seg.}$$

Y el ángulo entre la velocidad absoluta y la circunferencial, reemplazando en la ecuación 4.23 tenemos:

$$\alpha_2 = 32,72^\circ$$

El ángulo de giro desde donde hace contacto la

granalla con la paleta hasta la salida, deberá aumentar debido al efecto frenante del rozamiento, tomando como aumento del ángulo de giro, un porcentaje igual al que disminuye la velocidad  $V_{r2}$ , es decir 18,07 %; entonces el nuevo ángulo será:

$$\theta'_2 = 1,1807 \theta_2 \quad (4.26)$$

$$\theta'_2 = 40,73^\circ$$

Siendo entonces el ángulo que recorre la granalla, la suma de los ángulos de giro, dando como nuevo resultado el valor de  $104,59^\circ$ . La posición de salida de la granalla y respectiva velocidad están señalados en la figura 4.6.

#### 4.3 CALCULO DE LA ENERGIA DE IMPACTO

La energía de impacto de la granalla, no es otra que la energía cinética:

$$E_c = mV_2^2/2 \quad (4.27)$$

donde  $E_c$  = energía cinética, en N-m.

$m$  = masa de la granalla, en kg.

$V_2$  = velocidad de la granalla, en m/seg.

Para calcular la intensidad de impacto, debemos conocer el tamaño de la granalla, para piezas coladas de hierro fundido de pequeño y mediano tamaño, se recomienda el uso de la granalla S-390, siendo el

diámetro aproximado de 1 mm. y  $3,82 \times 10^{-6}$  kg. de peso.

Reemplazando en la ecuación 4.27, sabiendo que la velocidad de salida de la granalla es 77,23 m/seg. tenemos que la energía de impacto es:

$$E_c = 0,011 \text{ N-m (1,122 kg-mm.)}$$

Con este resultado pasamos a comprobar si la intensidad de impacto es la indicada, cotejando con lo que señala la tabla XII, nos dice que estamos en el rango sugerido.

#### 4.4 DISEÑO DEL EJE DE LA TURBINA

El eje deberá ser diseñado en base a las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones del eje deberán ser las apropiadas para permitir la instalación satisfactoria de todos los elementos que sobre este deberán ser montados (impulsor, rueda, rodamientos, polea), por lo que deberá ser escalonado.
- El eje debe ser capaz de soportar todas las cargas impuestas sobre él, esto es, las cargas torsionales debido a la transmisión de potencia; las cargas flexionantes, debido al peso de todos los elementos, y las cargas originadas por la tensión de las bandas.

- El eje debe ser dimensionado de tal forma que no quede muy cerca de la velocidad crítica.
- La rueda irá montada en voladizo sobre el eje, con ajuste cónico.
- El eje estará apoyado sobre dos rodamientos alojados en sus respectivos soportes.

Pasamos ahora a diseño del eje, presentando el procedimiento y cálculos realizados.

#### 4.4.1 ESTIMACION DE LAS CARGAS ACTUANTES SOBRE EL EJE

PESO DE LA RUEDA.- Con las dimensiones de la rueda, y siendo de hierro fundido, el peso puede estimarse en aproximadamente 30 kg.

TORQUE APLICADO SOBRE EL EJE.- Para estimar el torque actuante sobre el eje, es necesario conocer la potencia a ser transmitida sobre el mismo. En la tabla XI se observa que para una turbina de 356 mm. de diámetro, manejando un flujo de 110 kg/min. se debe disponer de un motor de por lo menos de 10 HP. (7,46 Kw), siendo este valor verificado cuando se presenten los cálculos pertinentes. Con la potencia de motor conocida, el torque puede ser calculado con la siguiente ecuación:



$$T = 1000 P / \omega \quad (4.28)$$

donde  $T$  = torque aplicado, en N-m.

$P$  = potencia, en Kw.

$\omega$  = velocidad angular, en rad/seg.

$$= 20,44 \text{ N-m (2.085,7 kg-mm)}$$

TENSION DE LAS BANDAS.- Para determinar la tensión de la bandas se utilizan las siguientes ecuaciones (ref # 7):

$$T_1 / T_2 = e^{f\alpha / \sin(1/2\theta)} \quad (4.29)$$

$$P = (T_1 - T_2) \omega R_{p2} \quad (4.30)$$

Donde

$P$  = Potencia, en vatios

$T_1$  = Tensión de la banda del lado tenso, en N.

$T_2$  = Tensión de la banda del lado flojo, en N.

$R_{p2}$  = Radio de la polea conductora, en metros

$f$  = coeficiente de fricción (0,3)

$\alpha$  = ángulo de abrasamiento, en radianes

$\theta$  = ángulo de contacto ( $40^\circ$  para banda en V).

Para conocer el radio de la polea y los respectivos ángulos primeramente encontramos la relación de velocidades:

$$i = N_1 / N_2 = D_{p2} / D_{p1} \quad (4.31)$$

donde

$N_1$  = revoluciones de la polea motriz, en rpm.

$N_2$  = revoluciones de la polea conducida, en rpm

$D_{P1}$  = dia. exterior de la polea motriz, en mm.

$D_{P2}$  = dia. exterior de la polea conducida, en mm

En nuestro caso se consiguió un motor de 10 HP, que gira a 1750 rpm, pero el requerimiento de velocidad en el eje es de 3500 rpm, por lo que la relación de velocidades es 0,5.

Luego si seleccionamos una polea conducida de 101,6 mm. entonces la polea motriz será de 203,2 mm.

Para hallar el ángulo de abrasamiento de una banda abierta de la polea conducida (fig. 4.9), se puede determinar por la siguiente relación:

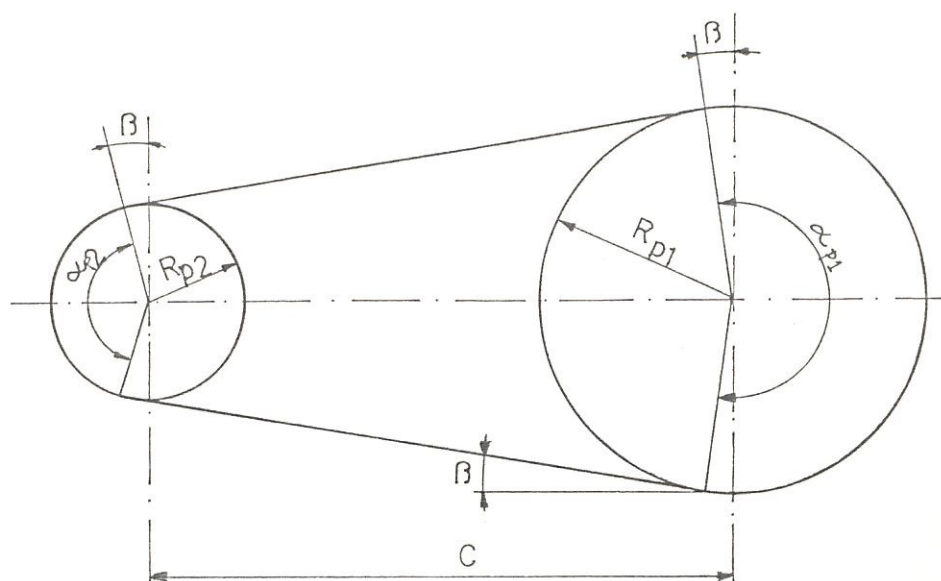
$$\alpha_{P2} = 180^\circ - 2\beta \quad (4.32)$$

$$\text{siendo } \beta = \arcsin [(D_{P1} - D_{P2})/2 C] \quad (4.33)$$

Reemplazando valores y sabiendo que la distancia entre centros es 650 mm., entonces:

$$\beta = 4,48^\circ$$

$$\alpha_{P2} = 176,52 \quad (3,06 \text{ rad})$$



polea conductora

polea motriz

FIGURA 4.9 REPRESENTACION EN QUE SE MUESTRA LOS  
ANGULOS ORIGINADOS POR LA BANDA

Reemplazando los resultados anteriores en las ecuaciones 4.29 y 4.30 y resolviendo el sistema de ecuaciones, tenemos:

$$T = 384,85 \text{ N (39,27 kg.)}$$

$$T = 26,28 \text{ N (2,68 kg.)}$$

Con las tensiones de la banda y el peso de la polea, pasamos a encontrar las reacciones. En la figura 4.10 se muestra las fuerzas que actúan en la polea conducida, siendo el peso del mismo 1,89 kg.

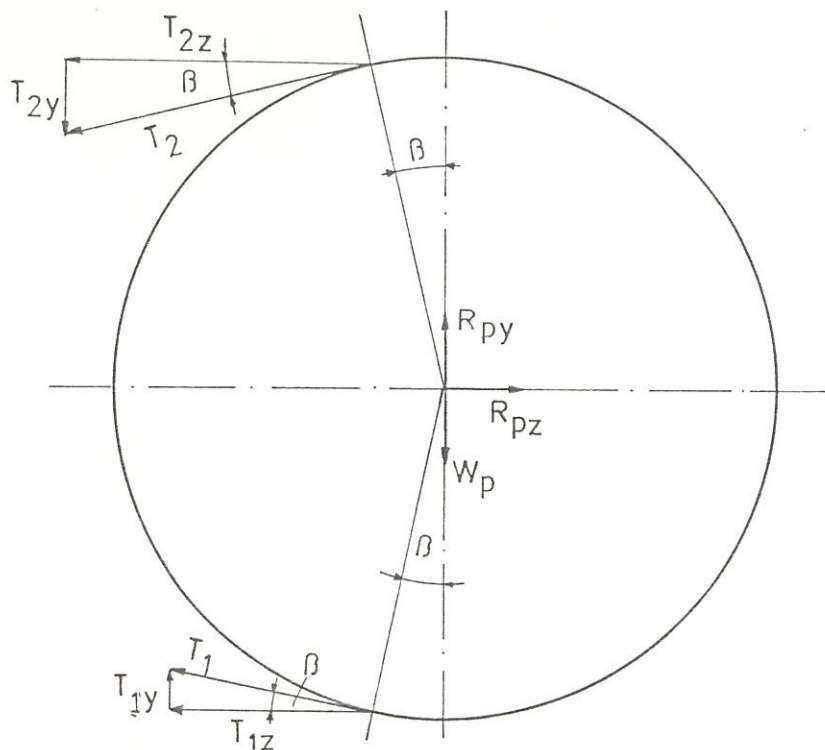


FIGURA 4.10 DIAGRAMA DE FUERZAS QUE ACTUAN EN LA POLEA CONDUCTIDA

Haciendo sumatoria de fuerzas en dirección "y"

$$\Sigma F_y = R_{py} + T_2 \sin \beta - T_1 \sin \beta - W_p = 0 \quad (4.34)$$

Y lo propio hacemos en la dirección "z"

$$\Sigma F_z = R_{pz} - T_1 \cos \beta - T_2 \cos \beta = 0 \quad (4.35)$$

Despejando y reemplazando valores tenemos:

$$R_{py} = -1 \text{ kg.}$$

$$R_{pz} = 42 \text{ kg.}$$



#### 4.4.2 DETERMINACION DEL DIAMETRO MINIMO DEL EJE.

Con las cargas actuantes establecidas, la longitud dada del eje, definidos los puntos de aplicación de las diferentes cargas y la distancia entre apoyos, pasamos al diseño del eje.

Antes de realizar los cálculos del eje tenemos que hacer las siguientes consideraciones:

- Que el peso del eje es despreciable;
- Como los cojinetes son autoalineantes, se admite que dicho eje es una viga simplemente apoyada;
- Que las cargas y reacciones en los cojinetes son fuerzas concentradas, y
- Se considera que el esfuerzo normal por flexión y la torsión gobiernan el diseño.

En la figura 4.11 se grafican las fuerzas que actúan sobre el eje, a continuación se encontrarán las reacciones en los apoyos, primeramente tomando el momento con respecto al punto C, en dirección del eje de las "y" dando como resultado siguiente:

$$R_B^y = - 23,15 \text{ kg.}$$

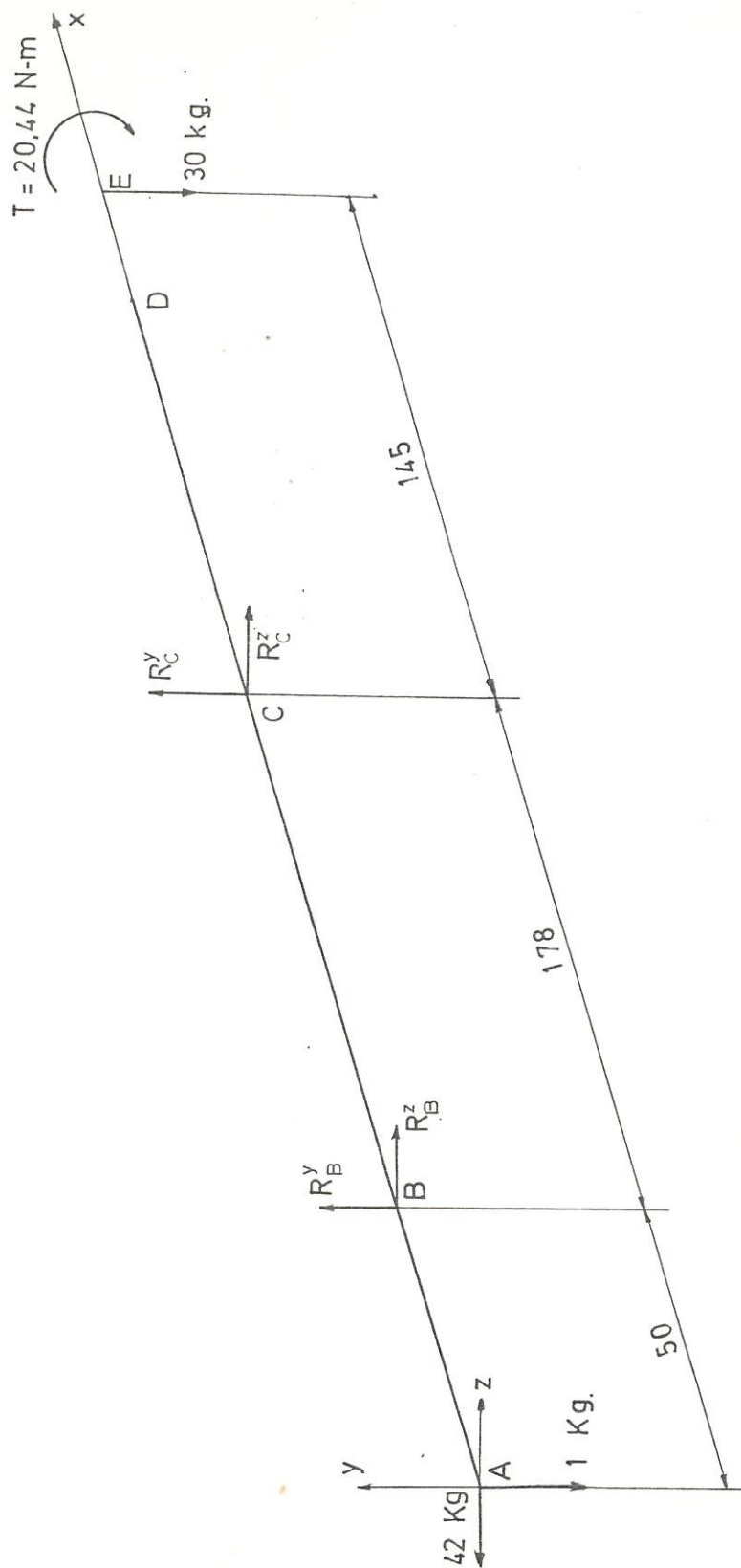


FIGURA 4.11 DIAGRAMA DE FUERZAS QUE ACTUAN EN EL EJE

Haciendo sumatoria de fuerzas en "y" se tiene:

$$R_C^y = 54,15 \text{ kg.}$$

Igualmente se hace lo mismo en la dirección "z" donde:

$$R_B^z = 65,6 \text{ kg.}$$

$$R_C^z = -23,6 \text{ kg.}$$

En la figura 4.12 y 4.13 se muestran el diagrama de fuerzas cortantes y momento flector tanto en el plano "xy", como en el plano "xz", en donde se observa que el momento máximo ocurre en el punto C, cuyo valor es de 4.350 kg-mm.

Para hallar el diámetro mínimo del eje, aplicamos la fórmula del enfoque de Soderberg (ref. #15):

$$d = [32 n/\pi [(T/S_y)^2 + (M/S_e^2)]^{1/2}]^{1/3} \quad (4.36)$$

donde d = diámetro del eje, en mm.

n = factor de seguridad

T = Momento de torsión, en kg-mm.

M = Momento de flexión. en kg-mm.

$S_y$  = Resistencia a la fluencia, en kg/mm<sup>2</sup>.

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga, en kg/mm<sup>2</sup>.

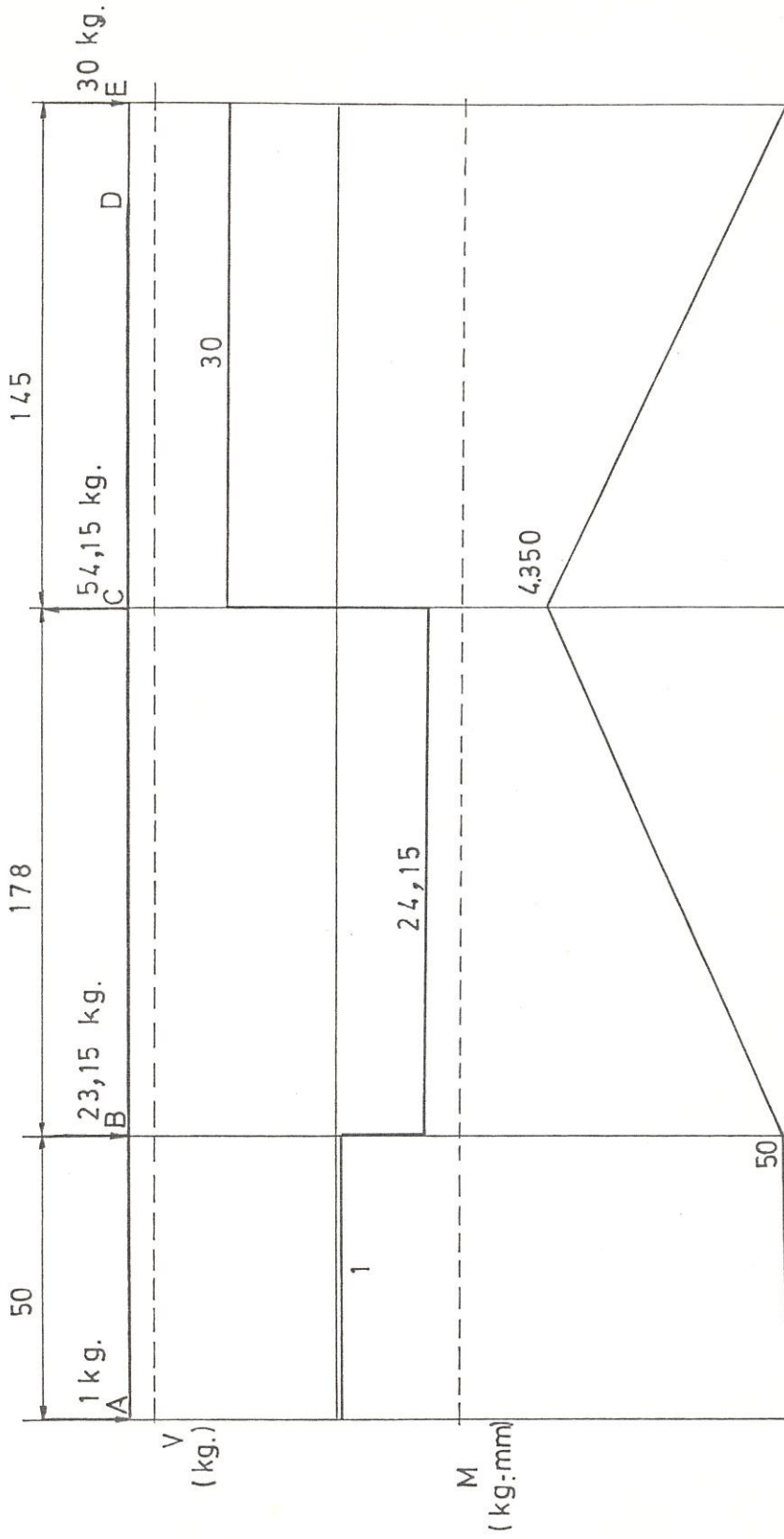


FIGURA 4.12 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES Y MOMENTO FLECTOR EN EL PLANO "xy"



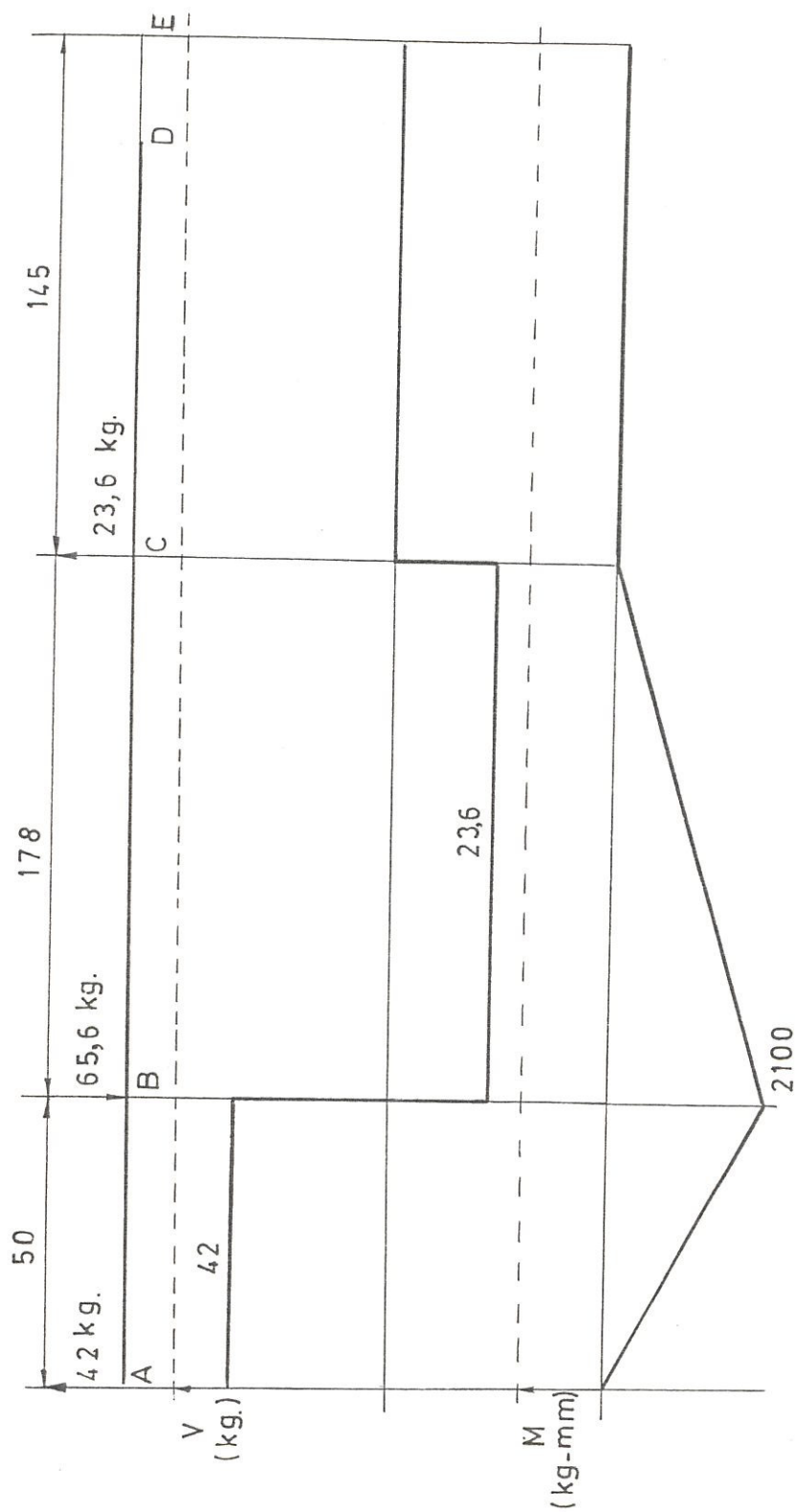


FIGURA 4.13 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES Y MOMENTO. FLECTOR EN EL PLANO "xz"

Para hallar el valor de la resistencia a la fatiga empleamos la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (4.37)$$

donde  $S'_e$  = límite de resistencia a la fatiga de la viga rotatoria.

$k_a$  = factor de superficie

$k_b$  = factor de tamaño

$k_c$  = factor de confiabilidad

$k_d$  = factor de temperatura

$k_e$  = factor de modificación por concentración de esfuerzos

$k_f$  = factor de efectos diversos

El material del eje que se utiliza es acero de transmisión (SAE 1018), calidad U st-37-2k+SH, que es un acero sin calmar, laminado en frío y descortezado, con una resistencia a la tensión de 37 kg/mm<sup>2</sup>.

Del apéndice, se obtiene que el factor de superficie es 0,85 (fig 1); el factor de tamaño es 0,85 (tabla 1); el factor de confiabilidad 0,52 (tabla 2); los efectos de concentración de esfuerzos no serán necesarios tomarlos en cuenta, debido a que el material es dúctil; el valor de los efectos diversos tomaremos en 0,8.

El valor del límite de la resistencia a la fatiga de la viga rotatoria es:

$$S_e' = 0,5 S_{ut}$$

Siendo la ecuación anterior utilizada cuando la resistencia última ( $S_{ut}$ ) es menor o igual a 140 kg/mm<sup>2</sup>.

Entonces reemplazando valores tenemos que la resistencia a la fatiga será:

$$S_e = 5,56 \text{ kg/mm}^2.$$

Con estos datos y sabiendo que la resistencia a la fluencia es 0,6 - 0.7 veces la resistencia última, entonces el diámetro del eje es:

$$d = 31,78 \text{ mm.}$$

El diámetro anterior será considerado, por el momento como el diámetro mínimo a ser observado en el eje. En la figura 4.14 se muestra una representación del que podría ser considerado el eje de nuestra turbina, en caso de que las recomendaciones relacionadas con la velocidad crítica sean observadas satisfactoriamente.





#### 4.4.3 DETERMINACION DE LA VELOCIDAD CRITICA

Todo eje, se deforma durante la rotación; la magnitud de la deformación depende de la rigidez del eje y sus soportes, de la masa del eje y de las partes que se le adicionan, del equilibrio de la masa con respecto al eje de rotación y del amortiguamiento presente en el sistema.

La deformación es considerada como una función de la velocidad, presenta sus valores máximos, en las llamadas velocidades críticas, pero la primera y ocasionalmente la segunda son importantes.

Para nuestro eje con varias masas concentradas unidas a él, la primera velocidad crítica según la ecuación de Rayleigh-Ritz (ref. # 7 ) es:

$$\omega_c = \left[ g \sum_1^J W_n d_n / \sum_1^J W_n d_n^2 \right] \quad (4.38)$$

donde

$\omega_c$  = primera velocidad crítica, en rad/seg.

$W_n$  = peso de la carga n-ésima, en kg.

$\int_n$  = deformación estática n-ésima, en mm.

$J$  = número total de cargas.

La determinación de la deformación se lo hará por el método del área de momentos.

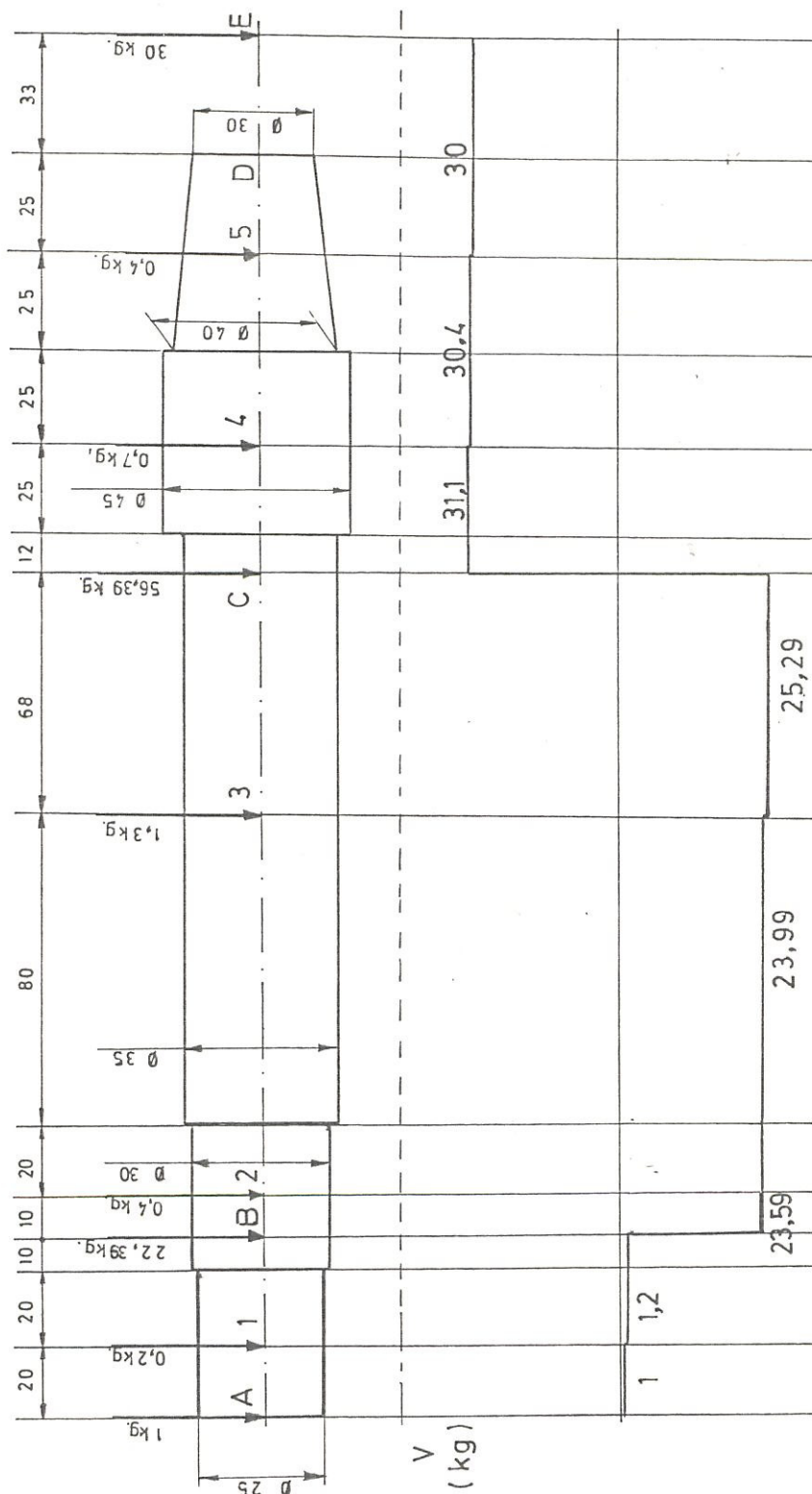


FIGURA 4.15 DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES

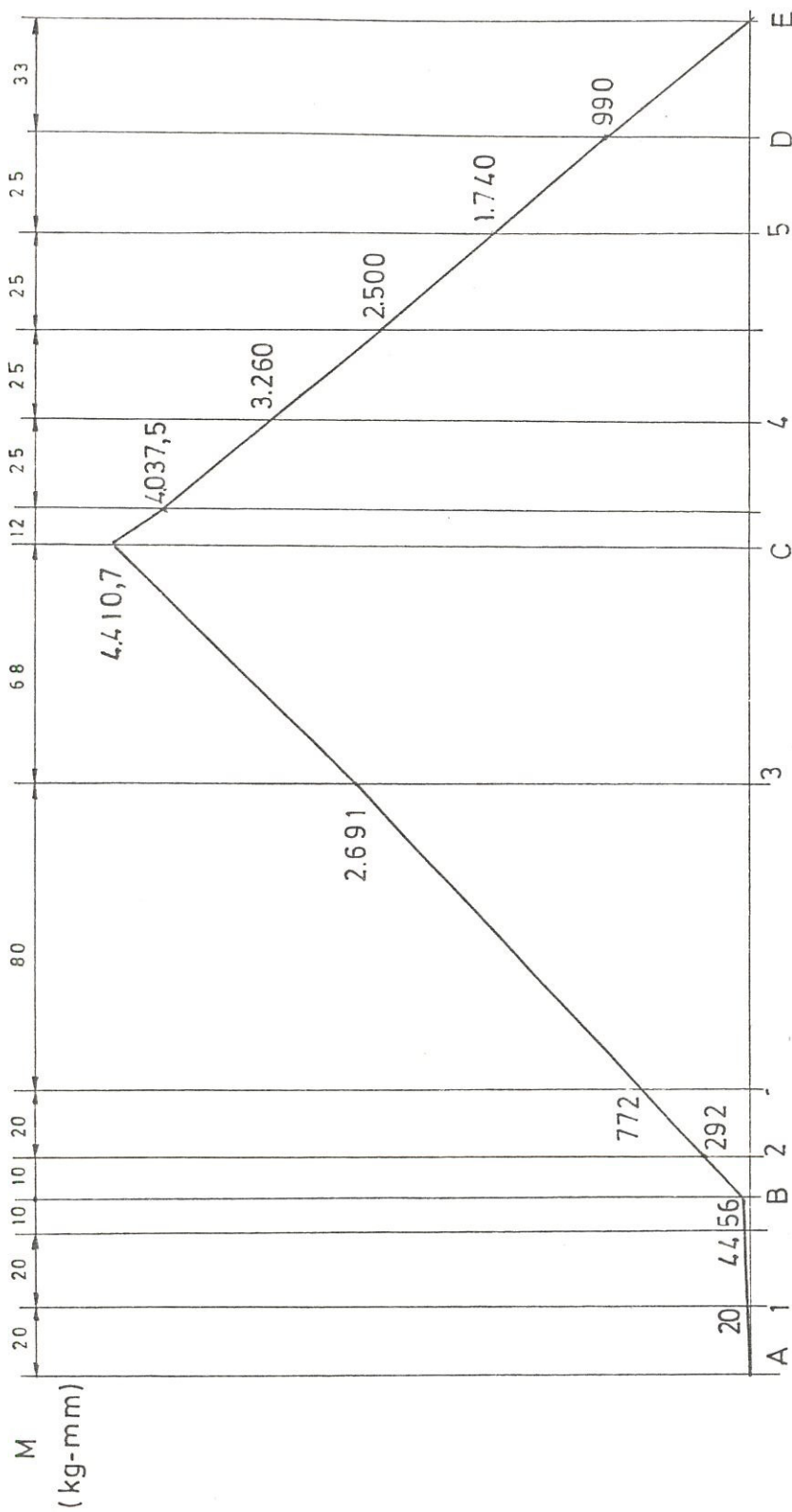


FIGURA 4.16 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR

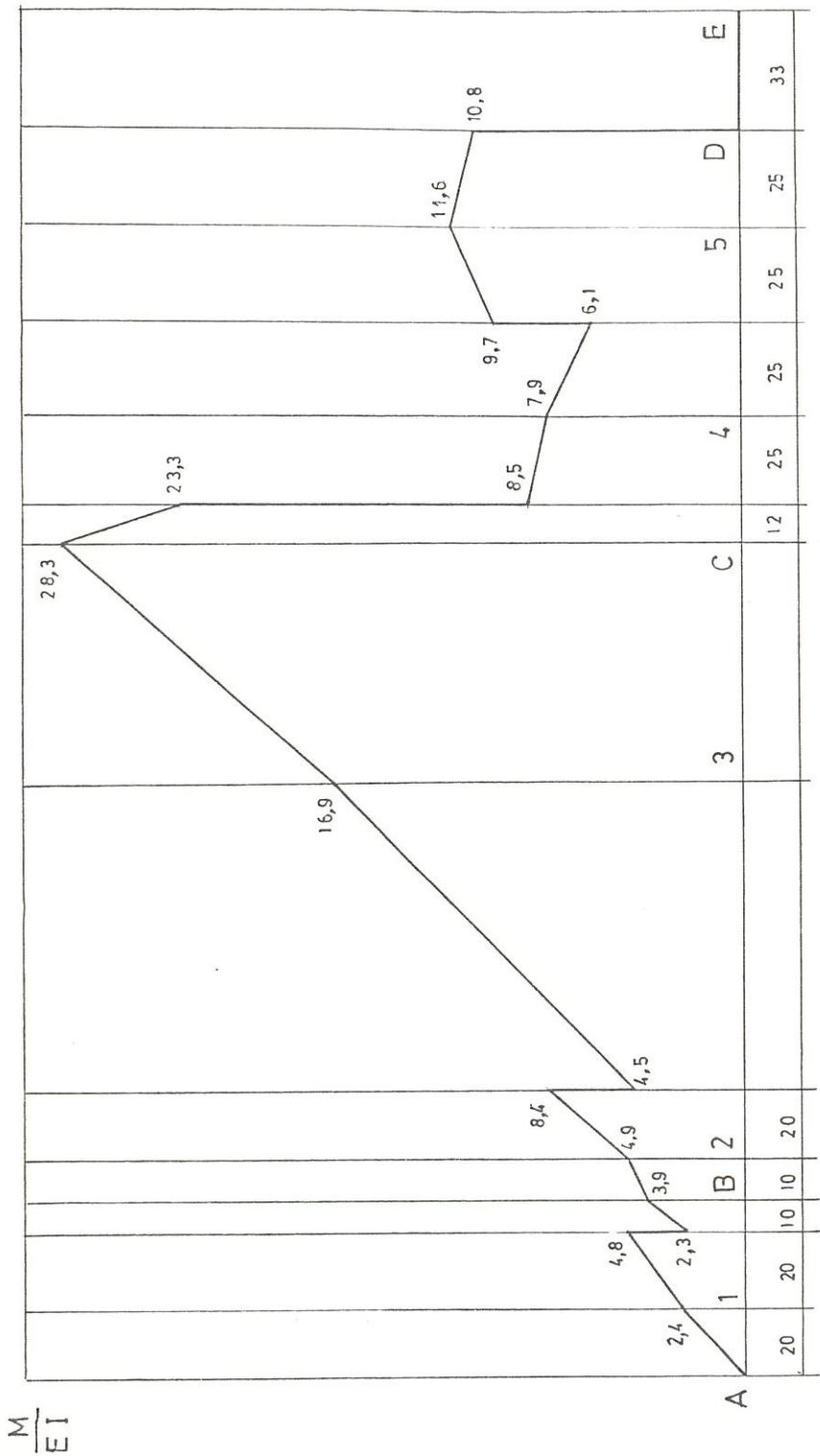


FIGURA 4.17 DIAGRAMA M/EI PARA EL CALCULO DE LA ELASTICA



En la figura 4.15, 4.16 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes, momento flector y, en la figura 4.17 el diagrama  $M/EI$  para el cálculo de la elástica, sabiendo que el material es acero con  $E = 21 \times 10^3 \text{ kg/mm.}$  y el momento de inercia para secciones circulares es  $I = \pi D^2/64.$

Después de hacer los cálculos pertinentes, tenemos los siguientes resultados:

$$\delta_A = 0,006 \text{ mm.}$$

$$\delta_1 = 0,003 \text{ mm.}$$

$$\delta_2 = 0,001 \text{ mm.}$$

$$\delta_3 = 0,004 \text{ mm.}$$

$$\delta_4 = 0,006 \text{ mm.}$$

$$\delta_5 = 0,016 \text{ mm.}$$

$$\delta_E = 0,032 \text{ mm.}$$

Reemplazando en la ecuación 4.38 tenemos:

$$\omega_c = 563 \text{ rad/seg.}$$

Por lo que este valor esta lo bastaste lejano a la velocidad de rotación del eje que es de 365 rad/seg. Por lo tanto, las dimensiones del eje de la figura 4.14 son satisfactorios y habiendo cumplido con todos los requerimientos de diseño, se constituirá entonces en el eje de nuestra turbina.

#### 4.5 CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR REQUERIDO

Para el cálculo de la potencia utilizaremos la ecuación 4.28, siendo el torque originado por la fuerza normal, que es la que actúa perpendicular a la paleta y tiene el valor de:

$$T = 2 m \omega V_{rn} R_n \quad (4.39)$$

donde  $T$  = torque, en N-m.

$m$  = masa, en kg.

$V_{rn}$  = velocidad de la granalla en el punto  $n$

$r_n$  = distancia radial hasta el punto  $n$

siendo el punto  $n$ , el lugar donde se encuentra concentrada la fuerza normal. Teniendose que la carga concentrada está ubicada aproximadamente a 0,152 metros y calculando la velocidad de la granalla en este punto mediante la ecuación 4.25 tenemos que este valor es 33 m/seg. por lo tanto el torque es:

$$T = 18,4 \text{ N-m.}$$

Y la potencia consumida por el sistema (ec. 4.28):

$$P = 6,7 \text{ kw. (9,0 HP)}$$

Esto nos indica que los requerimientos de potencia señalados en la tabla XI son tomados como correctos, empleándose para esto un motor de 10 HP (7,46 Kw).

## CAPITULO V

### SELECCION DE PARTES Y MATERIALES

#### 5.1 SELECCION DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION

La selección de materiales para este tipo de componente, debe ser tal que reúna la principal condición de resistir el desgaste abrasivo a la que están expuestas la mayoría de sus partes.

El desgaste abrasivo ocurre cuando las partículas duras se deslizan o ruedan bajo presión a través de una superficie, o cuando una superficie dura se frota contra otra.

Al hablar de desgaste de materiales, nos dirigimos a las consecuencias que éste pueda originar, tales como producción reducida, baja calidad en el material procesado, disminución en la vida útil del

componente, costos elevados de mantenimiento y, a menudo, costos todavía más altos por paros de operación.

La experiencia demuestra que el desgaste se combate de la manera más sencilla y efectiva, al escoger el material más adecuado. En la figura 5.1 se muestra algunos materiales utilizados para resistencia al desgaste, con las respectivas pérdidas de volumen.

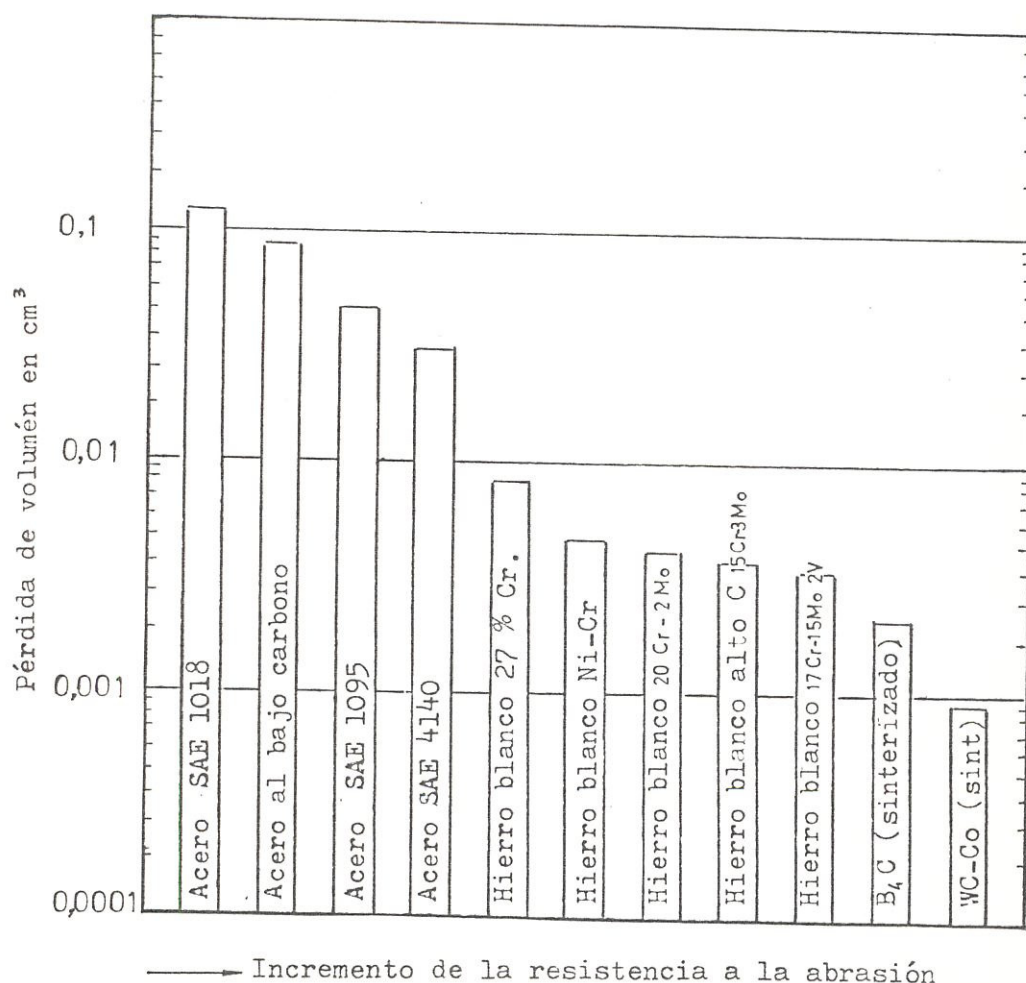


FIGURA 5.1 MOSTRANDO LAS PERDIDAS DE VOLUMEN DE ALGUNOS MATERIALES RESISTENTES AL DESGASTE.



La dureza del material es una de las más importantes características a considerar, en la selección de materiales resistentes al desgaste abrasivo, ya que existe una correlación lineal entre desgaste y dureza.

En la mayoría de las aplicaciones donde las cargas de impacto no son severas y donde la vida del material depende de su capacidad de resistir el movimiento de un medio abrasivo contra la superficie del metal, los hierros blancos son especialmente calificados.

La mayor parte de los hierros blancos designados para aplicaciones de resistencia a la abrasión caen dentro de la categoría de los hierros blancos aleados, siendo éstos una clase de material que ofrece consideraciones de versatilidad en propiedades, debido a su predominio de carburos en su microestructura, proveyendo con esto alta dureza. El soportamiento de la estructura de la matriz puede ser ajustada por el contenido de elementos aleantes y por el tratamiento térmico, llegandose a emplear el de menor costo efectivo, balanceado entre la resistencia a la abrasión y la tenacidad requerida.

En algunos casos, el hierro blanco sin alear son comunmente utilizados y proveen satisfactorio servicio.

### 5.1.1 SELECCION DEL MATERIAL PARA LA PALETA

Para seleccionar el material para la paleta, ésta debe reunir algunos requisitos, como: facilidad de fabricación, buen acabado, resistir elevado desgaste abrasivo, tener una vida útil razonable y bajo costo.

Para la selección apropiada del material, es importante conocer la dureza del abrasivo que va a manejar, ya que si escogemos un material más suave que el abrasivo, nos dará un desgaste muy elevado. La mayoría de los abrasivos (granallas de acero) a ser utilizados están en el rango de 40 a 50 RC.

El material más indicado que reúne estas características es el hierro blanco aleado conocido como Ni-Hard, clase I, del tipo D (Ni-alto Cr.), según la especificación ASTM A532, siendo su composición química :

Carbono	2,5 - 3,6 %
Silicio	1,0 - 2,2 %
Níquel	5,0 - 7,0 %
Cromo	7,0 - 11 %
Manganeso	1,3 % max.
Molibdeno	1,0 % max.

Este material fundido en arena alcanza una dureza de 54 RC (550 NDB), debido a su carácter martensítico. Cuando la resistencia a la abrasión es necesaria, el contenido de carbono está en el rango de 3,0 a 3,6 %, cantidad necesaria para suprimir la transformación de la austenita en perlita y asegurando una estructura final a martensita con algo de austenita retenida. La cantidad de níquel requerido depende sobre la velocidad de enfriamiento y/o espesor de la pieza. En secciones de hasta 50 mm. el contenido de 5,0 a 6,0 % deberá ser suficiente para suprimir la transformación a perlita. El cromo asegura que el hierro solidifique con exceso de carbón en forma de carburos estables (carburos de cromo) de elevada dureza y, para contrarestar el efecto grafitizante del níquel.

En hierro blanco Ni-alto Cr es susceptible a ser tratado termicamente, para convertir una porción substancial de la austenita retenida a martensita, obteniéndose mayor resistencia al desgaste abrasivo. El tratamiento térmico recomendado consiste en calentar a 750° C durante 8 horas, seguido de enfriamiento al aire, resultando la dureza entre 60 a 67 RC.

### 5.1.2 SELECCION DEL MATERIAL PARA EL DISCO

El material para del disco, debe reunir la condición de que sea maquinable y tener una razonable resistencia a la abrasión, por lo que para éste componente se ha seleccionado fundición de hierro gris, con posterior tratamiento térmico.

La fundición que se emplea es el hierro gris grado ASTM 35 (según la especificación A 48) cuya dureza alcanza escasos 16 RC (212 NDB) y con la siguiente composición química:

Carbono	3,2 - 3,4 %
Silicio	2,0 - 2,4 %
Fósforo	0,15 % max.
Azufre	0,12 % max.

Este hierro puede ser templado y revenido como el acero. Por lo general, el hierro gris se endurece al calentarlo a una temperatura de 860° C y enfriándolo en aceite, acompañado por un revenido a 370° C, obteniéndose cierta tenacidad y suficiente dureza llegando a unos 50 RC, debido a que su estructura se convierte en grafito embutido en una matriz martensítica. Este tratamiento es realizado una vez maquinado el disco.



### 5.1.3 SELECCION DEL MATERIAL PARA LA CAPSULA DE CONTROL Y RUEDA DE DISTRIBUCION

El material a ser usado en estos componentes debe ser tal que resistan un severo desgaste, al igual que las paletas, por lo que la selección del hierro blanco aleado Ni-alto Cr es el indicado; pero en vista de lo complicado de la forma de estos elementos, tienen que ser fabricados con el proceso de moldeo en cáscara (moldeo Shell), lo cual no es factible hacerlo en el laboratorio de fundición de la ESPOL, debido a que todavía no esta puesto a punto.

En vista de lo anterior se ha escogido la fundición de hierro gris templado, tal como se lo hizo para el disco. Con la única diferencia que el material es revenido de 150 a 250° C, debido a que no existen requerimientos de tenacidad, dando una dureza de 55 a 60 RC. Llegándose a obtener iguales características que el hierro blanco sin alear.

### 5.1.4 SELECCION DEL MATERIAL PARA EL BLINDAJE

El blindaje debe resistir desgaste, debido al constante golpeteo de los abrasivos. Para este elemento el hierro blanco aleado Ni-alto Cr conviene para estos propósitos.

#### 5.1.5 SELECCION DEL MATERIAL PARA EL CONDUCTO DE ALIMENTACION Y EL SOPORTE DE RODAMIENTOS

El material para el conducto de alimentación y el soporte de rodamientos deben ser de fácil construcción por lo que el hierro gris grado ASTM 35 (35.000 lb/pul.) es el indicado, siendo además que posee excelente resistencia compresiva y un costo bastante bajo.

#### 5.1.6 SELECCION DEL MATERIAL PARA LA CARCAZA

La carcaza puede ser fabricado en fundición de hierro gris, ya que no necesita ser resistente al desgaste, debido a que esta protegido por el blindaje. El hierro gris que se emplea es del grado ASTM 35.

## 5.2 SELECCION DE PARTES NORMALIZADAS

### 5.2.1 SELECCION DE BANDAS Y POLEAS

Para la selección de las bandas y poleas apropiadas, se deben seguir los pasos sugeridos por el fabricante, primeramente se debe determinar el caballaje de diseño, siendo éste igual a:

$$P_d = P \times f_d \quad (5.1)$$

Donde  $P$  es la potencia del motor y  $f_d$  el factor de servicio. Del apéndice, Tabla 3, encontramos que  $f_d = 1,2$  y reemplazando en la ecuación anterior tenemos:

$$P_d = 12 \text{ HP.}$$

Con este valor y el número de revoluciones del eje conducido (3.500 rpm), teniendo en cuenta que la banda es del tipo V, pasamos a seleccionar la sección de la banda. De la figura 2 del apéndice tenemos que se debe utilizar una banda de sección A.

Como paso siguiente, se debe consultar el diámetro normalizado recomendado. En la Tabla 4 del apéndice, se tiene que para una banda de sección A, el diámetro es 95 mm.

Para determinar cuántas bandas vamos a necesitar, se consulta la Tabla 5 del apéndice, teniendo una polea de 101,6 mm. y las rpm. encontramos que la potencia a transmitir por banda es 3,74, entonces se necesitarán:

$$12/3,74 = 3,21 \text{ bandas}$$

Adoptándose para ello 4 bandas.

La longitud de la banda se la calcula mediante la siguiente relación:

$$L = 2C + 1,57(D+d) + (D-d)^2 / 4C \quad (5,2)$$

Donde

L = longitud teórica de la banda, en mm.

C = distancia entre centros, en mm.

D = diámetro exterior de la polea más grande,  
en mm.

d = diámetro exterior de la polea más pequeña,  
en mm.

Siendo D= 203,2 mm.; d = 101,3 mm. y C = 650 mm., entonces la longitud de la banda será:

$$L = 1.782,51 \text{ mm.}$$

Con este valor y en la Tabla 6 del apéndice, seleccionamos una banda A 69, cuya longitud es de 1.805,94 mm.



A continuación calculamos la distancia efectiva entre centros:

$$C' = C + (L' - L) / 2 \quad (5.3)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$C' = 661,72 \text{ mm.}$$

Para verificar la tensión de la banda, recurrimos a la sugerencia del fabricante, que indica que la correa debe tener una deflexión de 1,6 mm. por cada 100 mm. de la distancia de arco. Siendo esta longitud:

$$L_{\text{arc}} = [C^2 - (D - d)^2 / 4]^{1/2} \quad (5.4)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$L_{\text{arc}} = 648,01 \text{ mm.}$$

Entonces la deflexión que debe tener la banda es del orden de 10,4 mm.

Como último requisito sugerido por el fabricante es que la velocidad lineal de la banda no debe sobrepasar el valor de 30 m/seg, en nuestro caso tenemos:

$$V = D \times N / 19.100 \quad (5.5)$$

Siendo el resultado de 18,6 m/seg.

### 5.5.2 SELECCION DE RODAMIENTOS

La selección de rodamientos se lo hará según el catálogo general de la SKF y siguiendo la nomenclatura en éste utilizado. La primera información que se debe obtener es la relativa a la aplicación y los detalles de funcionamiento. El fabricante recomienda una duración de 20.000 a 30.000 horas para máquinas de la industria mecánica, trabajando 8 horas diarias.

Para el cálculo de fuerzas efectivas, se debe tomar en cuenta el efecto dinámico de la vibración de la correa y la fuerza adicional necesaria para mantener la tensión adecuada en la banda; siendo entonces necesario emplear un factor  $f_k$  donde las fuerzas efectivas está dado por:

$$F_e = f_k R_{pz} \quad (5.6)$$

Donde el valor de  $f_k$  recomendado es 2, por lo que el valor es:

$$F_e = 84 \text{ kg.}$$

Con este nuevo valor calculamos las reacciones en los apoyos en el plano xz (fig.4.11), dando como resultado:

$$R_B^Z = 107,6 \text{ kg.}$$

$$R_C^Z = -23,6 \text{ kg.}$$

Ahora hallamos la resultante de las fuerza en los apoyos siendo:

$$R_B = 110,1 \text{ kg.}$$

$$R_C = 59,1 \text{ kg.}$$

A continuación calculamos la capacidad básica dinámica según la siguiente relación:

$$C = F L_{10}^a \quad (5.7)$$

Donde

C = capacidad básica dinámico, en Newtons.

F = fuerza radial en el rodamiento, en Newtons.

a = factor de forma (3 para cojinetes de bolas  
y 10/3 para cojinetes de rodillos)

$L_{10}$  = vida nominal, en millones de revoluciones.

Siendo el valor de la vida nominal de :

$$L_{10} = \text{Duración en hora} \times N \times 60 \times 10^{-6} \quad (5.8)$$

Reemplazando tenemos:

$$L_{10} = 6.300 \text{ millones de revoluciones.}$$

Reemplazando en la ecuación 5.7 y sabiendo que se utilizará rodamiento de bolas tenemos:

$$C = 18,47 \text{ F}$$

Por lo tanto la capacidad básica dinámica en el punto B será:

$$C = 1.516,62 \text{ kg. (14.878 N)}$$

Con este resultado y escogiendo un rodamiento rígido de bolas, sabiendo además que el diámetro del eje es 35 mm. seleccionamos del manual el rodamiento 6307.

En tanto en el punto C tenemos que la capacidad básica dinámica es:

$$C = 815,6 \text{ kg (7.993 N)}$$

Para este punto escogemos un rodamiento de bolas a rótula, que tiene la propiedad de ser autoalineante, lo que permite pequeñas desviaciones angulares del eje con respecto al soporte, es por lo tanto, especialmente adecuado para aplicaciones en las cuales se pueden producir desalineaciones por errores de montaje y flexión del eje.

Teniendo en este punto del eje 30 mm. de diámetro y con el resultado anterior, del manual seleccionamos el rodamiento 2306.



## CAPITULO VI

### PROCESO DE CONSTRUCCION

El primer paso para la construcción de las partes fundidas son los modelos de madera, los cuales fueron elaborados en laurel, que tiene la característica de no ser muy poroso. Para la confección del modelo de madera hay que considerar el sobredimensionamiento, y el ángulo de salida, ya que se debe tener presente la contracción volumétrica que sufre el metal al enfriarse, y lo segundo para que el modelo salga con facilidad del molde de arena.

En la figura 6.1 y 6.2 se observa los modelos de madera tanto de las paletas como parte de la carcasa. Estos modelos son finalmente pintados con laca, para cubrir cualquier sitio donde la arena pueda llegar, evitando con esto que los filos del modelo se dañen y que entre humedad al mismo.

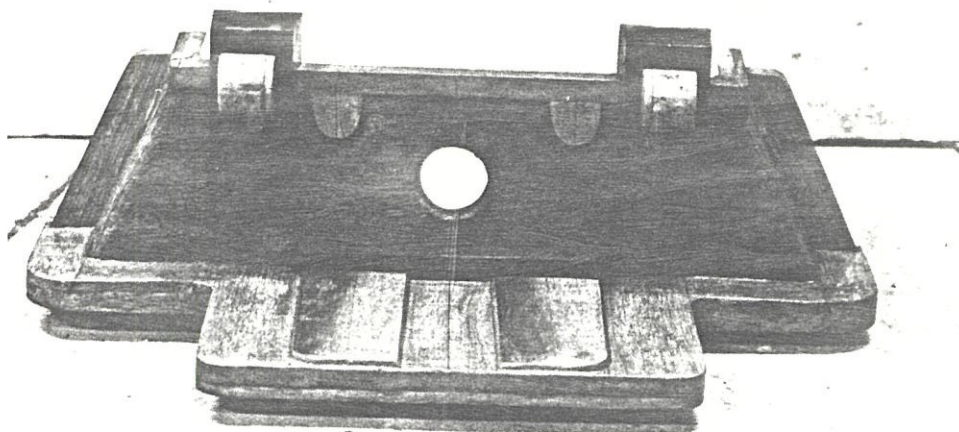


FIGURA 6.1 MODELO DE MADERA DE LA CARCAZA.

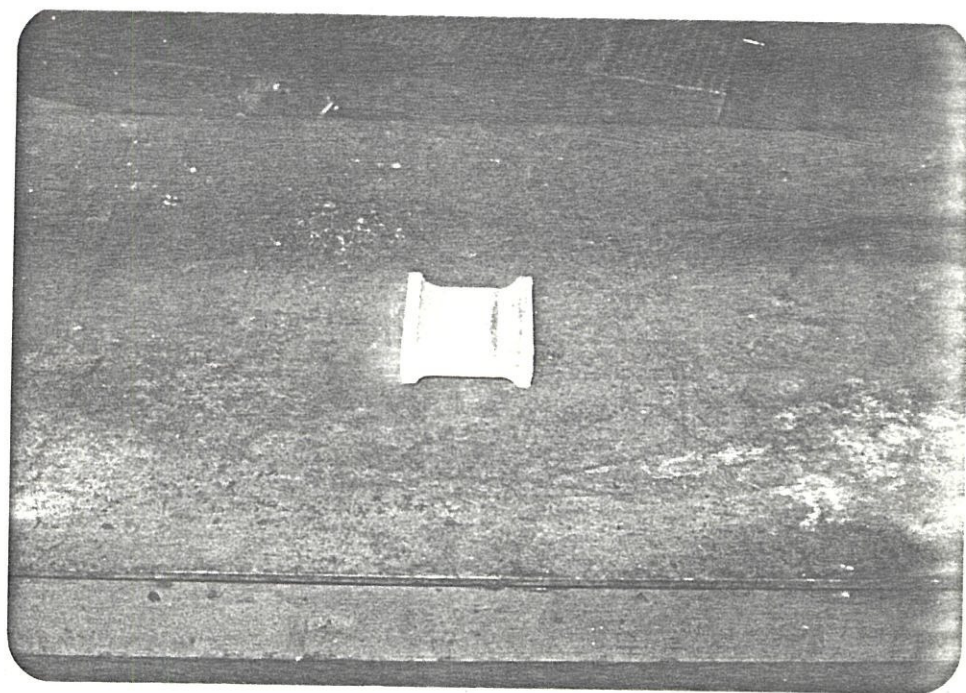


FIGURA 6.2 MODELO DE MADERA DE LA PALETA.

El proceso de moldeo que se va a emplear es el moldeo en verde (arena de sílice + bentonita + agua). Para mejorar el acabado superficial de la pieza a fundirse y evitar algunos defectos de fundición, se pinta el molde de arena con una mezcla de los siguientes componentes:

15 partes de agua;  
 5 partes de plumbagina;  
 5 partes de carbón vegetal;  
 1 parte de harina de trigo, y  
 1 parte de goma blanca.

La fusión del material se lo hará en el cubilote, tanto del hierro blanco, como del hierro gris, procediendo a continuación al cálculo de carga respectiva.

Para obtener hierro blanco aleado (Ni-alto Cr) en la colada, con una composición final de 3 % C, 1 % Si, 5 % Ni, 7 % Cr, 1 % Mn max., se debe cargar el cubilote con chatarra de hierro automotriz, que tiene una composición de 3,3 % C; 2,25 % Si; 0,75 % Mn; 0,15 % P; 0,12 % S y, con chatarra de acero estructural cuyo contenido de carbono es 0,2 % y Silicio 0,25 %.

Si se carga con un 50 % de chatarra de hierro y 50 % de acero, y teniendo en cuenta que el acero se recarbura en el cubilote hasta 2,8 % de carbono, se obtiene entonces:

$$0,5(3,3) + 0,5(2,8) = 3,05 \% C.$$



$$0,5(2,25) + 0,5(0,25) = 1,25 \% \text{ Si.}$$

Si se supone una merma de fuego del 15 %, entonces se tendrá en piquera 1,06 % Si. Como se desea incorporar cromo y níquel, se sustituye parte de la chatarra de acero estructural, por acero inoxidable 18-8, osea 18 % Cr. y 8 % Ni. Calculamos ahora el peso que se necesita para obtener 7 % de Cr. en la carga total de 40 kg.

$$40(7)/100 = 2,8 \text{ kg. de Cr.}$$

A esto se le suma una supuesta merma por fuego del 20 %, dando por consiguiente 3,3 kg., con este valor calculamos cuanto de acero inoxidable se necesita:

$$100(3,36)/18 = 18,6 \text{ kg. de acero inoxidable.}$$

Teniendo en cuenta que este peso de acero inoxidable aporta en níquel el valor de:

$$18,6(8)/100 = 1,5 \text{ kg. de Ni.}$$

Pero como requerimos 5 % de Ni., en la carga total de 40 kg. o sea 2 kg. de Ni. la diferencia se completa con la adición de níquel puro, siendo el peso de 0,5 kg.

Para mejorar propiedades, se adiciona 1 % de cobre, lo cual ayuda al aumento de dureza, debido a que se consiguen carburos finos y discontinuos, requiriendo en la carga 0,4 kg. de cobre, pero debido a que el cobre se oxida en un 20 %, se necesitará 0,5 kg.



Luego la carga del cubilote para la obtención de hierro blanco aleado será:

Chatarra de hierro	20,0 kg.
Acero estructural	1,4 kg.
Acero inoxidable 18-8	18,6 kg.
Níquel	0,5 kg.
Cobre	0,5 kg.

Para la obtención del hierro gris para las demás partes de la turbina, tenemos que la composición final es de: 3,3 % C, 2,3 % Si, 0,2 % Cr, 0,3 % Ni. 0,3 % Cu. Partiendo de 100 % de la carga con chatarra de hierro automotriz y que los elementos aleantes que se van a adicionar es relativamente poco, por lo que son introducidos en la cuchara de colado que tiene una capacidad de 150 kg. de metal.

Como se requiere cromo y níquel, se adiciona acero inoxidable 18-8, necesitando el siguiente peso de cromo:

$$150 \times 0,2 / 100 = 0,3 \text{ kg de Cr.}$$

Más la merma por fuego del 20 %, entonces se necesita 0,36 % de cromo, por lo que la cantidad de acero es de 2 kg., siendo que éste también aporta con 0,16 kg. níquel, pero requerimos en la carga 0,45 kg. por lo que se adiciona 0,3 kg. de níquel puro. En tanto el cobre necesitaremos 0,45 kg. pero debido a que se oxida en un

20 % requerimos entonces 0,55 kg. Por último debemos ajustar el silicio, sabiendo que la chatarra contiene 2,25 % Si y menos la merma por fuego del 15 %, obtendremos en piquera 1,9 % de silicio, pero como requerimos 2,3 %, se efectúa inoculación con ferrosilicio, siendo la cantidad necesaria de silicio de:

$$150 \times 0,4 / 100 = 0,6 \text{ kg.}$$

Como el ferrosilicio aporta con 75 % de silicio, la cantidad necesitada es:

$$100 \times 0,6 / 75 = 0,8 \text{ kg de Fe-Si}$$

Luego la adición de los elementos en la cuchara de colado será:

Acero inoxidable 18-8	2 kg.
Níquel	0,3 kg.
Cobre	0,55 kg.
Ferrosilicio	0,8 kg.

La adición de ferrosilicio se lo realiza en el momento que se abre al piquera, los demás elementos se agregan cuando esté llena la cuchara de colado acompañado de agitación del caldo.

En la figura 6.3 se observa las paletas una vez fundida, las cuales son después limpiadas y rebarbadas.

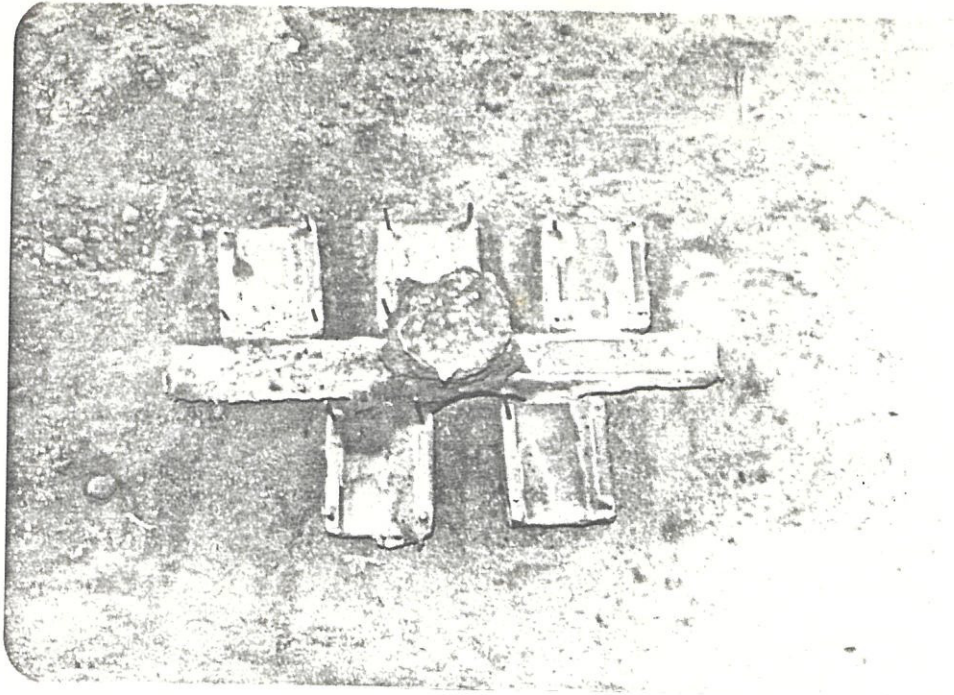


FIGURA 6.3 ALABES FUNDIDO

Las piezas de hierro gris se maquinan tal como se observa en la figura 6.4

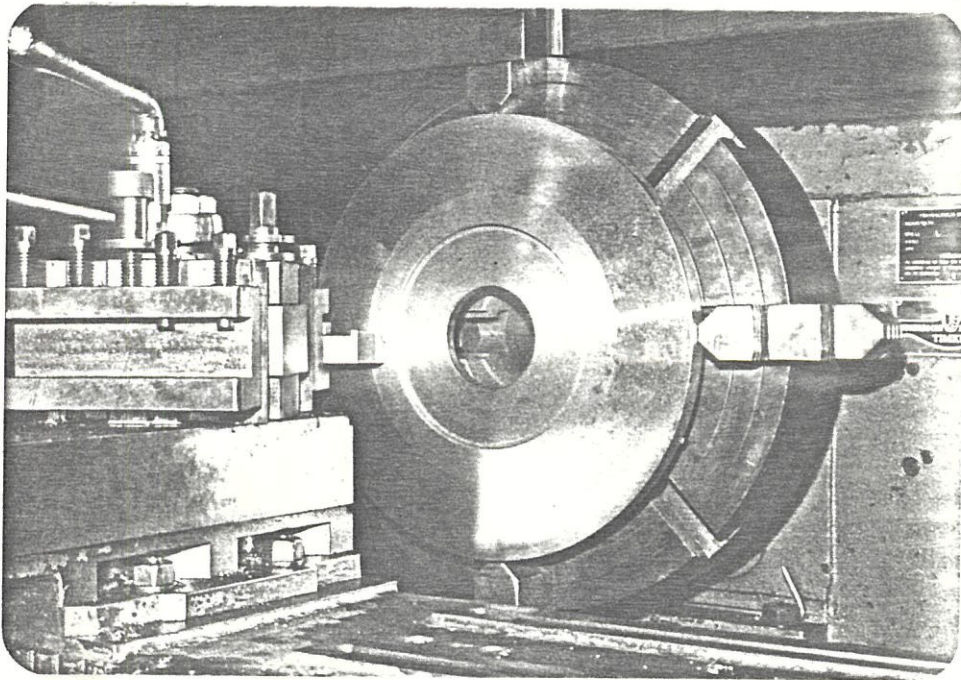


FIGURA 6.4 TORNEADO DEL DISCO DE LA TURBINA



Lo mismo se efectúa con la demás partes del sistema según planos y verificanco medidas una vez terminada la pieza (fig 6.5 y fig 6.6).

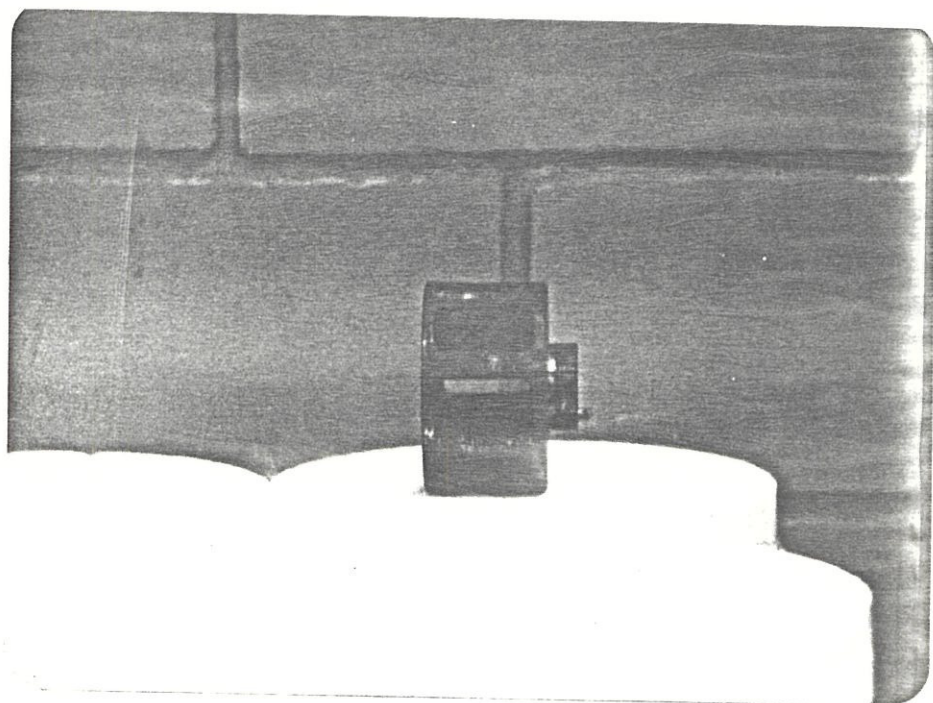


FIGURA 6.5 RUEDA DE DISTRIBUCION

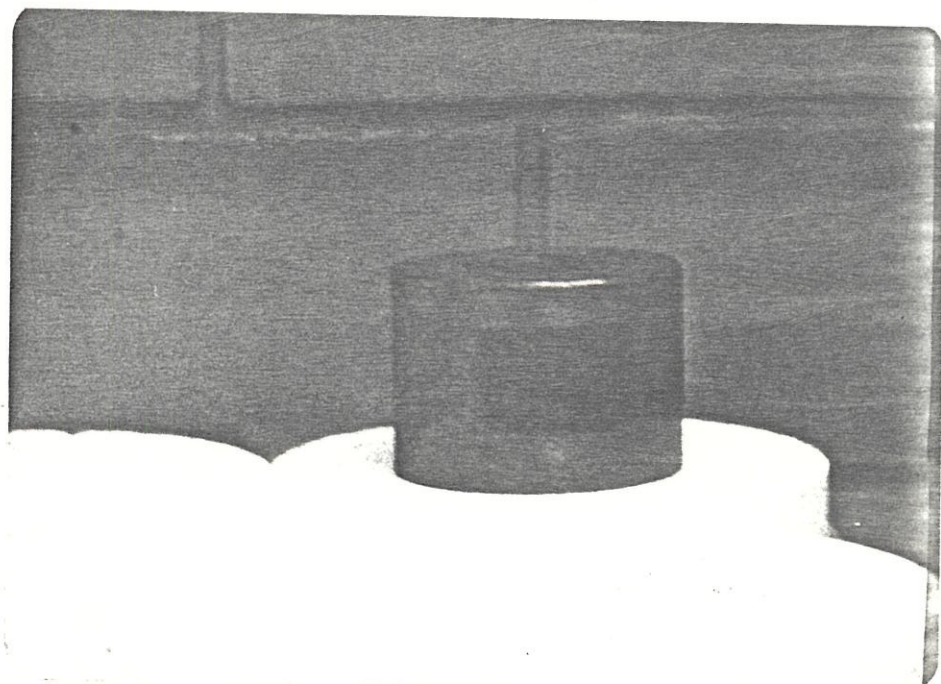


FIGURA 6.6 CAPSULA DE CONTROL



Una vez armado la turbina, con sus respectivas paletas aseguradas a los discos, se procede al balanceo de la turbina, primeramente se efectúa balanceamiento estático y luego el dinámico (fig.6.7).

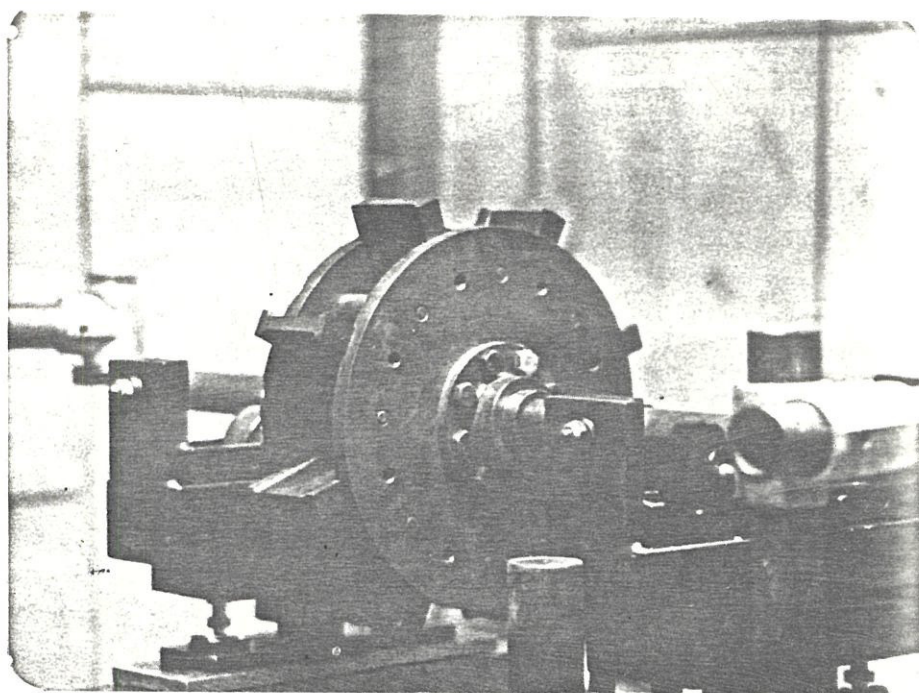


FIGURA 6.7 BALANCEAMIENTO DINAMICO DE LA TURBINA

Para balancear dinamicamente la turbina medimos la velocidad original de vibración y el ángulo de fase, siendo  $V = 24 \text{ mm/seg.}$  y  $\phi = 55^\circ$ , luego se coloca un peso de prueba de 25 gramos en una posición cualquiera y medimos nuevamente la velocidad y el ángulo siendo ahora  $V' = 18 \text{ mm/seg}$  y  $\phi' = 119^\circ$ , con estos datos se construye el triángulo de velocidades (fig. 6.8) donde el desvalance debido sólo al peso de prueba es igual a:

$$\vec{V}_d = \vec{V} - \vec{V}'$$

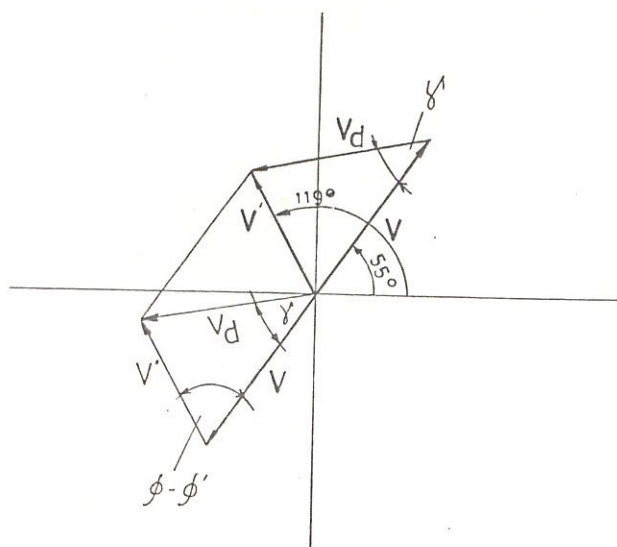


FIGURA 6.8 TRIANGULO DE VELOCIDADES PARA BALANCEAMIENTO

Del triángulo anterior y empleando la ley de cosenos, **tenemos** que el desbalance debido al peso de prueba es  $V_d = 22,83 \text{ mm/seg.}$  De igual forma para encontrar el ángulo donde se coloca el peso, utilizamos la ley del seno, dando como resultado  $\gamma = 45,12^\circ$  y para conocer el peso de balanceamiento se lo realiza con la siguiente relación:

$$W = V/V_d W_p$$

Reemplazando valores tenemos que el peso a colocar es 26,3 gramos, a un ángulo de  $45,12^\circ$  en sentido antihorario, se toma nuevamente la lectura de la velocidad, siendo este valor de 2 mm/seg., la cual comparada con la carta de severidad nos dice que la vibración es pasable.

Se procede entonces a montar la turbina en la máquina granalladora (fig. 6.9) y una vez aseguradas todas las partes se comprueba el libre giro del sistema (fig 6.10).



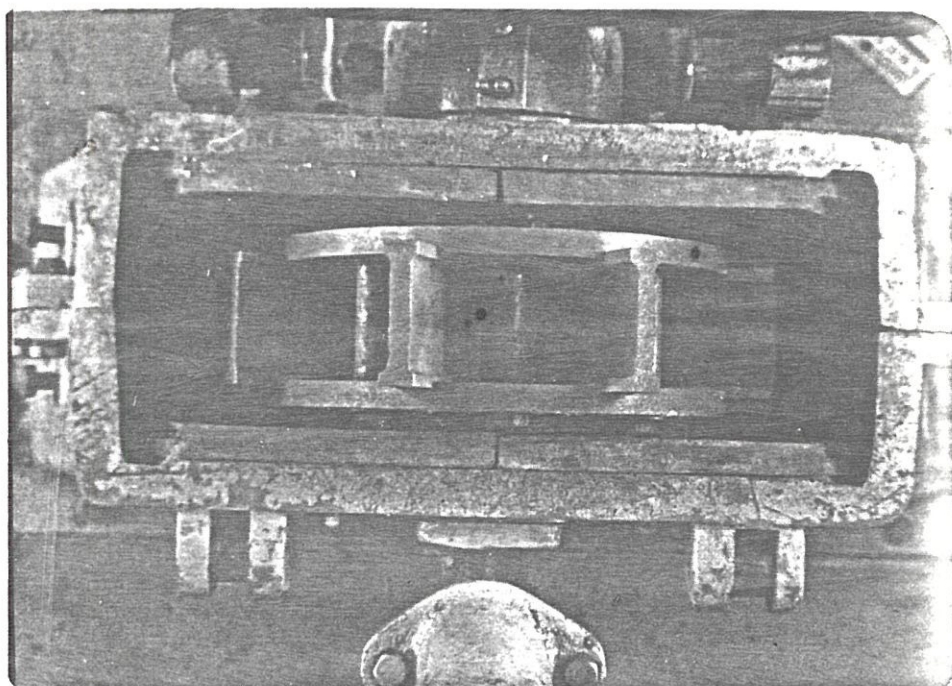


FIGURA 6.9 MONTAJE DE LA TURBINA

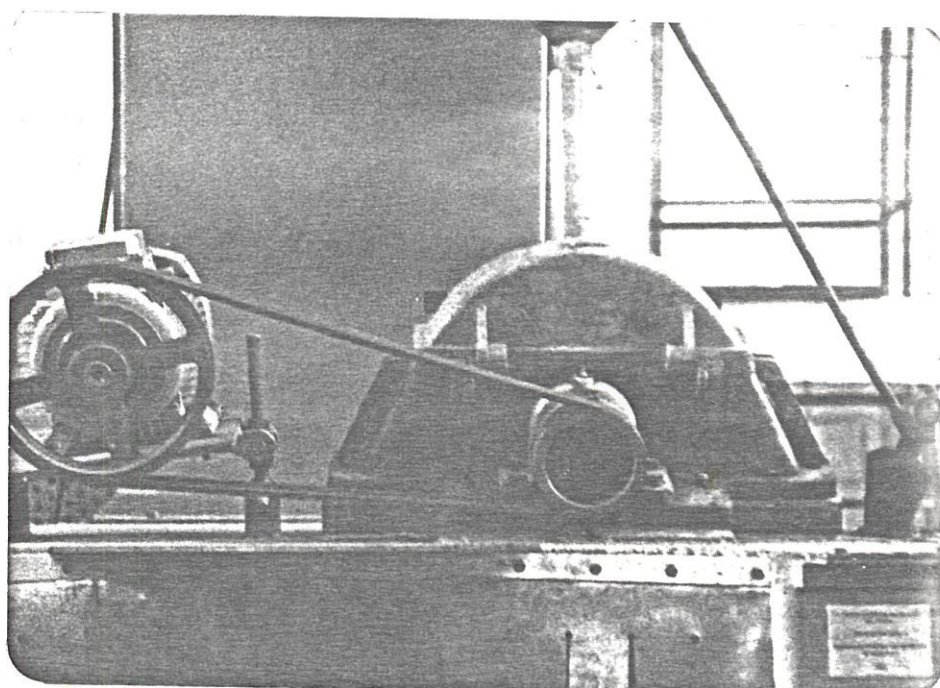


FIGURA 6.10 VISTA COMPLETA DE LA TURBINA

## CAPITULO VII

### PRUEBAS EXPERIMENTALES

#### 7.1 PLAN DE PRUEBAS

Una vez diseñada y construída la rueda de chorreado, las apreciaciones objetivas y veraces de su rendimiento, son obtenidas al experimentar el sistema. Estas experiencias proporcionarán los medios suficientes y necesarios para establecer si la concepción y ejecución posterior de diseño estuvieron bien o mal llevados a cabo, siendo así que con los resultados experimentales podría constituirse en la clave que permita determinar las medidas correctivas a tomarse.

Antes de elaborar un plan de pruebas, se debe tener presente los factores y parámetros que intervienen en la operación de granallado. En vista de que la máquina ha sido diseñada para la limpieza de piezas



salidas de fundición, hay que considerar como primer punto el tipo de arena adherida según sea el proceso de moldeo. El otro punto que hay que considerar es el tamaño y forma de la pieza. También hay que considerar el material que va a ser limpiado, sea fundición, acero, bronce, aluminio, etc. teniendo que ver esto con los requerimientos de intensidad de impacto, y por lo tanto del tipo y tamaño de la granalla a utilizarse. Por último es importante el establecimiento de la razón de limpieza, lo que implica el tiempo de chorreado.

Por lo tanto se realizán las siguientes pruebas:

- Puesta a punto del sistema;
- Medición de la eficiencia del flujo de abrasivo;
- Calibración de la cápsula de control;
- Establecer la forma y localización del patrón de chorro;
- Ensayos con diferentes abrasivos; arena, recortes de clavos.
- Pruebas de limpieza en piezas con diferentes procesos de moldeo;.
- Limpieza de diferentes materiales;
- Establecer la razón de limpieza;
- Comprobación de los grados de limpieza;
- Medición de la rugosidad dejada por el chorreado;
- Verificación de los materiales usados.

Antes de pasar a la realización de las pruebas se debe tener presente que la turbina fue montado en forma vertical con un cierta inclinación y sobre el costado derecho de la máquina granalladora, siendo ésta del tipo mesa giratoria donde se colocan las piezas a ser chorreadas.

Para el funcionamiento de la máquina el procedimiento a seguir para la marcha y el buen funcionamiento es la siguiente:

1. Comprobar que el sistema esté en buenas condiciones, esto es, que la máquina contenga suficiente granalla, que dentro de la turbina no exista ningún rastro de granalla.
2. Colocar la pieza sobre la mesa de trabajo.
3. Accionar el sistema recolector de polvos.
4. Accionar el sistema de reciclaje de granalla.
5. Accionar el motor de la turbina.
6. Abrir el conducto de salida de granalla localizada en la tolva de alimentación.
7. Chorrear la pieza hasta que esta quede lo suficientemente limpia.
8. Cerrar el conducto de salida.
9. Desconectar la máquina, en este orden, turbina, sistema de reciclaje y recolector de polvos.

## 7.2 DATOS Y RESULTADOS

Para determinar la eficiencia del flujo de abrasivo, medimos el amperaje del motor, siendo el valor de 20 A, sabiendo que el motor para las pruebas es de 10 HP a 220 V y de la gráfica 3.20 tenemos que la eficiencia del flujo, es del orden del 60 %, esto nos indica que el flujo es inferior para la cual la turbina fue diseñado, debiendo ser esta cantidad incrementada, esto se logra aumentando el diámetro del conducto de salida, y midiendo el amperaje dando 24 A., del gráfico 3.20 obtenemos una eficiencia de flujo del 86 % valor que se toma como aceptable.

Luego posicionamos en forma conveniente la cápsula de control, tal que cubra el chorro la mayor parte de la mesa de trabajo, en diferentes pruebas, se obtuvieron diversos resultados, obteniéndose la mejor posición tal como se muestra en la figura 7.1 .

La siguiente prueba fue el establecer la forma del patrón de chorro, así como la localización del sitio activo o zona de más alta concentración de impactos, esto se lo hizo sobre una plancha de madera, el cual fue chorreado a una distancia de 0,57 mm., en la figura 7.2 se visualiza la localización del sitio activo y su forma, la superficie cubierta por el chorro es cerca de 80 x 7 cm.

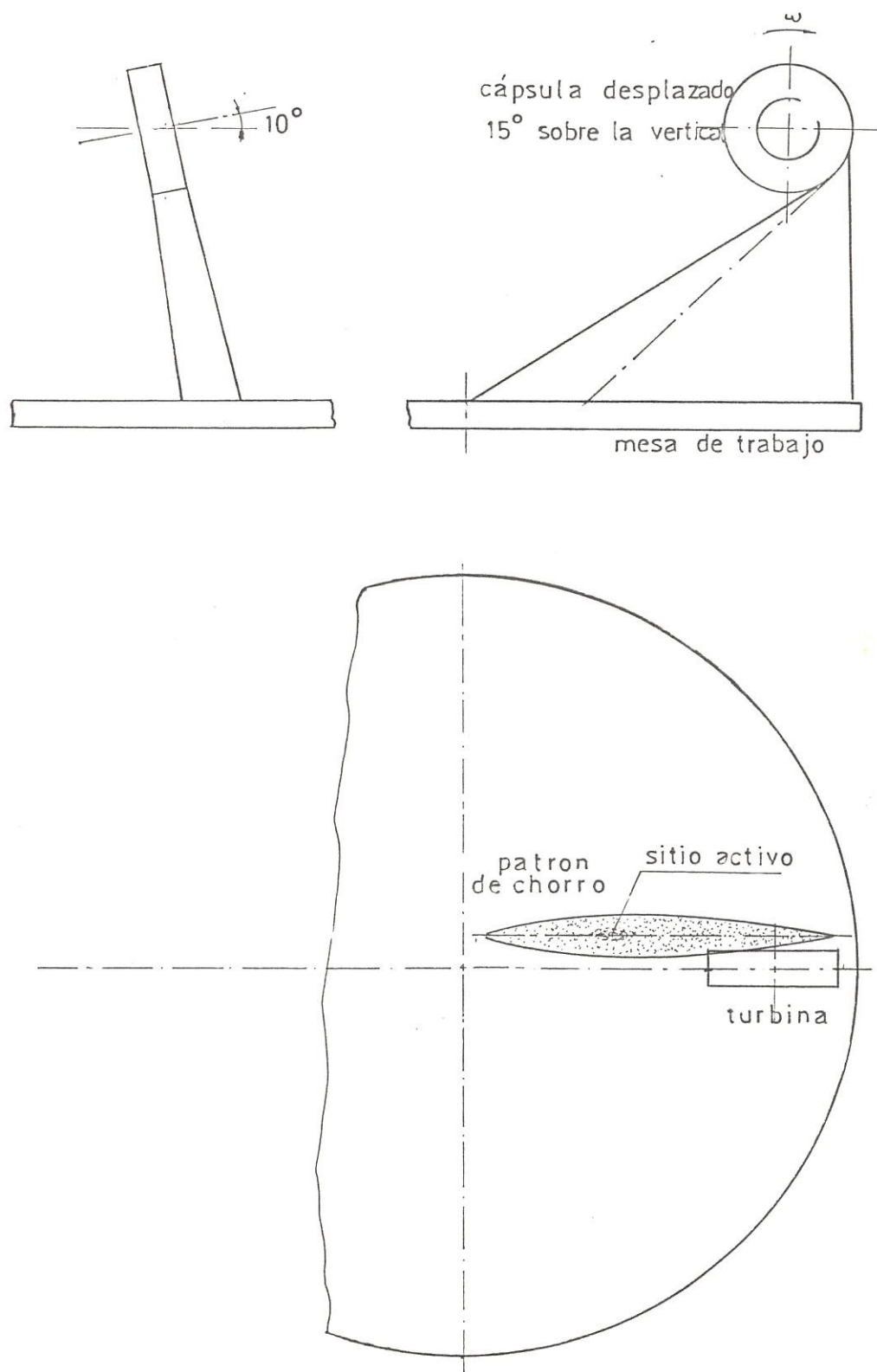


FIGURA 7.1 LOCALIZACION DEL CHORRO DE ABRASIVO



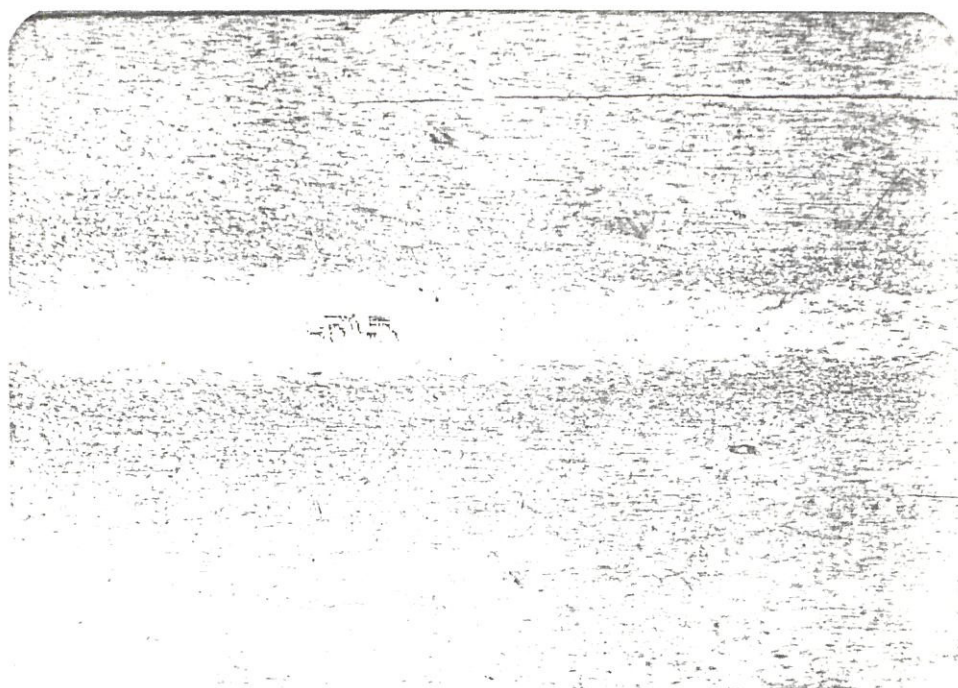


FIGURA 7.2 MOSTRANDO EL PATRON DE CHORRO.

En vista que no fue factible conseguir las granallas de acero en nuestro país y que la importación hecha de las mismas aún no llegan a su destino, se probó el sistema con otros abrasivos, tales como arena y recortes de clavos.

Pruebas realizadas con arena de sílice tamizada (empleandose las de grano grande), resultaron ser nada satisfactorio, para la limpieza de piezas que contenían arena adherida, además que producía la dispersión de polvos finos en el área de trabajo, en pruebas realizadas sobre superficies corroídas, los resultados obtenidos fueron buenos, con un grado de limpieza de 3ra. calidad (SSPC-SP 6), pero con la desventaja de ocupar mucho tiempo de chorreado e igualmente con elevada contaminación ambiental.

Con los inconvenientes antes mencionados se optó por la utilización de recortes de clavos, obtenidos de una empresa local (Fabrica de Clavos Guayas), las primeras pruebas fueron hechas con tamaños de recortes pequeños, tal como el sugerido sí se utiliza granallas de acero, pero los resultados fueron poco satisfactorio, empleandose demasiado tiempo en la limpieza, por lo que se escoge un tamaño más grande, y mezclado con el tamaño de recorte anterior, siendo los resultados mostrados en fotos tomadas antes y después del granallado.

En la figura 7.3 se observa una pieza de hierro nodular, fundida en arena de sílice y con el proceso de aglomeración al cemento Portland al 10%, en esta prueba se chorreó la superficie por espacio de 3 min. obteniéndose un grado de limpieza de 3ra. calidad (SSPC-SP 6), mientras que en la figura 7.4 se muestra una superficie de iguales características que la anterior, pero con la variante que el tiempo de chorreado fue de 5 minutos, obteniéndose un grado de limpieza de 1a. calidad (SSPC-SP 5).

La figura 7.5 se observa una pieza completa, fundida en hierro nodular, con una superficie de aproximadamente  $1,2 \text{ m}^2$ , para lo cual se requirió 1 hora de chorreado, teniendo un grado de limpieza de 2da. calidad (SSPC-PC 10).



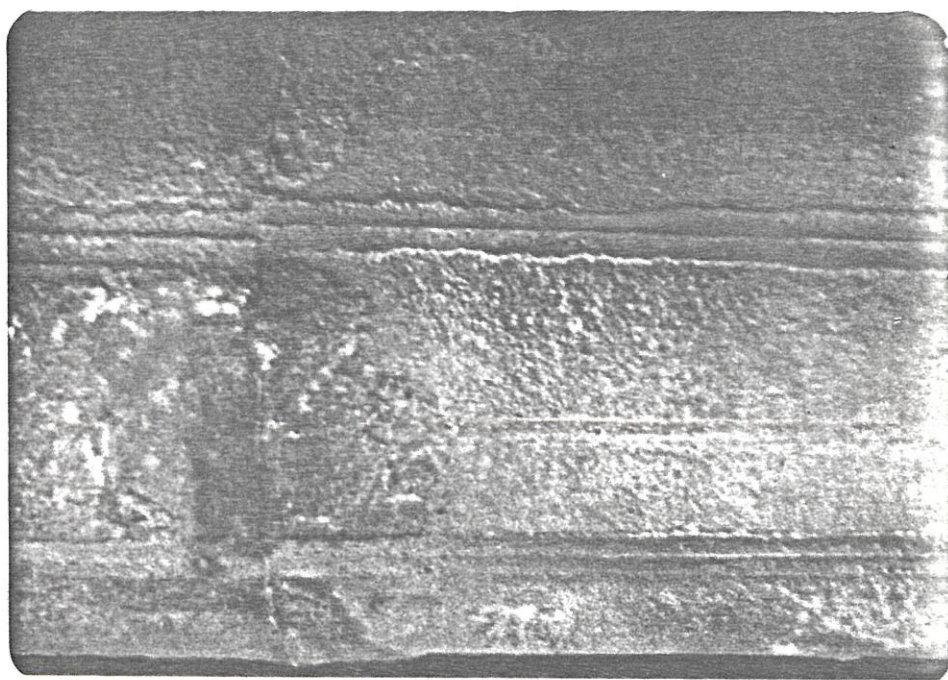
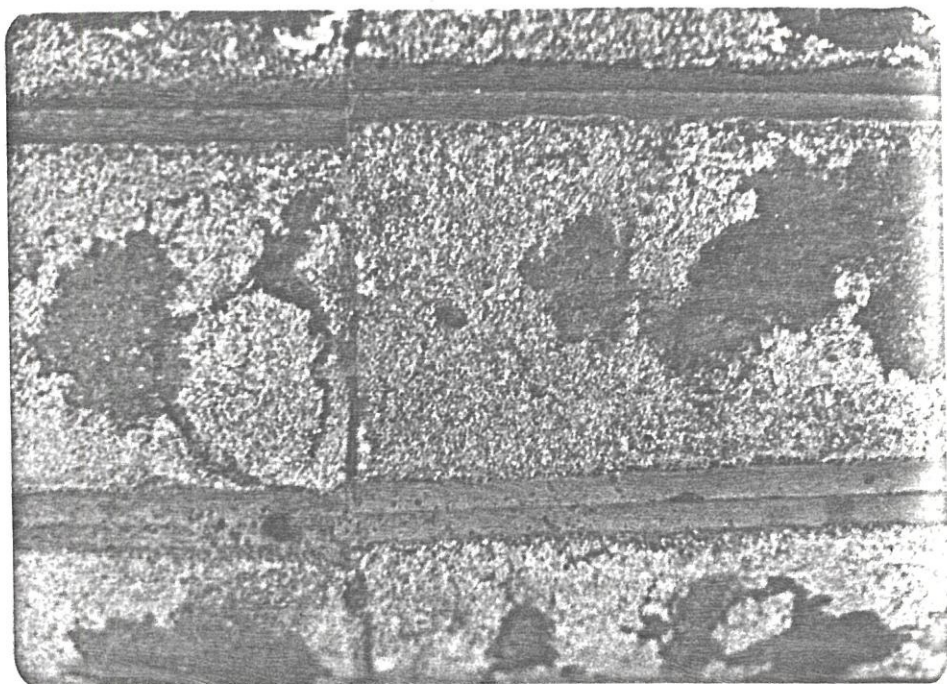


FIGURA 7.3 PIEZA DE FUNDICION ANTES Y DESPUES DE  
GRANALLADO, TIEMPO DE CHORREADO 3 MIN.

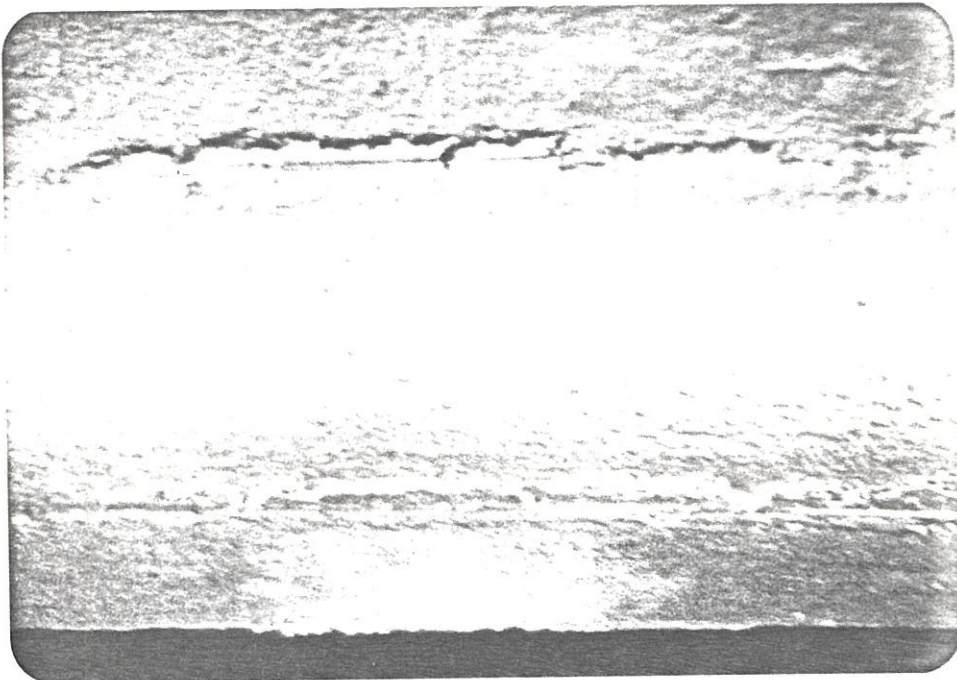
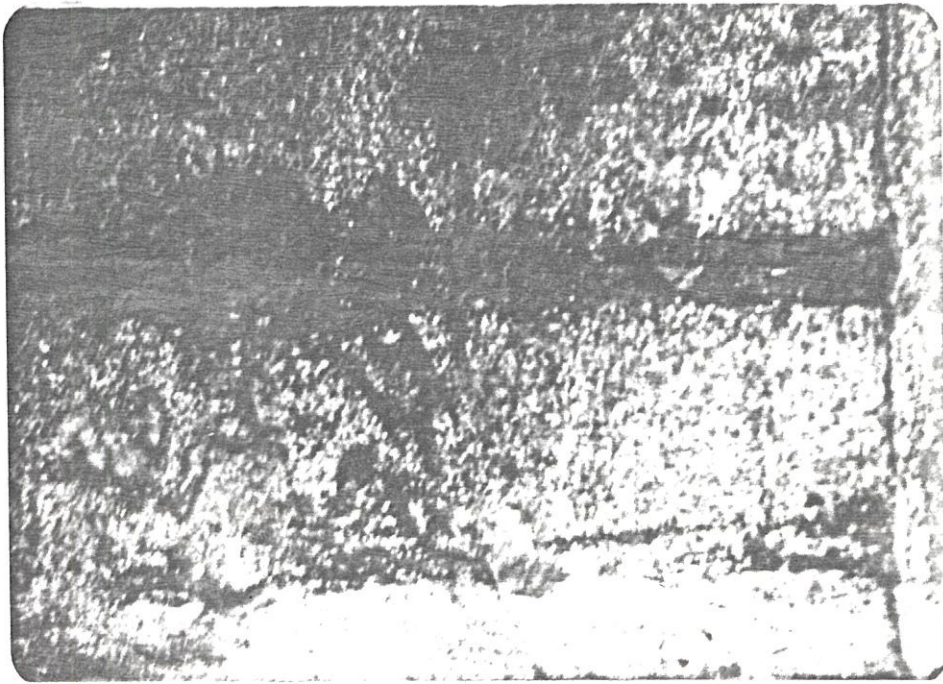


FIGURA 7.4 PIEZA DE FUNDICION ANTES Y DESPUES DE  
GRANALLADO, TIEMPO DE CHORREADO 5 MIN.



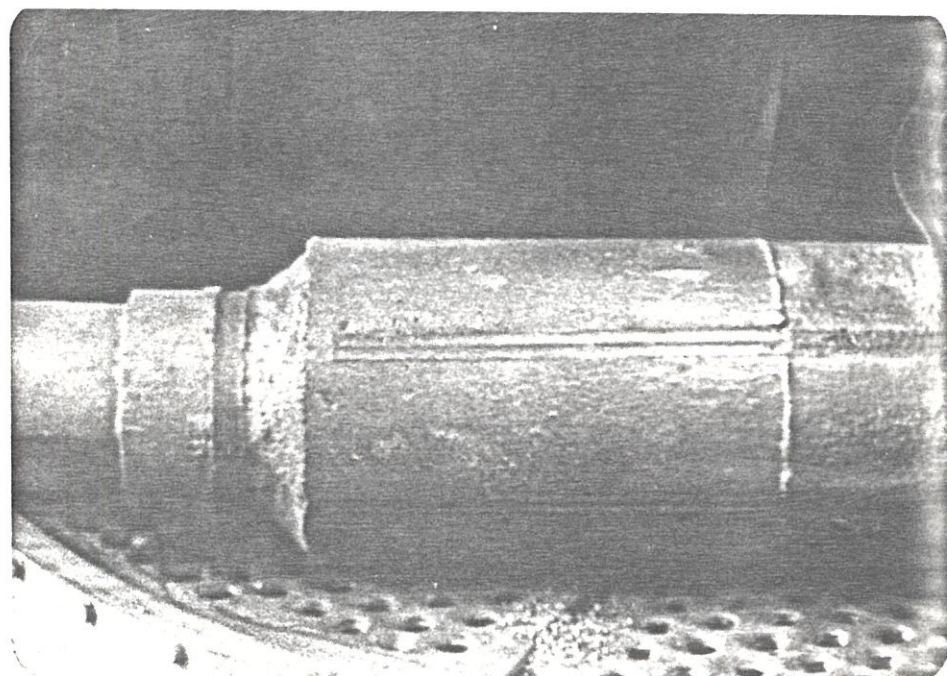
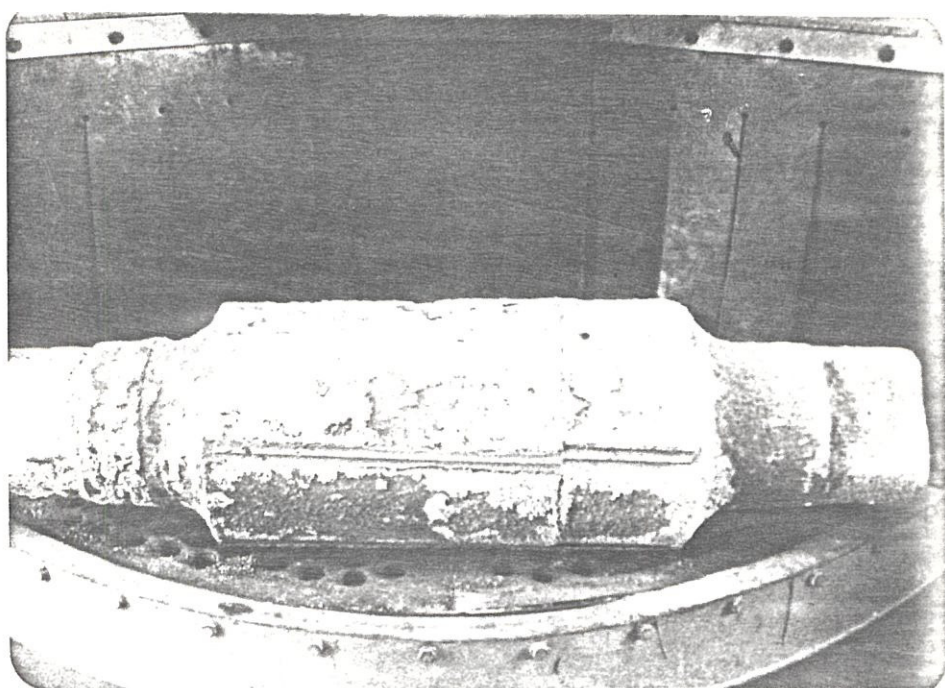


FIGURA 7.5 RODILLO DE LAMINACION, ANTES Y DESPUES  
DE GRANALLADO

La siguiente prueba fue hecha en una pieza de bronce al aluminio, en cuya superficie tiene adherida arena con silicato de sodio (fig. 7.6), cuyo tiempo de chorreado fue de 2 min. obteniéndose un grado de limpieza de 1ra. calidad; igualmente se hizo otra pero moldeada en verde (arena, bentonita y agua), que posee en la parte central de la pieza un macho (core) de arena con silicato, el tiempo de chorreado de toda la pieza fue de 10 minutos (fig. 7.7).

Para establecer la rugosidad hecha por el chorreado con recortes de clavos, la prueba de chorreado es realizado en una plancha de acero corroída (fig 7.8), por espacio de 2 min. y por comparación con el rugosímetro para granallado se obtuvo una rugosidad de 4 SH 76, el cual nos indica que la profundidad de la huella dejada por el abrasivo es de 4 mils ( $100\mu$ ), similar a la dejada por una granalla esférica S-390 (ver tabla 7 del Apéndice).

Para establecer el alcance de esta turbina se procedió a la limpieza en general de partes, para tal efecto se limpió una rueda de cadena de todo residuo de pintura y elementos extraños, después de escasos 2 minutos de chorreado, se obtuvieron resultados excelentes, teniendo la pieza un grado de limpieza de 1ra. calidad, tal como se muestra en la figura 7.9.

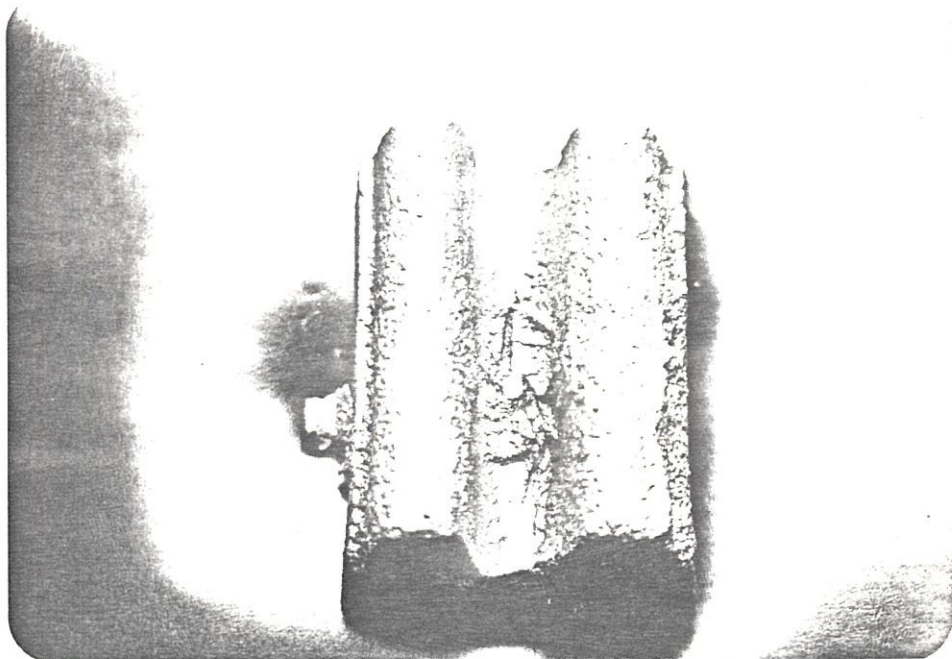
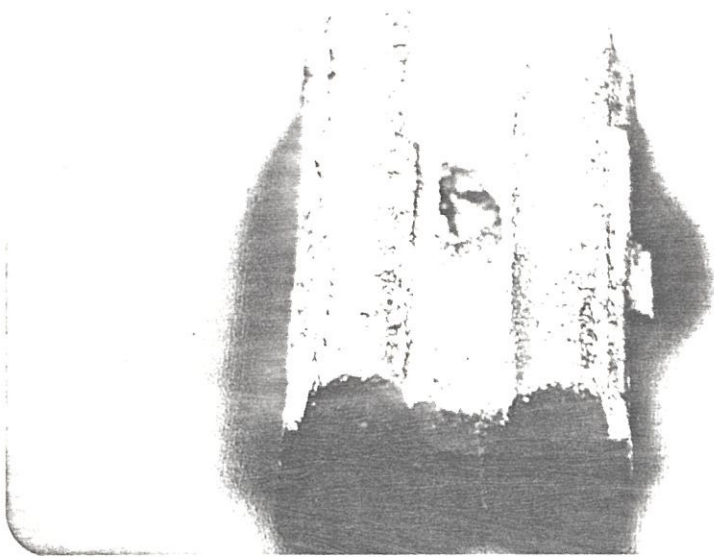


FIGURA 7.6 PIEZA DE BRONCE, ANTES Y DESPUES DE GRANA-  
LLADO



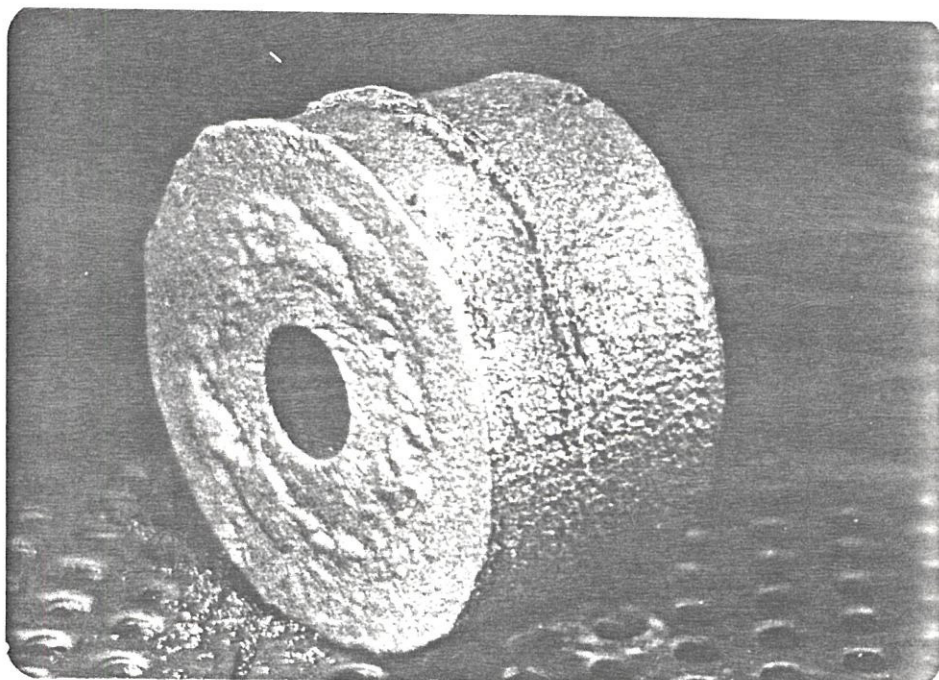
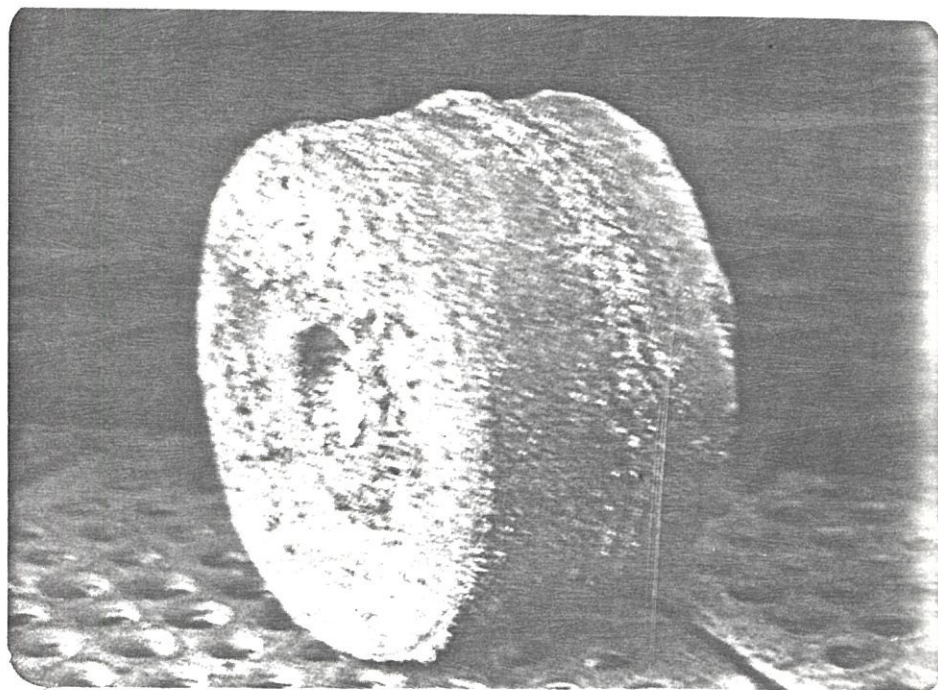


FIGURA 7.7 PIEZA DE BRONCE, CON AGUJERO EN LA PARTE CENTRAL, ANTES Y DESPUES DE CHORREADO.



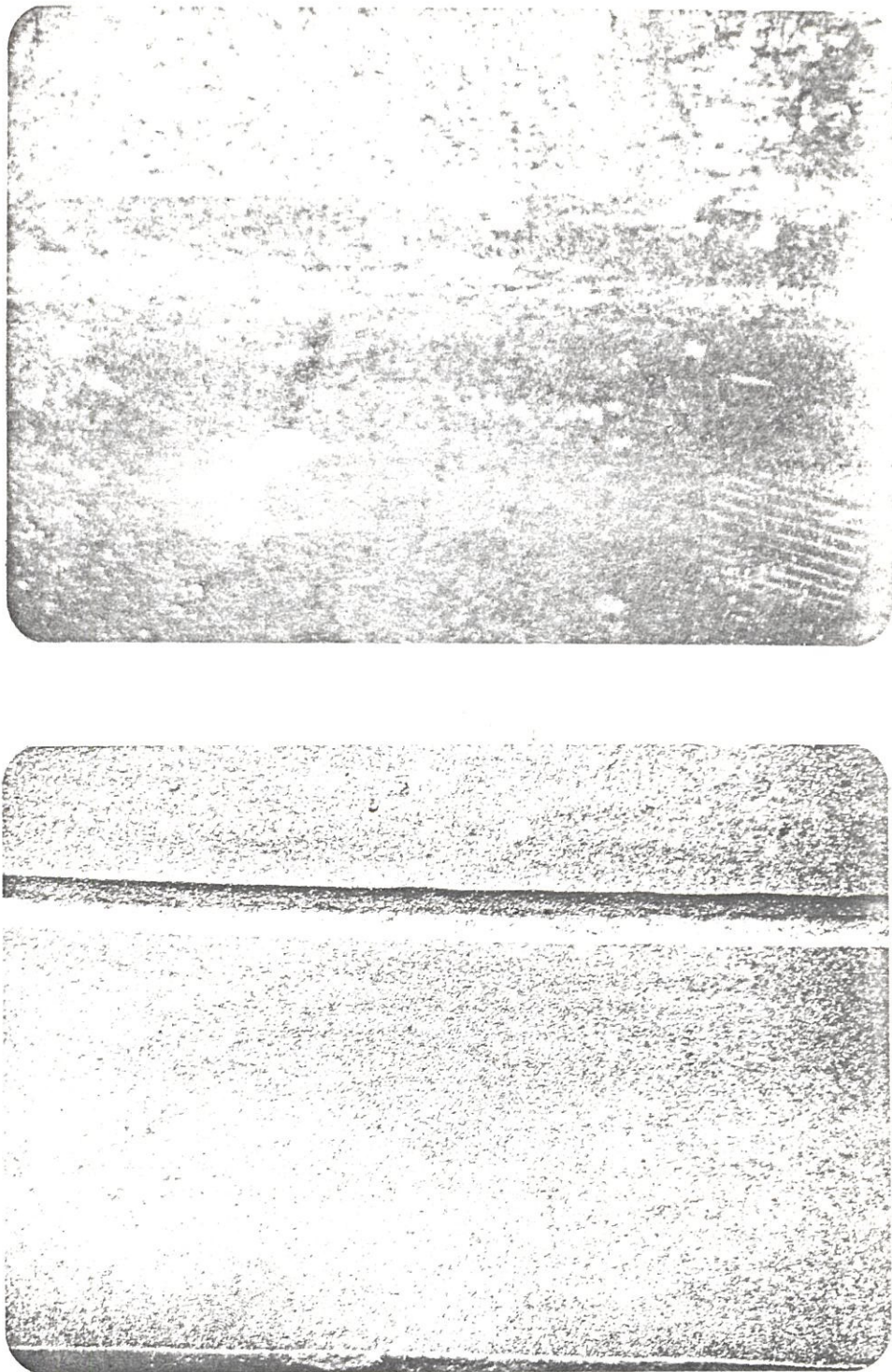


FIGURA 7.8 PLANCHA DE ACERO ANTES Y DESPUES DE GRANA-  
LLADO

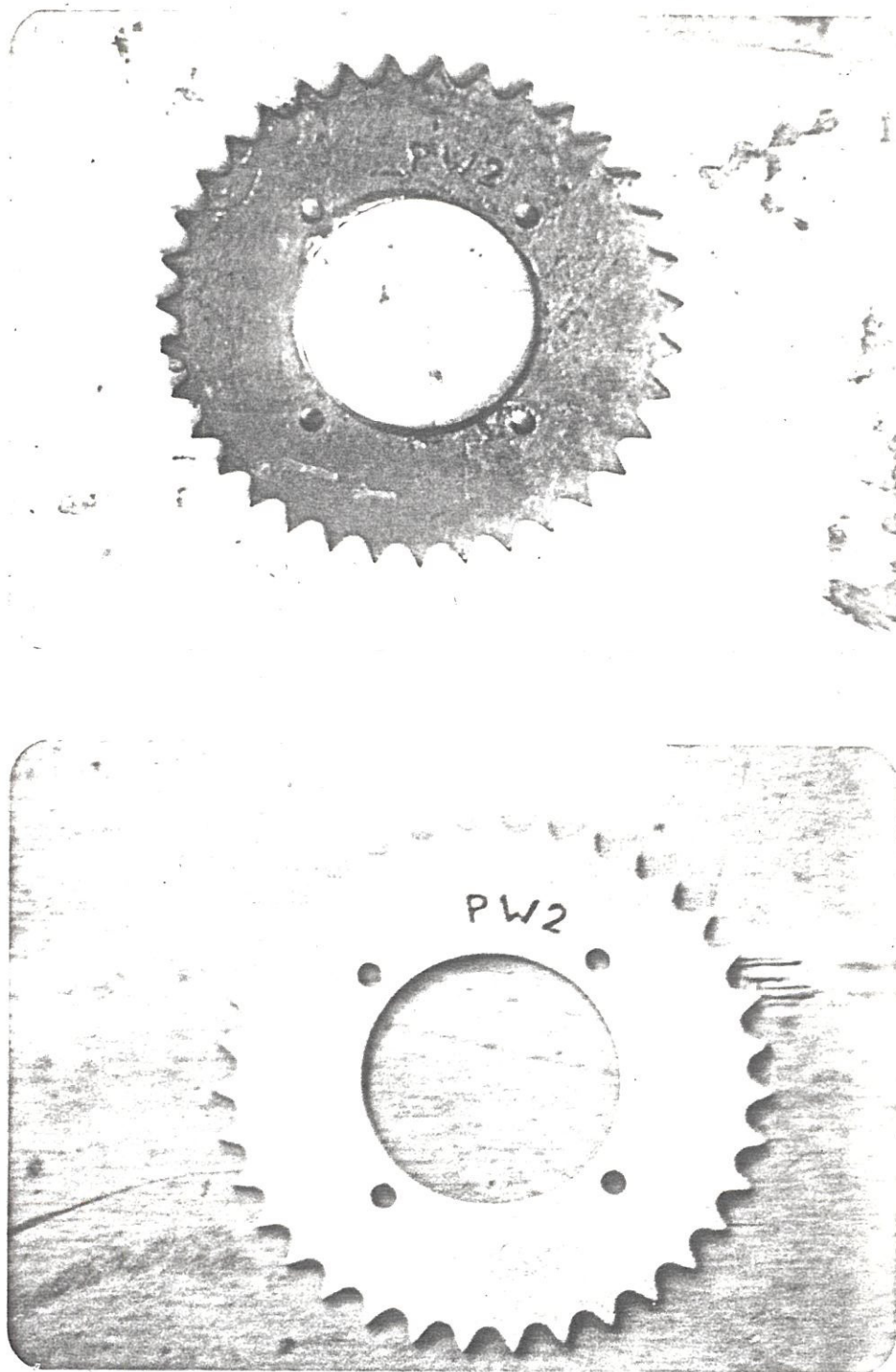


FIGURA 7.9 RUEDA DE CADENA, ANTES Y DESPUES DEL CHO-  
RREADO



Realizado estas pruebas, y teneniendo un tiempo acumulado de varias horas de funcionamiento, se procedió a la verificación de las partes (fig. 7.10 observándose que en este corto tiempo, aún las partes no daban indicio de desgaste alguno.

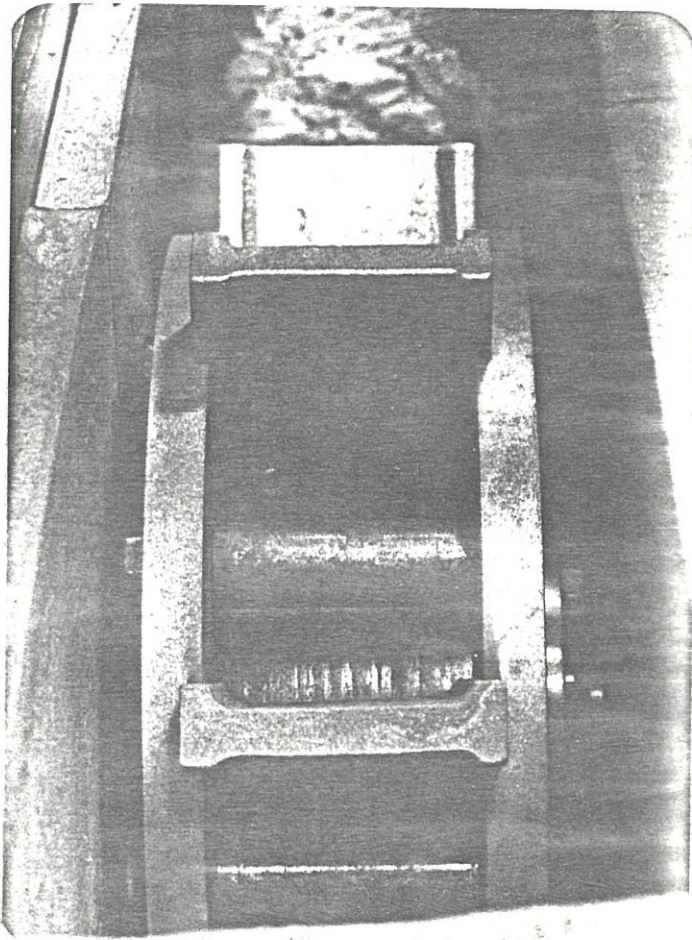


FIGURA 7.10 MOSTRANDO LA PARTE INTERIOR DE LA TURBINA

## CAPITULO VIII

### DISCUSION DE RESULTADOS

Una vez realizada las pruebas tenemos que la turbina responde en buena forma, siendo que el valor de la potencia determinada teóricamente no difiere en alto grado de la obtenidas por sus efectos en las pruebas, esto se observa en el valor de la eficiencia del flujo, donde se obtuvo el 86 %, pudiéndose todavía incrementar el flujo, sin llegar a sobrecargar la turbina, pero es necesario que una parte de esta potencia no sea ocupada por seguridad, cuando cualquier anomalía pueda ocurrir. De esto también se puede decir que el valor del amperaje puede establecer cómo está funcionando la turbina, ya que si existiese algún mal funcionamiento, ésta no puede determinarse a simple vista, siendo el control de la corriente el indicado, por lo tanto es necesario que la máquina disponga en el panel de control un amperímetro.



El posicionamiento de la cápsula de control debe ser el apropiado y tiene que ver con el ángulo de incidencia del abrasivo en el impacto, cuando este ángulo es agudo los abrasivos remueven la superficie de limpieza por cizallamiento, mientras con un ángulo a  $90^\circ$  lo hacen por impacto y las granallas que rebotan chocan con las incidentes, reduciendo la cantidad de material removido y aumentando la velocidad de limpieza. Para que no ocurra esto en la zona donde el chorro impacta a la superficie a  $90^\circ$ , todo el sistema impulsor es colocado con una cierta inclinación con respecto al eje que pasa por el centro de la turbina (fig. 7.1), siendo la inclinación de  $10^\circ$ .

La forma de patrón del chorro de la figura 7.2 es tal como el indicado en el capítulo III, figura 3.16, siendo la localización del sitio activo dependiente de la localización de la cápsula de control. Se observa además que el área cubierta por el chorro centrífugo es mucho mayor que el chorreado por aire comprimido, siendo el área cubierta por este de escasos  $70 \text{ mm}^2$  (dato tomado de ASTINAVE), comparado con los  $560 \text{ mm}^2$  con nuestra turbina, o sea unas 7 veces más.

Con referente al uso de arena de sílice, estos resultaron ser negativos, debido a que no alcanzaban suficiente energía de impacto, debido a que el peso de este abrasivo es mucho menor que las granallas, además que se tiene una turbina que gira con una velocidad fija, no pudiendo de

esta manera aumentar el impacto, otro hecho de fundamental importancia es la velocidad de rompimiento, ya que al impactar sobre una superficie dura se quiebran con mucha facilidad, dando con esto la creación de pequeñísimas partículas de polvo, llegando a contaminar el ambiente en una forma excesiva, ya que el sistema recolector de polvos no tiene la capacidad de absorberlos.

La utilización de recortes de clavos como abrasivo, si bien es cierto presentó buenos resultados, estos fueron logrados ya que se utilizó tamaños mayores a los sugeridos para permitir una mayor velocidad de operación de limpieza, esto se hizo ya que el material con que están elaborados los clavos son suaves, lo que origina que parte de la energía que lleva la granalla, se pierda en el choque por deformación, siendo que después de varias pasadas en la máquina estas adquirirían redondez, además que no tener mucho rebotamiento, muy necesario para piezas de complicada configuración, donde el impacto directo de la granalla no puede llegar. Por lo tanto se establece que la dureza del material es muy importante, ya que cuanto más duro es el abrasivo más rápida será la limpieza y más profunda la huella dejada.

En los ensayos realizados se utiliza una mezcla de diferentes tamaños y formas, con pesos que varían de 0,01 a 0,04 gramos, siendo la energía de impacto de 4 a 12

kg-mm. respectivamente, cantidad 4 a 12 veces mayor que la obtenida con granallas de acero S-390, por lo que con este valor logramos compensar la pérdida de intensidad de impacto por la deformación del material, además la mezcla de tamaños logra mejorar la limpieza, siendo que las partículas más grandes limpian los contaminantes duros y gruesos, mientras que las más pequeñas remueven los residuos.

Si bien es cierto que la utilización de granallas de diámetro más pequeño, la cantidad de impactos va a ser mucho mayor, más cierto es que la energía de impacto disminuye, ya que la masa de la mismas es función del cubo del diámetro, se comprende entonces que para pequeñas variaciones de diámetro produzcan resultados diferentes, lo mismo ocurriría si se aumenta la velocidad de salida de la granalla, siendo que la intensidad crece en forma parabólica.

Los recortes de clavos utilizados aunque presentan ciertas aristas agudas, la limpieza no es realizada por acción cortante, sino por impacto solamente, debido a su condición de ser suaves.

Con el uso de estos abrasivos en la limpieza de arena se obtuvieron resultados favorables, teniendo en cuenta que en piezas de hierro fundido con el proceso de moldeo al cemento, la capa de arena formada después del colado se



adherían con suma fuerza en algunas zonas (sinterización de la arena  $2\text{FeO}_2\text{SiO}_2$  ), por lo que se empleó bastante tiempo en la limpieza. En otras pruebas hechas con diferentes procesos de moldeo, sea con silicato o en verde, se notó disminución del tiempo de chorreado. Pero este tiempo puede disminuir mucho más, si es utilizado granallas de acero, tal como se comprueba al inspeccionar una máquina granalladora de una empresa local (Ecuatoriana de frenos). Asimismo en piezas de bronce la velocidad de limpieza fue menor, además en la limpieza de machos (cores) el chorreado desprende toda la arena, la cual es laborioso por otros métodos. En algunos casos el chorreado llega a cortar los canales de colada delgados, esto es debido al gran impacto que adquieren las granallas, además de rebajar pequeñas rebabas, rompiéndolas o compactándolas. En otras pruebas se observa la limpieza de óxido, además de que los filos vivos son redondeados y las asperezas suavizadas.

Al inspeccionar la superficie granallada en el macroscopio, se observa que estos presentan una superficie completamente irregular, con abundantes picos y profundos valles, lo cual es ideal para que la pintura se adhiera con facilidad, siendo sugerido por los fabricantes un grado de limpieza superior o igual a Sa 2 1/2, teniendo presente que la rugosidad elevada no mejora la adherencia, además que el consumo de pintura aumenta.



En vista que el chorreado limpia completamente la pieza como los canales de alimentación, mazarotas, bebederos, etc. estos pueden ser retornados para volver a ser fundidos, sin que contengan residuos de arena.

Con la utilización de los recortes de clavos como abrasivo, estamos dando un aprovechamiento de un material de rechazo del proceso de fabricación del clavo, además que puede ser incrementada su dureza por tratamiento térmico, por lo que su uso sería muy económico.

Cuando el chorro de abrasivos impacta en la dirección vertical, mientras más se aleja la pieza de la turbina, el área cubierta por el chorro (patrón de chorro) y la intensidad de impacto aumentan, ya que se suma la energía cinética la energía potencial, contrariamente cuando el chorro impacta en dirección horizontal, la energía de impacto disminuye con la distancia.

Hay que destacar el hecho que en la máquina que se realizó las pruebas es del tipo mesa giratoria, en la cual la limpieza total solo se realiza en la parte superior, mientras que la limpieza en las partes laterales es poca y quedando sin limpiar la parte inferior, por lo que hay que cambiarlas constantemente de posición, aumentando con esto el tiempo muerto. Esto puede ser mejorado colocando múltiples turbinas en la cámara de chorreado.

Los materiales seleccionados para la turbina no presentaron ningun problema, en vista que el abrasivo que manejaba era muy suave, pero hay que tener muy en cuenta que las granallas lleguen a la turbina libre de arena, ya que estos reducen la vida útil de las partes, además existen las regulaciones legales sobre contaminación y medio ambiente que establecen un máximo de 2 % de partículas de arena de sílice en el area de limpieza, como forma de prevenir riesgos por enfermedades en los operadores.

Es muy importante que dentro del flujo de la granalla que entra a la turbina no contenga restos de pequeñas rebarbas u otras partículas grandes de metal, ya que esto origina severo desgaste y traba en el sistema, llegándose incluso a quebrarse las partes.

Se establece que la velocidad de operación de limpieza depende del tipo de abrasivo y su fuerza de impacto, lo primero de la forma y calidad y lo segundo del tamaño del abrasivo y su velocidad.

Además de la remoción de arena, el chorreado puede eliminar también otros elementos extraños como óxido, costras, pintura, calamina, escoria de soldadura, incrustaciones, etc. por lo que las piezas tratadas por chorro centrífugo quedan completamente limpias y si no van a ser maquinadas o pintadas, estos pueden ser

despachados para su uso tal como quedan, ya que presentan con un aspecto satinado.

Por último comparando con otros métodos de limpieza el chorreado con turbinas no corroe la superficie del metal como con la limpieza con solventes químicos, ni tiene problemas de oxidación como con el chorro húmedo y mientras que con el chorrado con aire comprimido, tenemos lo siguiente:

### CHORREADO CON TURBINA

#### VENTAJAS

- Mayor rapidez de operación.
- Más seguro.
- El chorro cubre más superficie.
- Menor consumo de energía.
- Alta eficiencia.
- Menos peligro de contaminación ambiental.
- Bajos costos de limpieza.
- Autosuficiente.
- No necesita de compresor de aire.

#### DESVENTAJAS

- Altos costos iniciales.
- Es inmóvil.
- No es tan flexible.
- No es ideal para ciertas aplicaciones.

## CHORREADO CON AIRE COMPRIMIDO

### VENTAJAS

- Es muy portatil.
- Es flexible.
- De operación sencilla.
- Puede ser usada en lugares abiertos.

### DESVENTAJAS

- Necesita de un compresor de aire de gran capacidad.
- Necesita de tanque de almacenamiento, cañerías, valvulas, mangueras, etc.
- Necesita equipo de seguridad.
- Manualmente operada.
- Produce contaminación ambiental.



## CAPITULO IX

### ANALISIS ECONOMICO

En este capítulo estableceremos los costos que demandó la realización del presente proyecto, vamos a considerar los costos reales, no serán considerados las ganancias, porque este trabajo es relativamente nuevo en nuestro medio y la finalidad del mismo fue el afán de asimilar tecnología, tampoco se cuantificó lo referente a la elaboración de documentos y planos que se necesitó.

El análisis económico que a continuación se hará tan solo se presenta los costos de producción de la turbina, que demandó la ESPOL por intermedio del proyecto BID-ESPOL II, según el proyecto de construcción de máquinas para el laboratorio de metalurgia.

Los costos de producción están conformados por los costos directos (costo primo) y los costos indirectos (costos de fabricación o carga fabril), a su vez los costos directos

lo conforman los materiales directos y la mano de obra directa. Los costos indirectos lo conforman los materiales indirectos, mano de obra indirecta y los gastos generales.

Para la recolección de estos costos se lo hizo por medio del sistema de órdenes de trabajo, siendo este formulario compuesto por diferentes recuadros para determinar el costo de la materia prima, mano de obra y costos indirectos. Respecto a la materia prima la determinación del costo se limita a multiplicar el consumo de cada material por su costo unitario. En cuanto a mano de obra, es necesario cuantificar su costo por multiplicación del tiempo ocupado por cada operario en cada orden, por su costo-hora. Para el control del tiempo se utiliza la tarjeta de tiempo.

Se emite semanalmente una de estas tarjetas por cada operario y en ellas se van anotando las actividades efectuadas y su duración. Al final se las recoge y los tiempos empleados se van cargando a las correspondientes órdenes de trabajo, a medida que estas van siendo terminada. Finalmente se computan en cada orden su cuota de gastos indirectos.

Una vez costeadas las materia prima directa, la mano de obra directa y los costos indirectos, se suman tal como se observa en el siguiente cuadro:

## Materiales directos

Chatarra y elementos aleantes	S/. 18.000	
Barras de acero	S/. 5.780	
Elementos de sujec	S/. 3.485	
Bandas, poleas, rodamientos	S/. 30.690	
Motor	S/. 75.000	
		<hr/>
		S/. 132.955

## Mano de obra directa

Salario + beneficios de ley	S/. 88.700	
		S/. 88.700

## Materiales indirectos

Coke, caliza, carburo	S/. 9.250	
Arena, bentonita, plumbagina	S/. 1.495	
Modelos de madera	S/. 26.000	
Varios	S/. 3.250	
		<hr/>
		S/. 40.095

## Mano de obra indirecta

Sueldo	S/. 67.600	
		S/. 67.600
		=====
SUMAN	S/. 329.350	

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo cumple con los propósitos para el cual fue creado, siendo su construcción una parte fundamental para el funcionamiento de la máquina granalladora de la ESPOL. En el transcurso de este trabajo se desarrolló tecnología propia y adaptación de tecnología más avanzada, tanto en el área de diseño, como en el área de fundición, logrando con esto evitar la dependencia tecnológica.

En cuanto al diseño podemos acotar que la efectividad de la máquina fue comprobado en todo sentido, en el hecho de no haber fallado ningún elemento constitutivo del sistema, cuando fueron sometidos a las solicitudes para los cuales fueron calculados. Con respecto a la selección de materiales no hubieron serios problemas, aunque para su fabricación se presentó cierta dificultad, en vista del que proceso del moldeo en cáscara (Shell) aún no está puesto a punto en el laboratorio de fundición, por lo que



las piezas de fundición blanca aleada para la rueda de distribución y cápsula de control tuvieron que ser cambiadas a fundición de hierro gris, para que sean maquinadas y posteriormente templadas.

El establecimiento de las dimensiones y valores adecuados de esta turbina se dio a partir de cálculos, observación de otros diseños y experiencias preliminares. Algunos de estos parámetros ya han sido establecidos por fabricantes extranjeros, pero son quienes poseen como propiedad exclusiva, y por lo tanto no están al alcance de todos.

Como se puede ver, el diseño de esta turbina no es sofisticado, sino por lo contrario es sencillo, siendo que la limpieza centrífuga representa una revolución en los sistemas de limpiezas de piezas en general, transformando demoras de operaciones artesanales en un sistema de gran rendimiento, el granallado no solo limpia la superficie sino que en la operación misma confiere a la pieza un bonito aspecto satinado, por lo que el proceso de limpieza con turbina levanta una verdadera barrera para que se lo acepte como una nueva opción viable y segura.

Se puede establecer que el presente diseño presenta las siguientes ventajas:

Ventajas técnicas .- Limpieza perfecta y eficiente; buena presentación de la superficie, válido para cualquier

proceso de limpieza; mejora los métodos de producción, mejorando la calidad de las piezas y permitiendo un control preciso.

Ventajas económicas .- Ahorro de energía; costos de mantemiento reducidos; recuperación del 60 al 80 % de la arena; manejo de un solo operario; limpieza económicamente rentable.

Ventajas higiénicas .- En cuanto a la operación el operador dirige la máquina desde el exterior, sin el peligro de impacto de las granallas, además sin la presencia de polvo y bajo nivel de ruido.

Las experiencias conseguidas en la realización de este trabajo nos ponen en la capacidad de hacer las siguientes recomendaciones:

Efectuar una inspección periódica de las partes que estan sometidas al desgaste, además de hacer pruebas con otros materiales que sean resistente al des<sup>a</sup>gaste como hierro blanco al alto cromo, al cromo - molibdeno o con materiales sinterizados.

Que se investigue la utilización de los recortes de clavos endurecidos por tratamiento térmico para aumentarle la dureza.

Establecer la versatilidad de la turbina en cuanto a sus usos, siendo este por ejemplo utilizable en la limpieza

de partes corroídas.

Hacer pruebas con otros abrasivos como granallas de acero, alambre de acero, esferas de vidrio o materiales sinterizados y establecer diferencias tanto de la rapidez de chorreado, como grado de limpieza y desgaste de las partes.

Investigar el proceso de endurecimiento por deformación (shot peening) más conocido como martilleo y que puede ser realizado en este tipo de turbina.

Probar la turbina con preaceleración con aire a alta presión en lugar la rueda de distribución y establecer las diferencias respectivas.

## PLANOS PARA CONSTRUCCION

A continuación se presentan los planos para la construcción de la turbina. La norma seguida en los dibujos es la sugerida por el código INEN # 009.

Para el sistema de numeración cada plano lleva un código de identificación, los números se generan de izquierda a derecha. El primer espacio representa el número del proyecto de construcción de máquinas del laboratorio de metalurgia; el segundo espacio indica el plano de subconjunto; el tercer espacio indica plano de despiece del subconjunto y, el último espacio indica el año de realización del plano.

PLANO # 7.05.00.86 TURBINA F

PLANO # 7.05.01.86 EJE DE LA TURBINA

PLANO # 7.05.02.86 CHAVETA

PLANO # 7.05.03.86 MANGUITO A

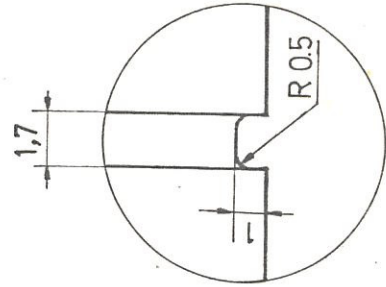
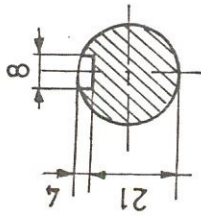
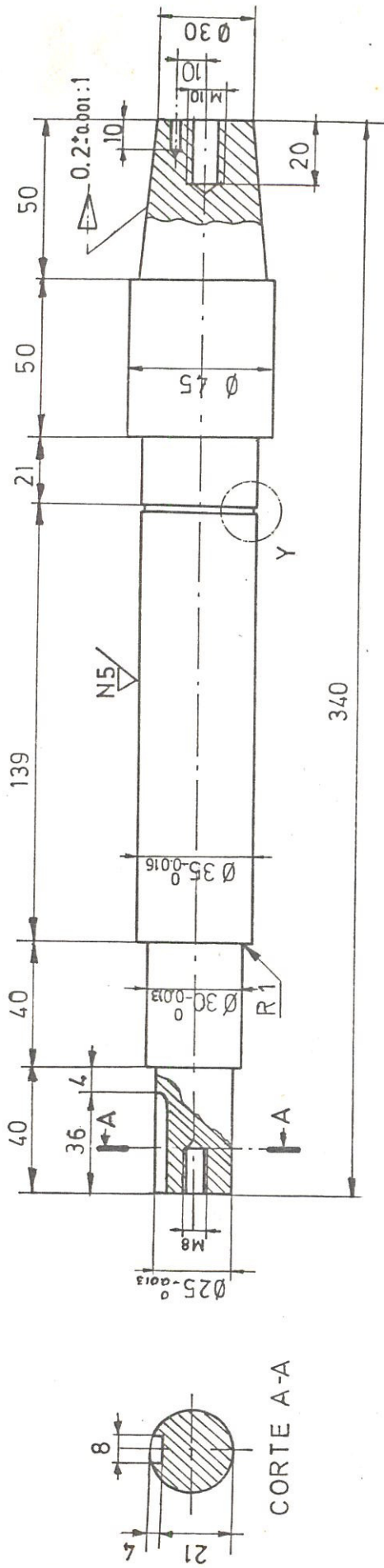
PLANO # 7.05.04.86 TAPA DEL RODAMIENTO

PLANO # 7.05.05.86 CAJA DE RODAMIENTOS F

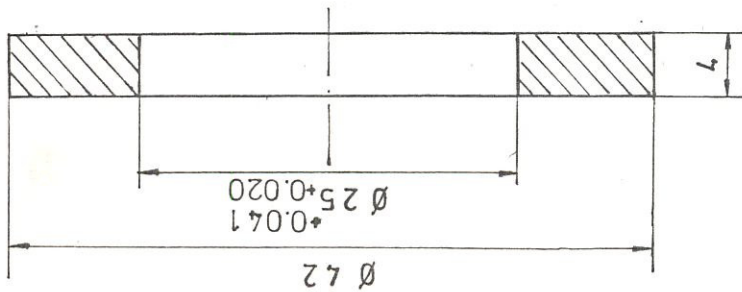
PLANO # 7.05.06.86 MAGUITO B



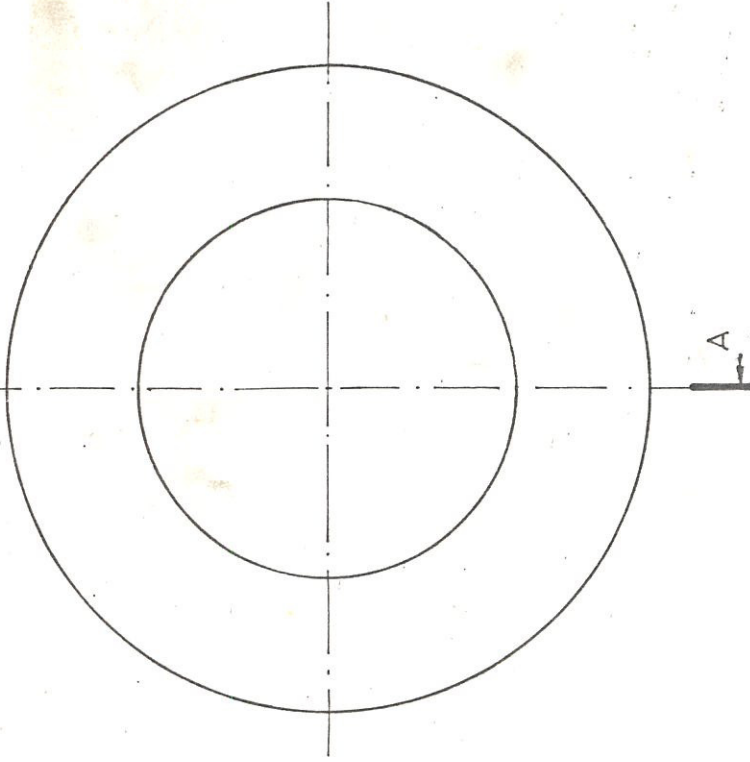
PLANO # 7.05.07.86 MAGUITO C		
PLANO # 7.05.08.86 GUIA A	F	
PLANO # 7.05.09.86 BLINDAJE LATERAL SUPERIOR	X	
PLANO # 7.05.10.86 BLINDAJE SUPERIOR	X	
PLANO # 7.05.11.86 CARCAZA SUPERIOR	X	
PLANO # 7.05.12.86 ESLABON	X	
PLANO # 7.05.13.86 AJUSTADOR	X	
PLANO # 7.05.14.86 GUIA B	F	
PLANO # 7.05.15.86 CODO DEL CONDUCTO	X	
PLANO # 7.05.16.86 POSICIONADOR DE LA CAPSULA	F	
PLANO # 7.05.17.86 CARCAZA LATERAL INFERIOR A	X	
PLANO # 7.05.18.86 CONDUCTO DE ALIMENTACION		
PLANO # 7.05.19.86 CAPSULA DE CONTROL	✓	NO existe
PLANO # 7.05.20.86 BLINDAJE LATERAL INFERIOR A	X	
PLANO # 7.05.21.86 DISCO A	✓	
PLANO # 7.05.22.86 PALETA	✓	
PLANO # 7.05.23.86 SEPARADOR	✓	
PLANO # 7.05.24.86 DISCO B	✓	
PLANO # 7.05.25.86 BLINDAJE LATERAL B	X	
PLANO # 7.05.26.86 RUEDA DE DISTRIBUCION	✓	
PLANO # 7.05.27.86 MANZANA	✓	
PLANO # 7.05.28.86 TAPA DE RODAMIENTO B	X	



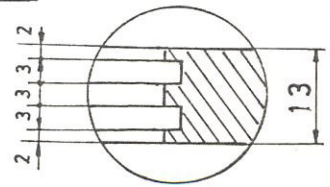
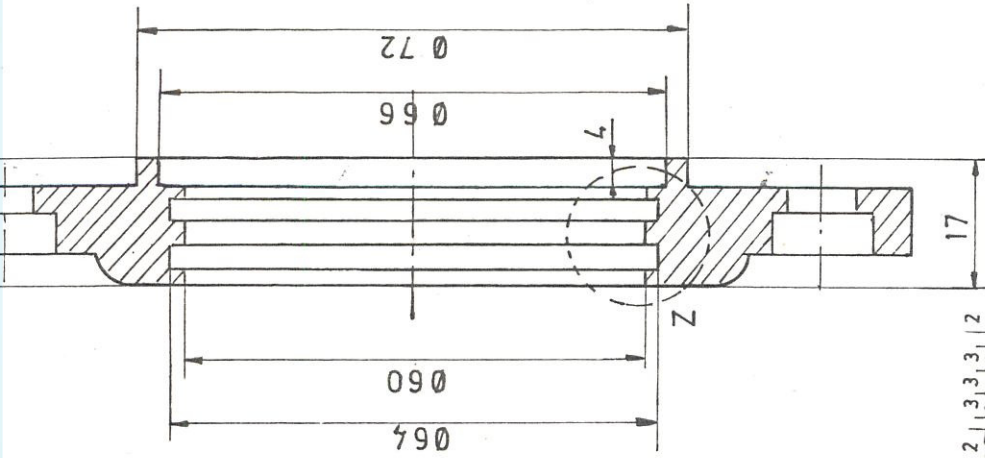
ESPOL		FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		EJE		7.05.01.86	
fecha	nombre	dibujo	reviso	compr.	9/86	9/86	9/86
9/86	D'Segovia	9/86	Tapia	9/86	Belguero		
E 1:2	ISO E	N 7					
						cantidad	
						1	



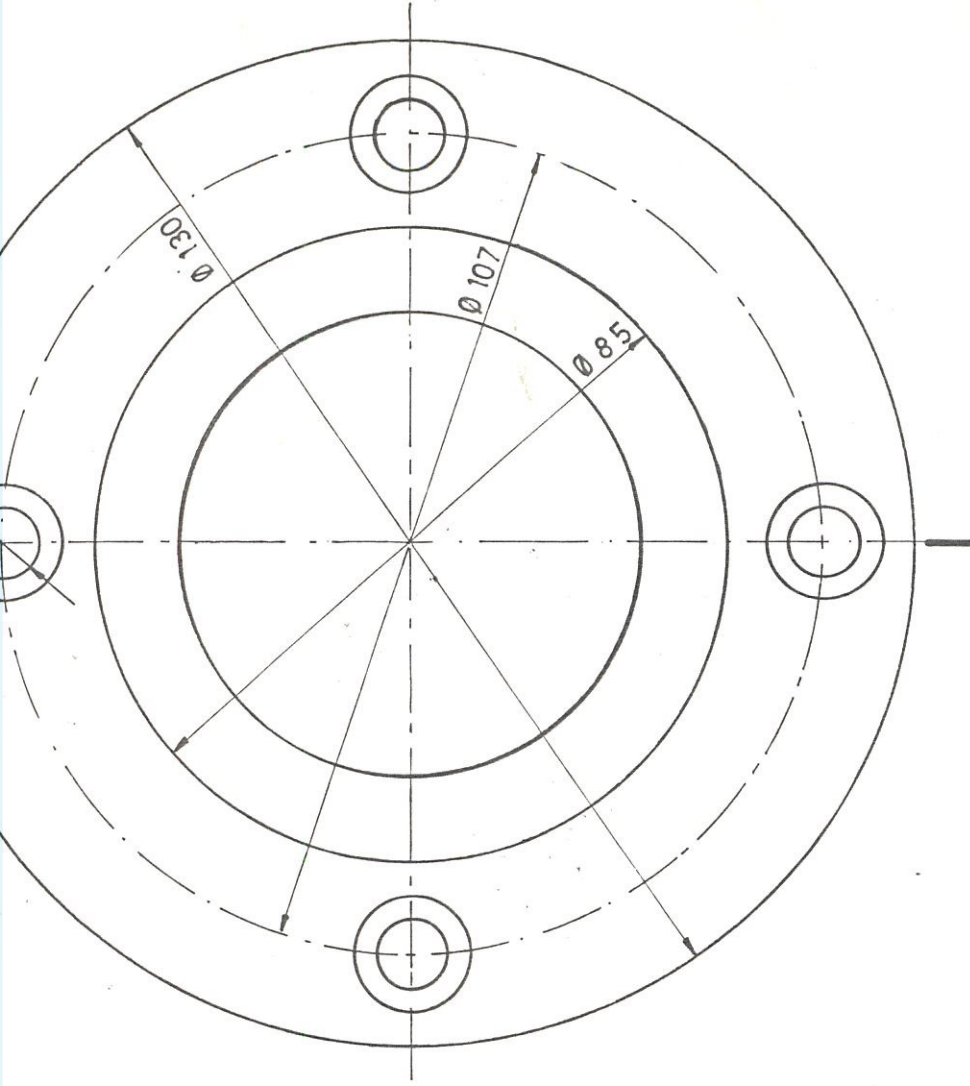
CORTE A-A



<div> <div> <div>fecha</div> <div>nombre</div> </div> <div> <div>dibujo</div> <div>reviso</div> <div>compr</div> </div> <div> <div>9/86</div> <div>9/86</div> <div>9/86</div> </div> <div> <div>D'Segovia</div> <div>Tapia</div> <div>Helguero</div> </div> </div>		<div>FACULTAD DE</div> <div>INGENIERIA MECANICA</div>	<div>ESPOL</div>
<div>E 2:1</div> <div>ISO E</div> <div>N8 / </div>		<div>MANGUITO A</div>	
<div>7.05.03.86</div>		<div>cantidad 1</div> <div>material acero transm</div>	



DETALLE Z



fecha	nombre
dibujo 9/86	D Segovia
reviso 9/86	Tapia
compr. 9/86	Helguero

FACULTAD DE  
INGENIERIA MECANICA

ESPOL

E 1:1

ISO E

N8

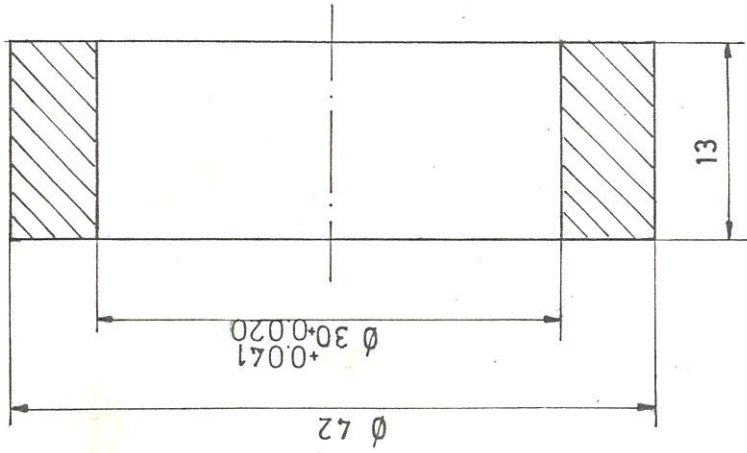
TAPA A

7.05.04.86

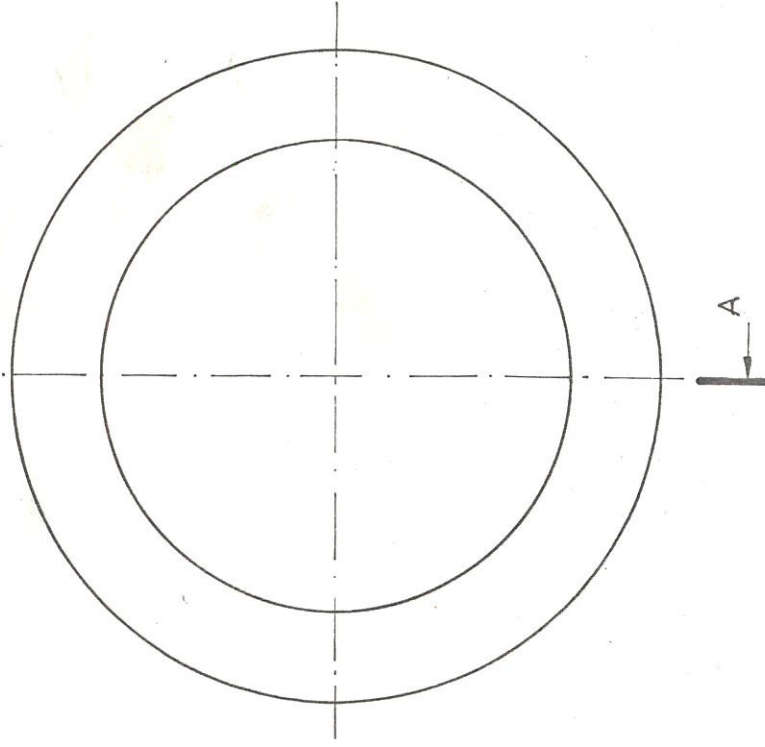
cantidad 1


material fundición gris

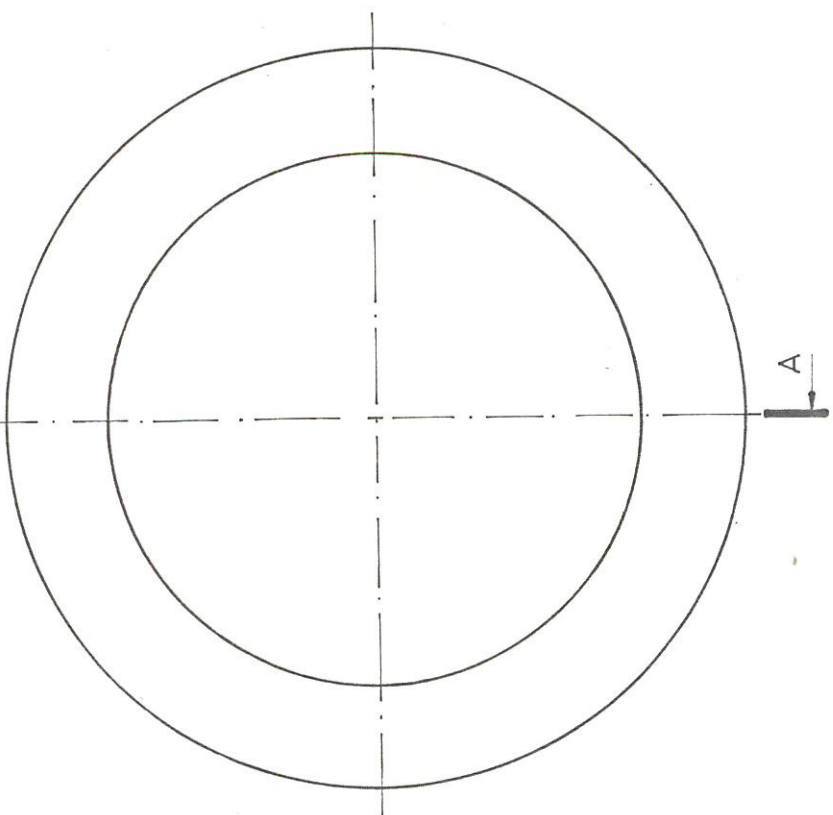




CORTE A-A

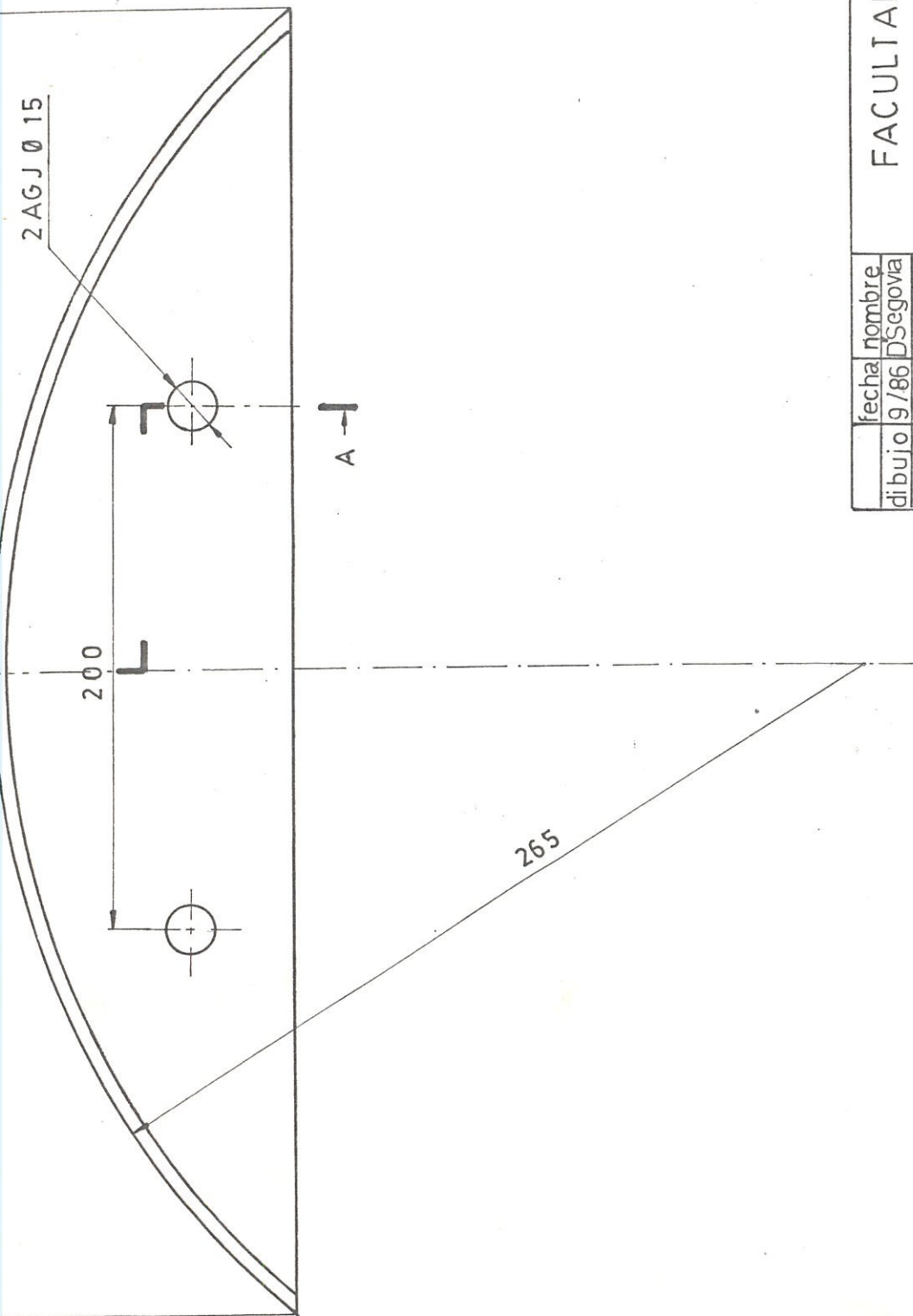


				FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		ESPOL	
fecha		nombre					
dibujo	9/86	D'Segovia					
reviso	9/86	Tapia					
compr.	9/86	Helguero					
E 2:1		MANGUITO		B		7.05.06.86	
ISO E							
N 8							
		cantidad		1		material	
						acero transm	



CORTE A-A

cantidad	1
material	acero transn

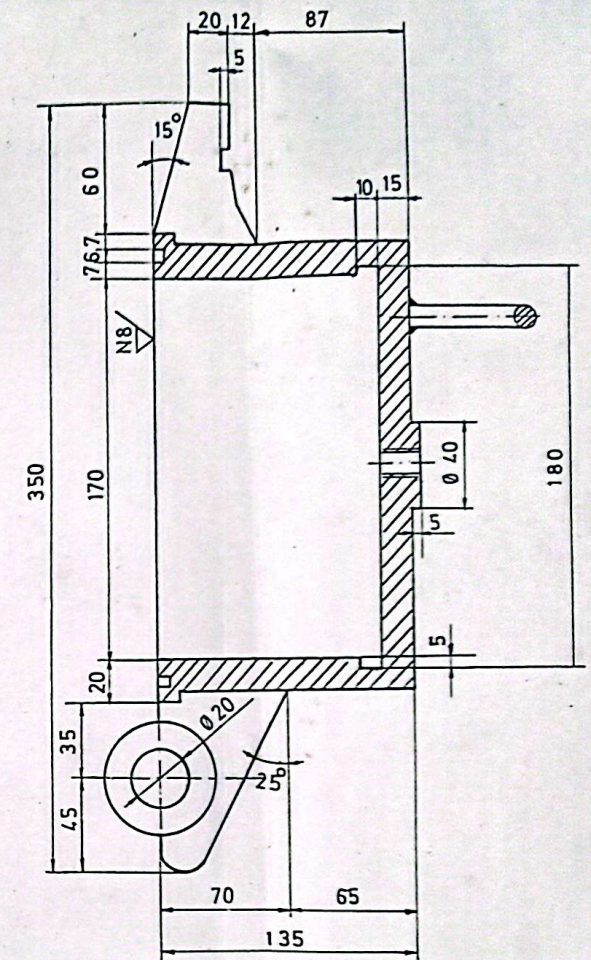
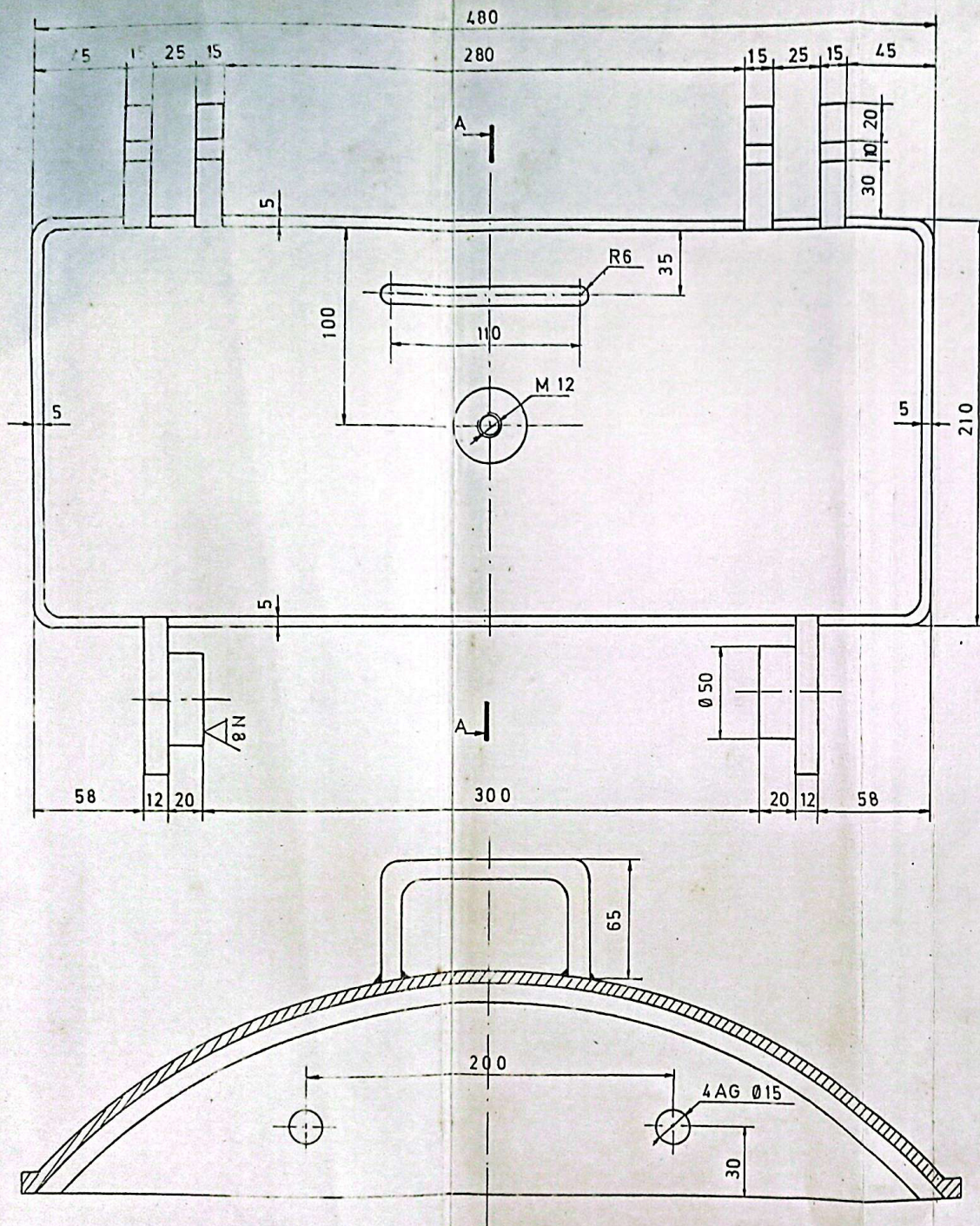


CORTE A-A

cantidad 2  
material fundición Ni-Cr



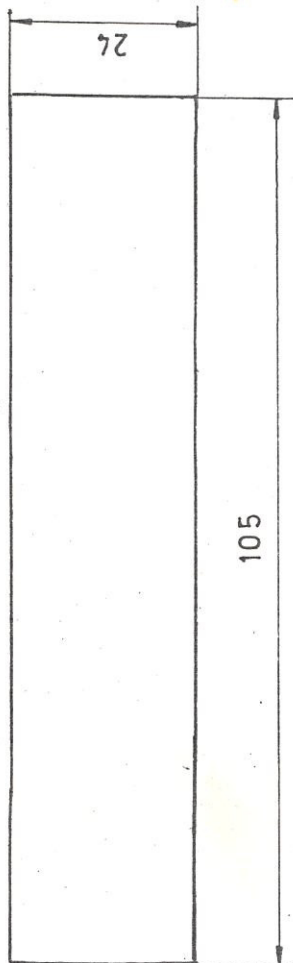
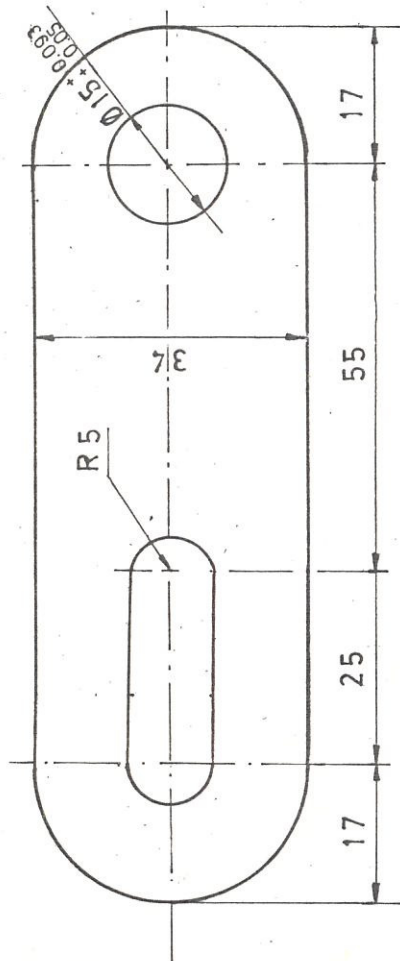




CORTE A-A

dibujo reviso compr.	fecha 9/86 9/86 9/86	nombre D. Segovia Tapia H. Quero	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA <b>ESPOL</b>
E 1:2.5 ISO E N12	CARCAZA SUPERIOR		7.05.11.86 cantidad 1 material hierro gris

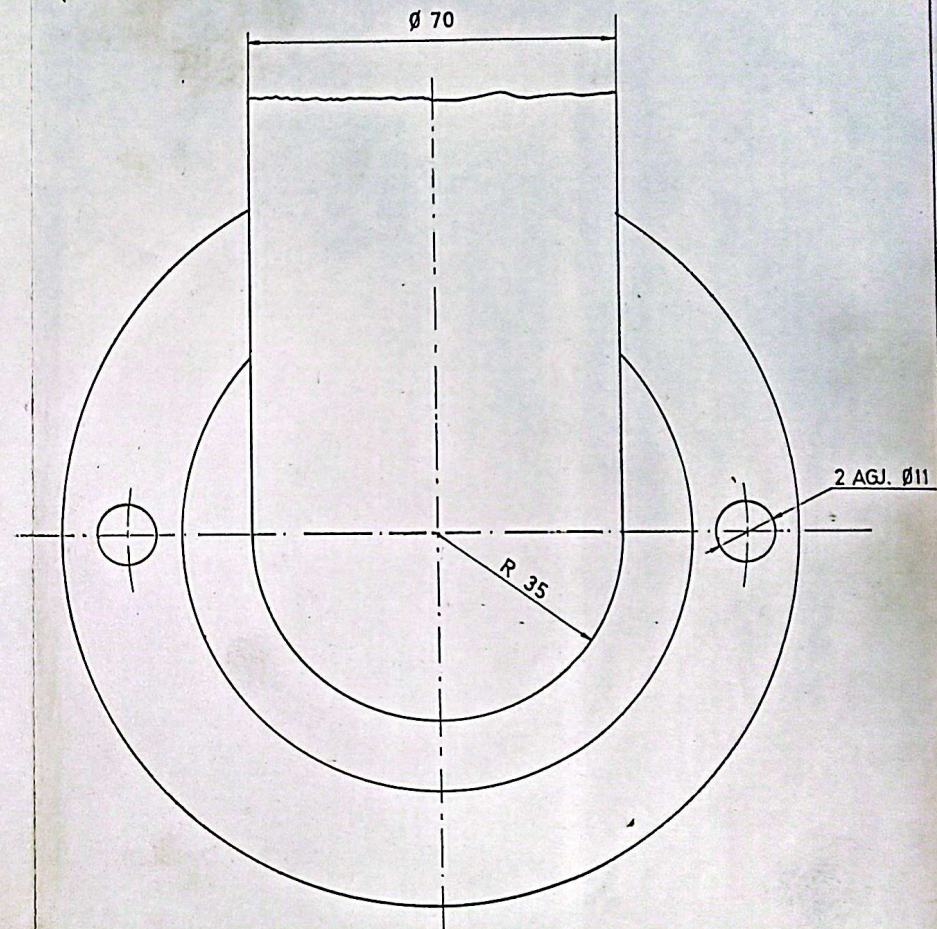
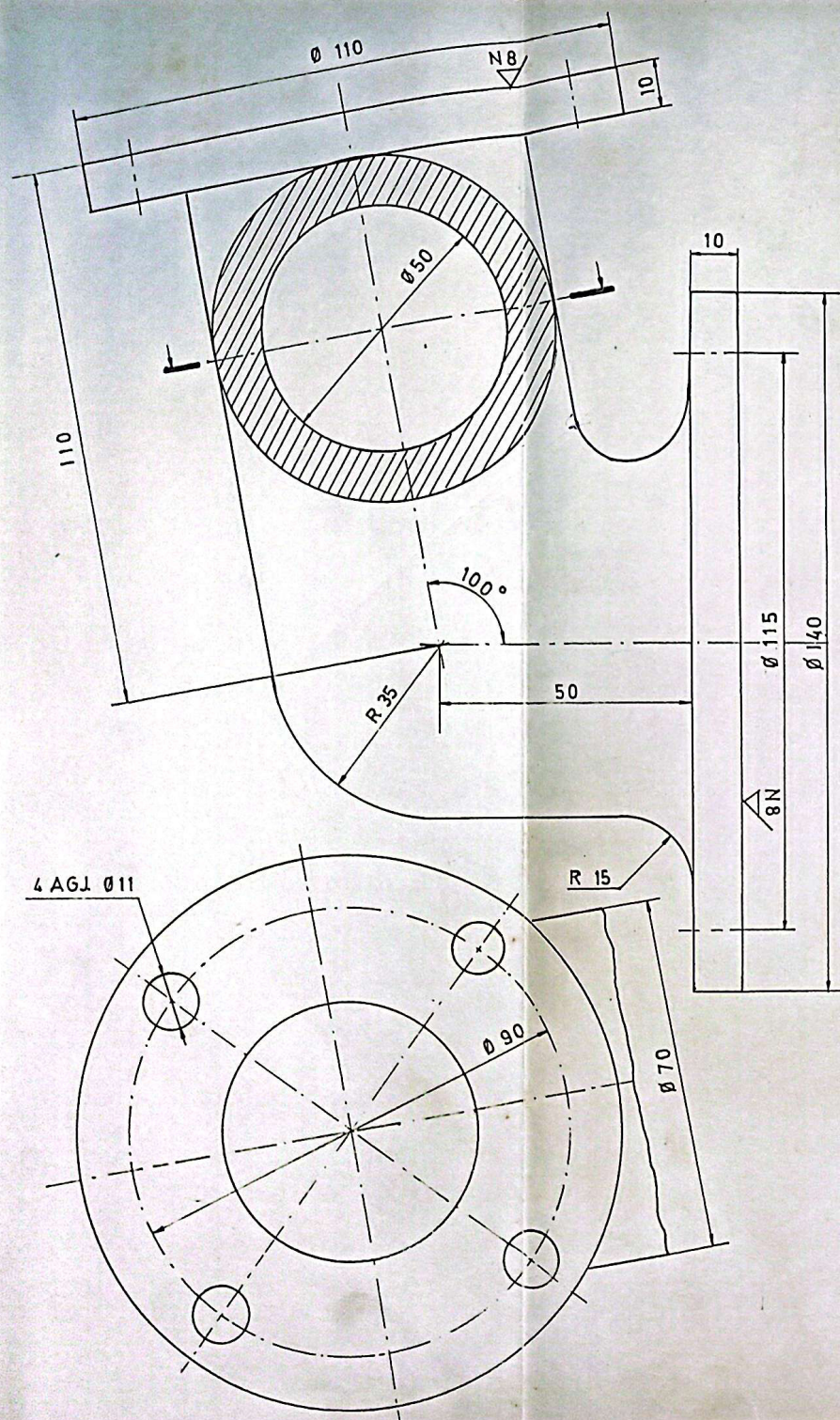




	fecha	nombre	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
dibujo	9 86	D'Segovia		
reviso	9 86	Tapia		
compr	9 86	Helguero		
E 1:1			ESLABON	7.05.12.86
ISO E				
N9/				
			cantidad	2
			materia	acero 1010

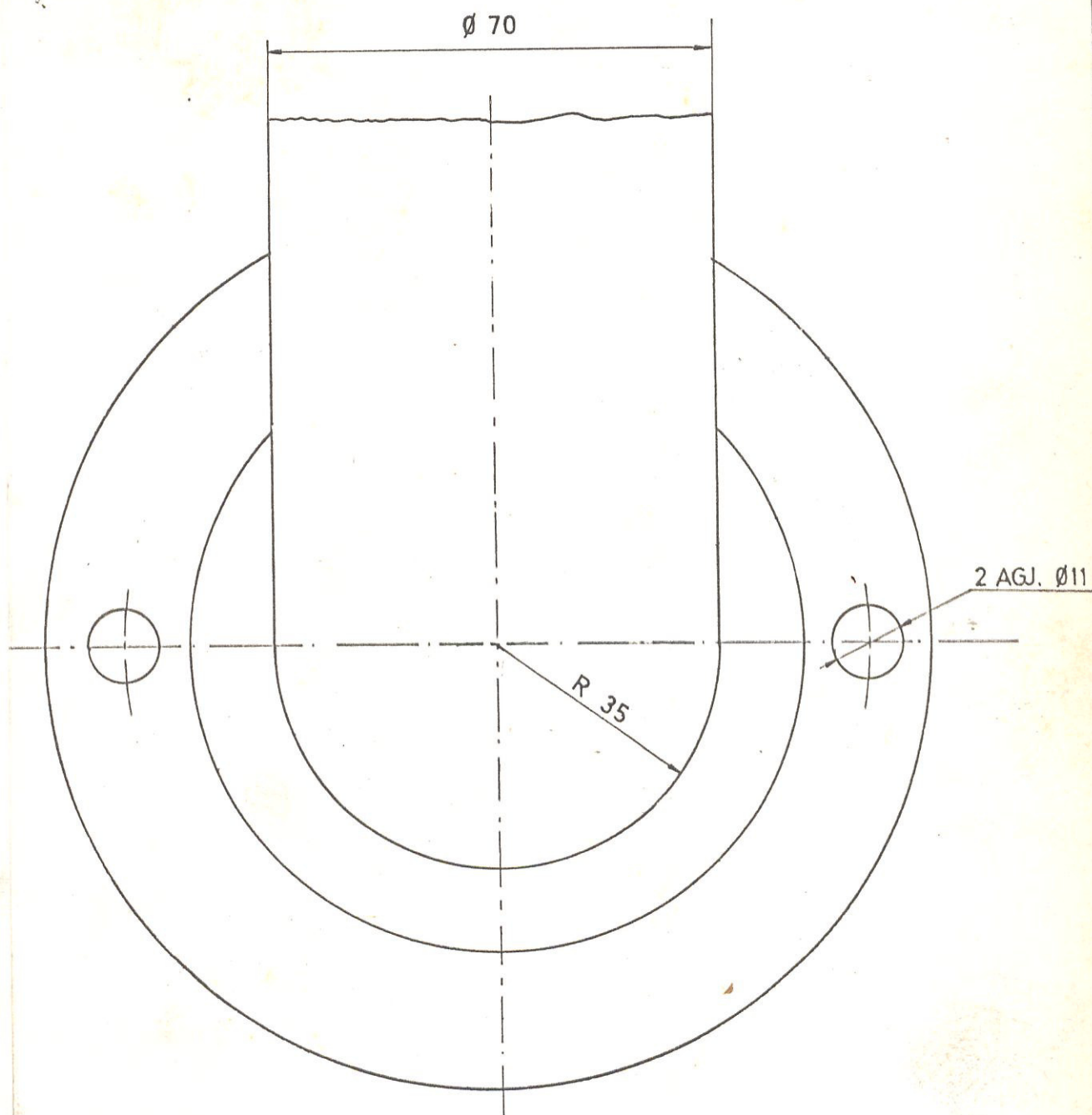




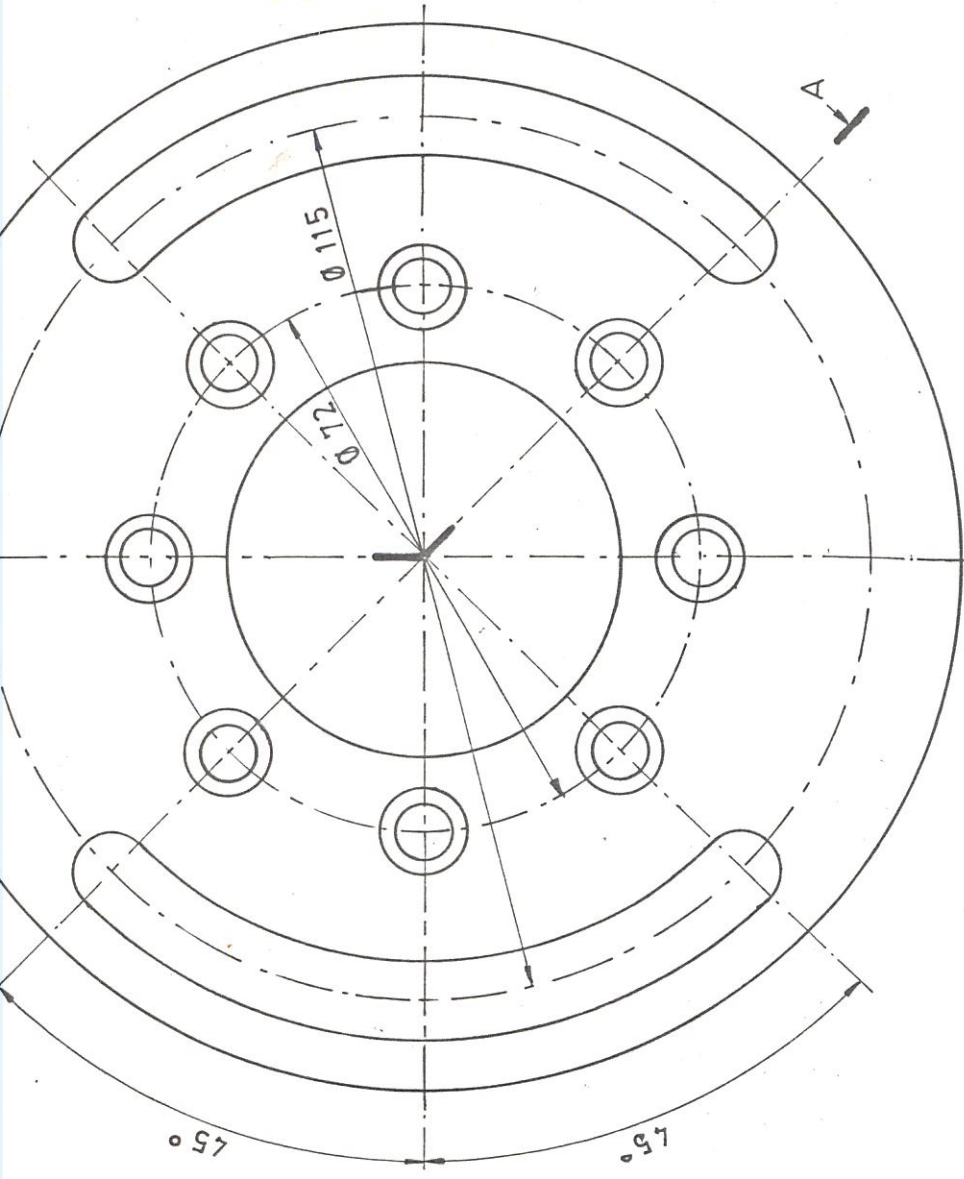
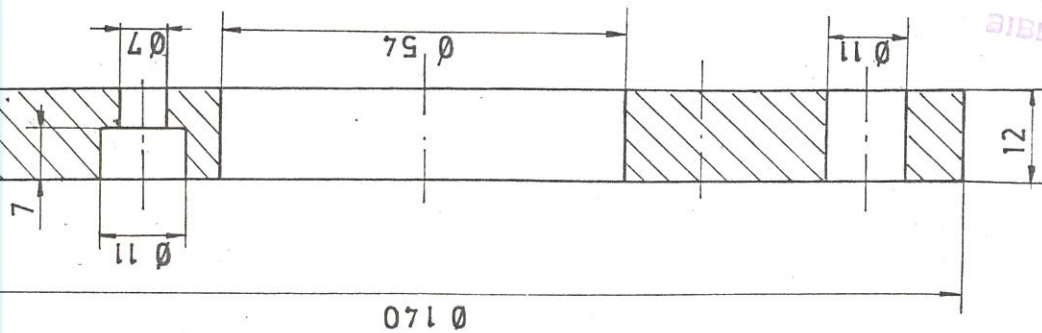


fecha 9/86 dibujó 9/86 revisó 9/86 compr. 9/86	nombre D. Segovia Tapia Helguero	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	<b>ESPOL</b>
E1:1	CODO DEL CONDUCTO	7.05.15.86	
N12		cantidad 1 material Hierro Gris	

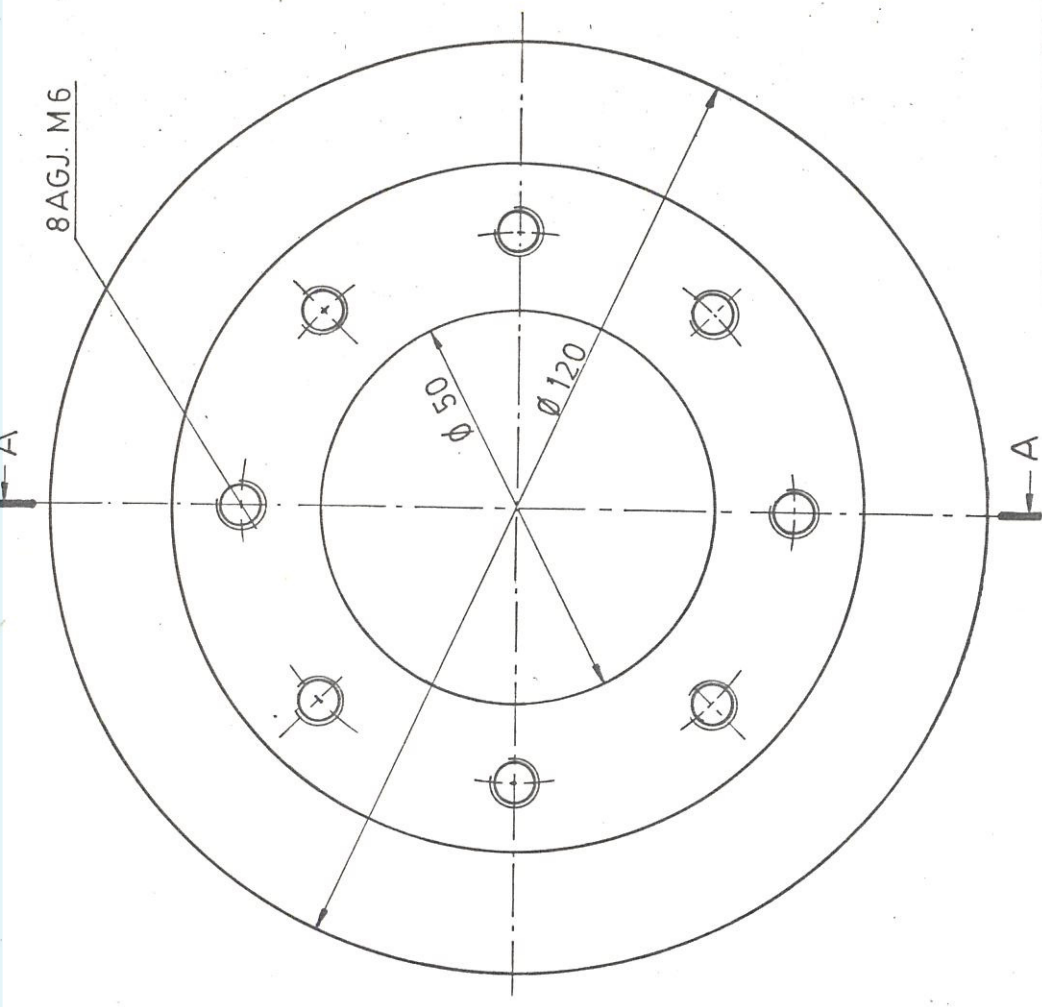
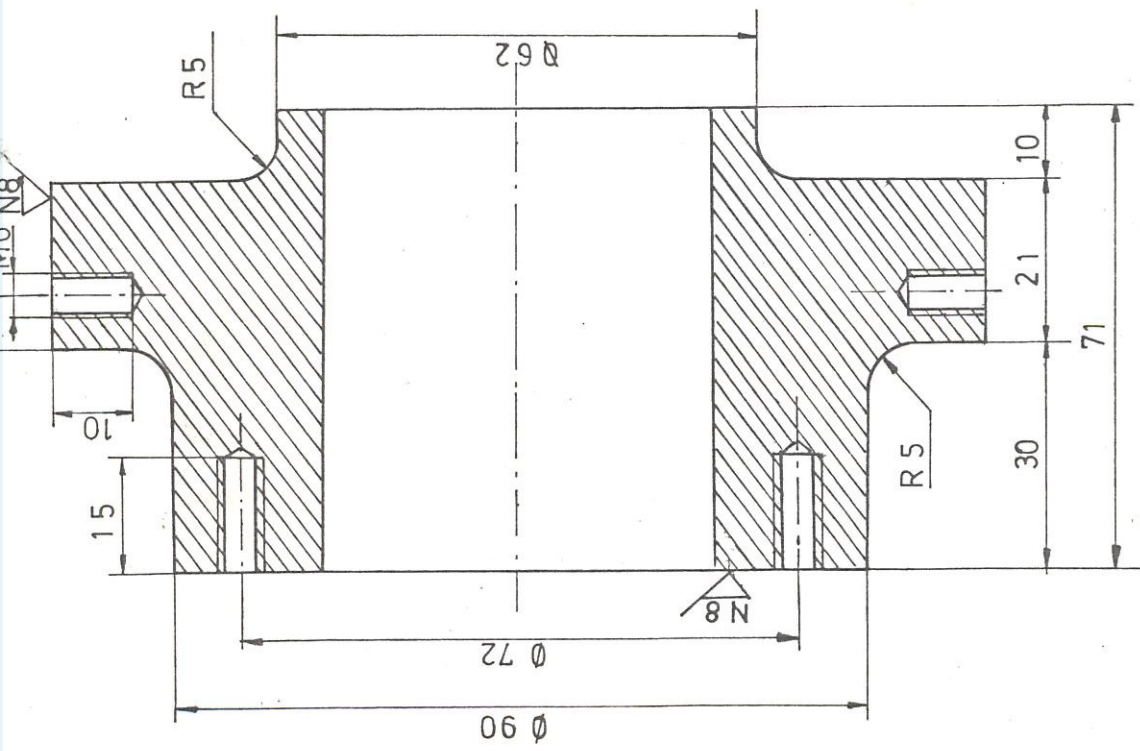




<div> <div></div> <div>dibujo</div> <div>reviso</div> <div>compr.</div> </div>	<div> <div>9/ 86</div> <div>9/ 86</div> <div>9/ 86</div> </div>	<div> <div>nombre</div> <div>D'Segovia</div> <div>Tapia</div> <div>Helguero</div> </div>	<div> <div>FACULTAD DE</div> <div>INGENIERIA MECANICA</div> </div>	<div> <div>ESPOL</div> </div>
<div>E1:1</div>	<div>CODO DEL CONDUCTO</div>			<div>7.05.15.86</div>
<div>N12</div>				<div> <div>cantidad</div> <div>1</div> </div>



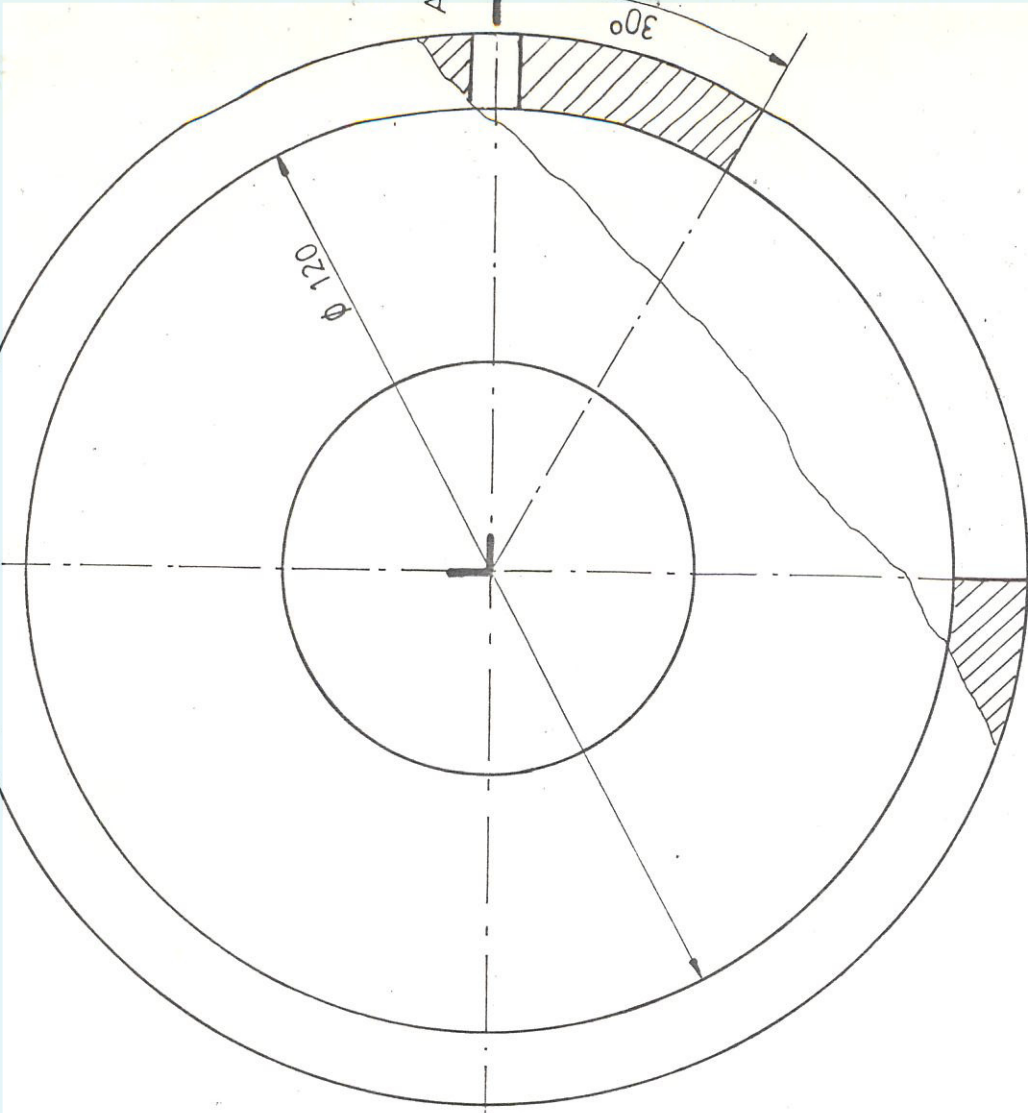
di bujo 9/86		fecha	nombre	
reviso 9/86			D Segovia	
compr. 9/86			Tapia	
			Helguero	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA				
ESPOL				
POSICIONADOR DE LA CAPSULA DE CONTROL				
7.05.16.86				
Cantidad 1				
material acero 1018				



dibujo 9/86	fecha 9/86	nombre D'Segovia	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
reviso 9/86	fecha 9/86	nombre Tapia	CONDUCTO DE ALIMENTACION	7.05.18.86
compr. 9/86	fecha 9/86	nombre Helguero	cantidad	cantidad

E 1:1  
 ISO E  
 N12/



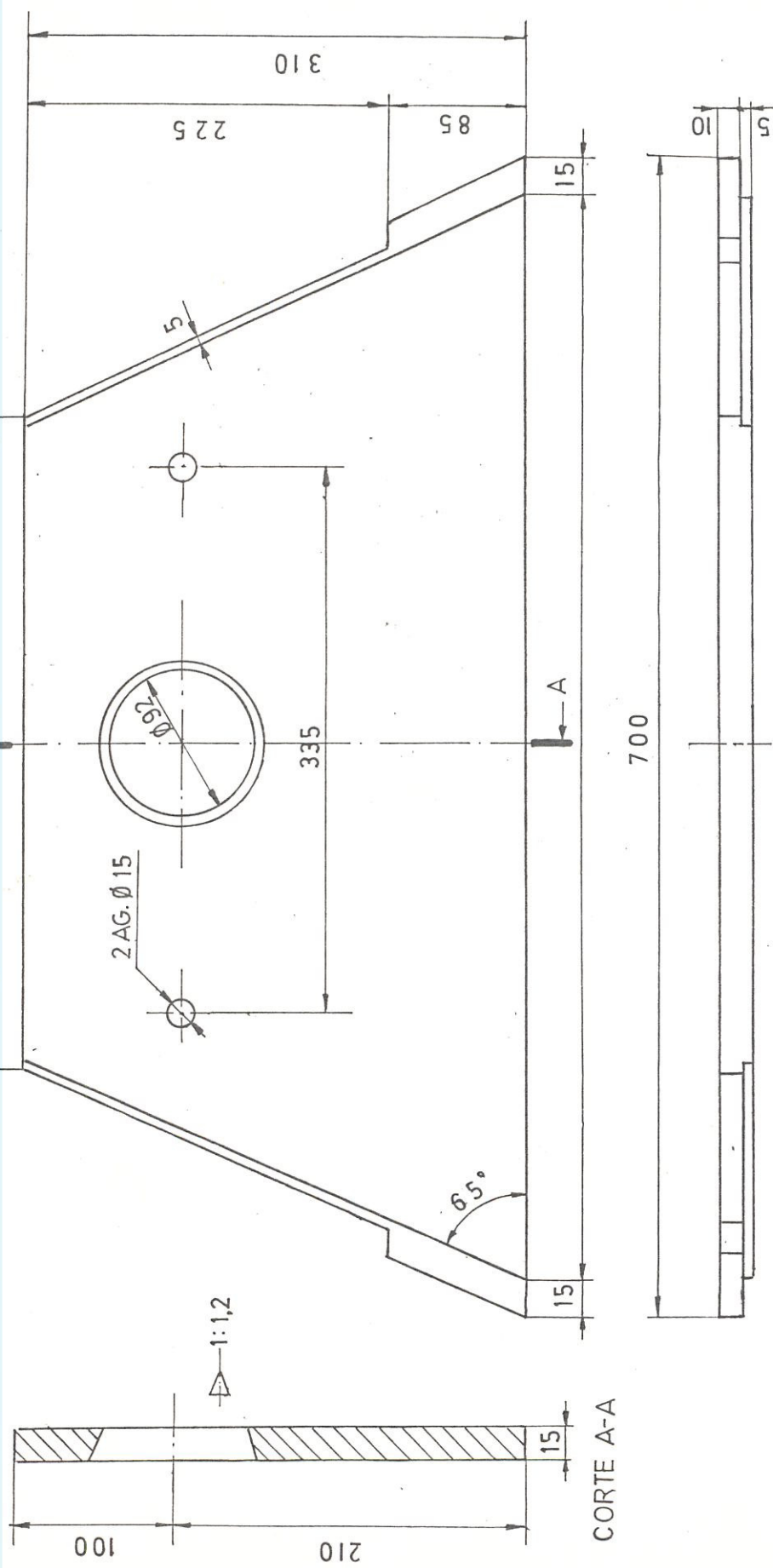


FACULTAD DE  
INGENIERIA MECANICA

8N

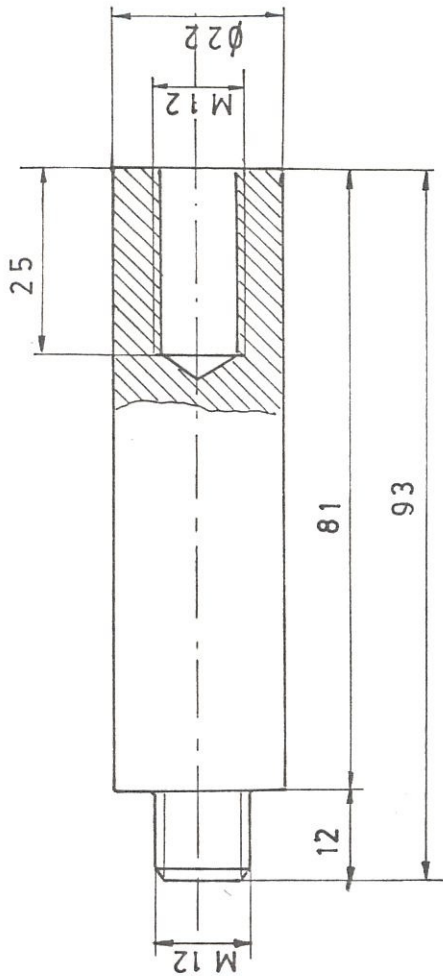
CAPSULA DE CONTROL



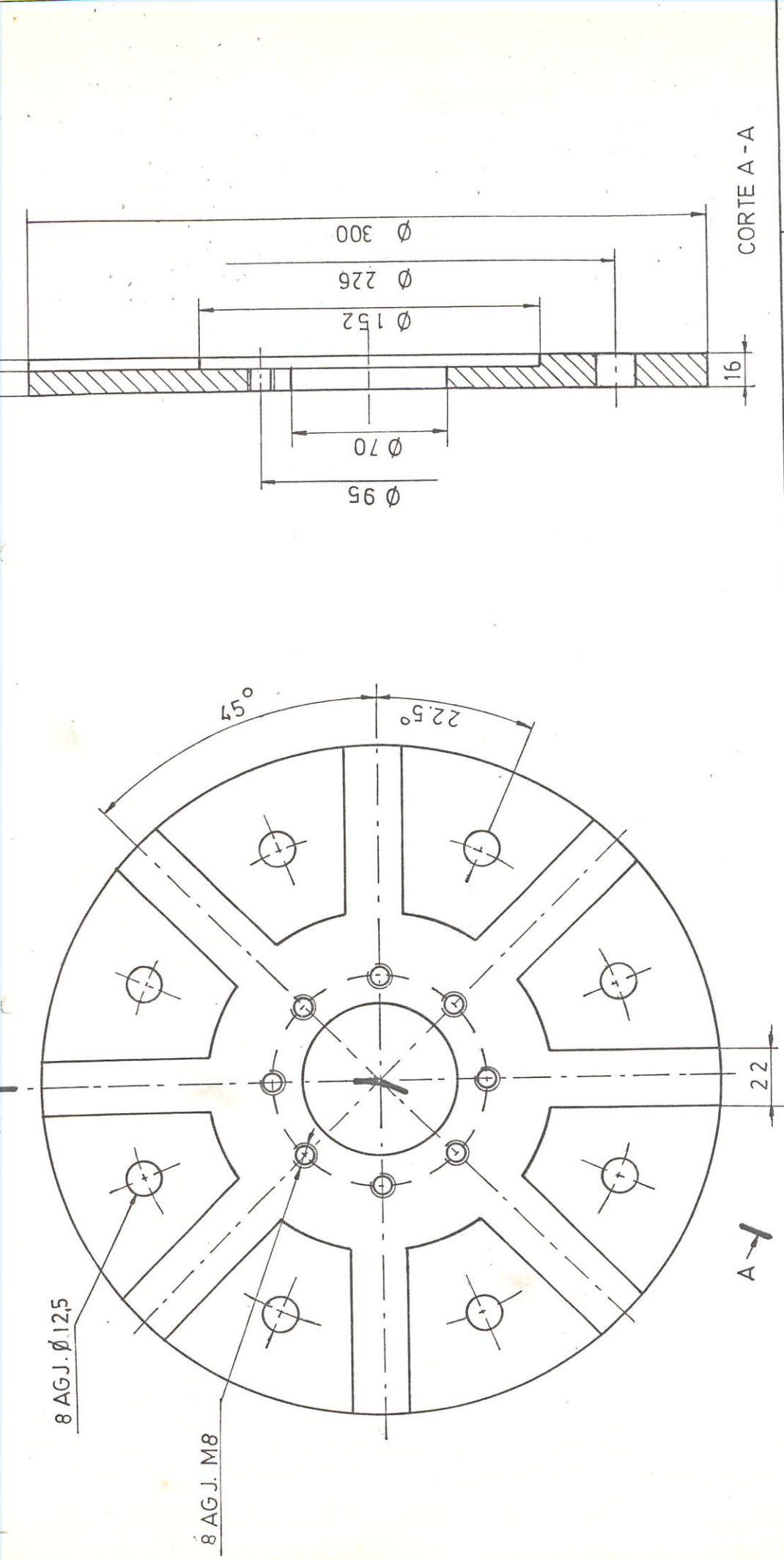


		fecha	nombre	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		ESPOL
di bujo		9/86	D'Segovia			
reviso		9/86	Tapia			
compr.		9/86	Helguero			
E 1:4		BLINDAJE LATERAL A			7.05.20:86	
ISO E						
N12/						



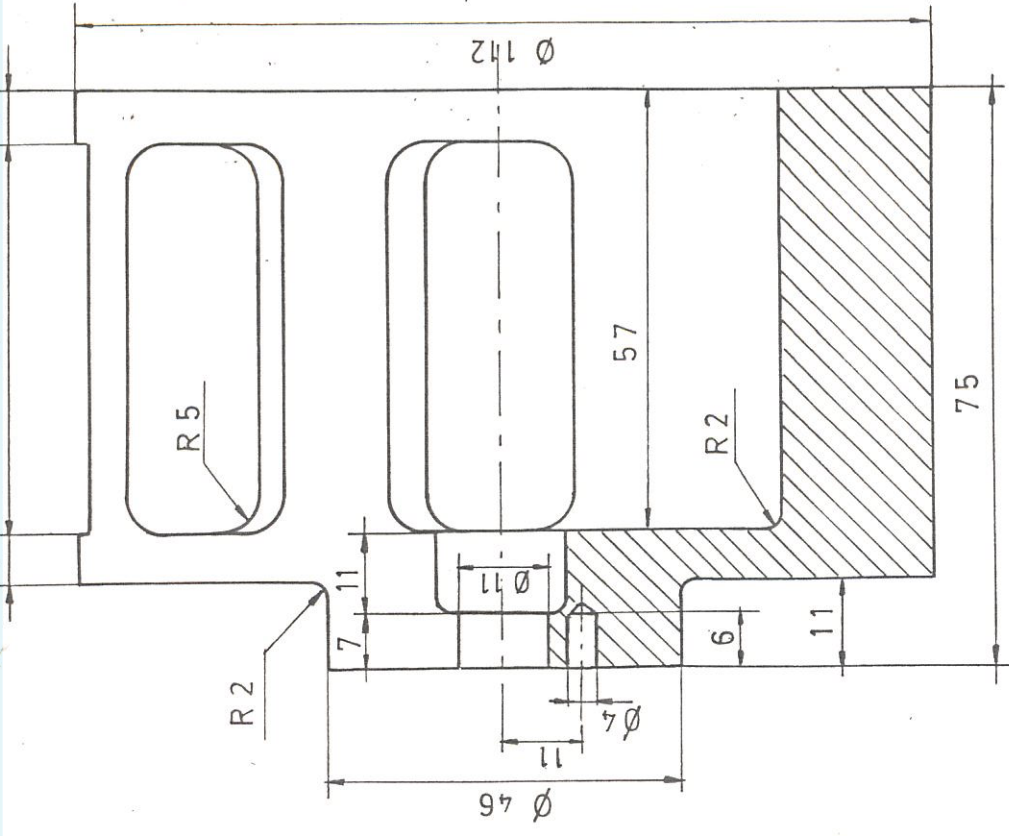
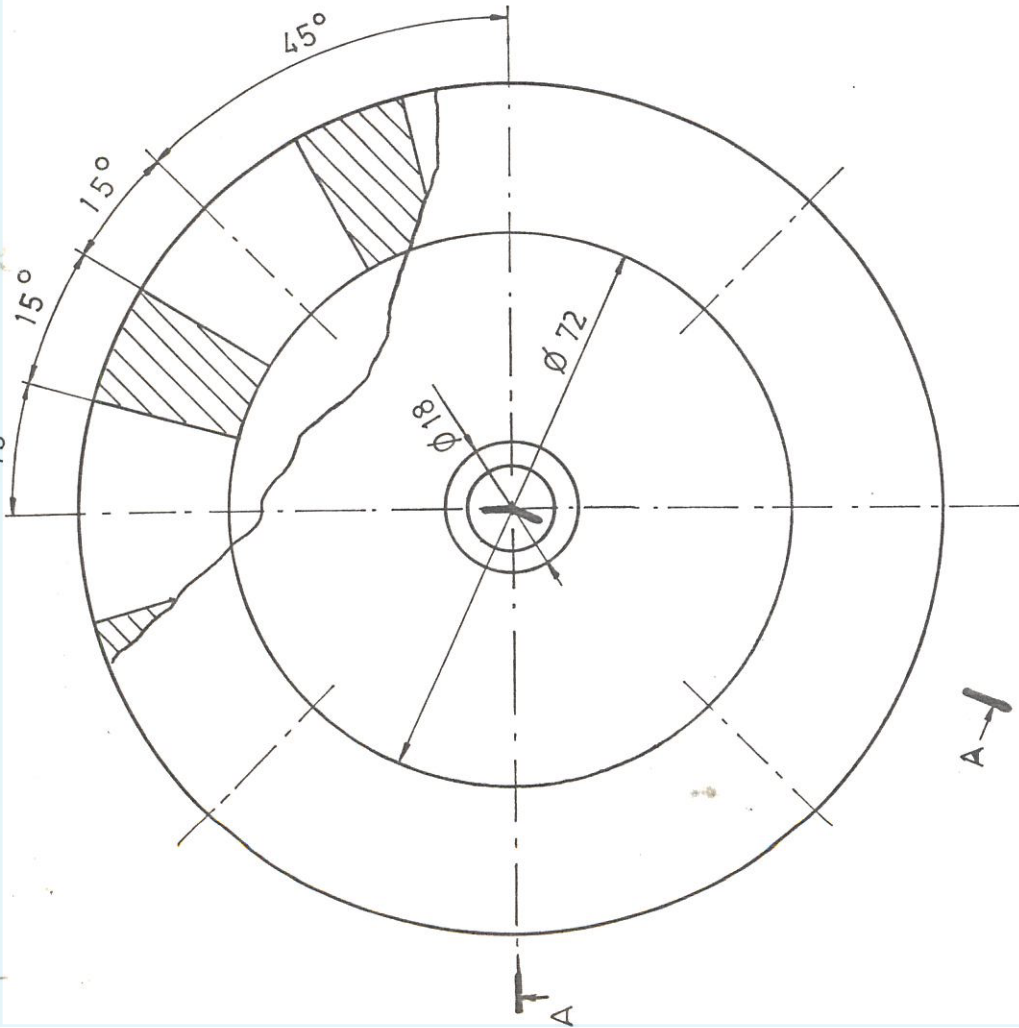


fecha		nombre	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
dibujo	9/86	D Segovia		
reviso	9/86	Tapia		
compr.	9/86	Helguero		
E 1:1			SEPARADOR	7.05.23.86
ISO E				
N8/				



ESPOL		7.05.24.86	
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA		DISCO LATERAL DERECHO	
fecha	nombre	E 1:25	N 8
dibujo	9/86 DSegovia	ISO E	
reviso	9/86 Tapia		
compr.	9/86 Helguero		





dibujo	fecha	nombre
reviso	9/86	DSegovia
compr.	9/86	Tapia
	9/86	Helguero

FACULTAD DE  
INGENIERIA MECANICA

ESPOL

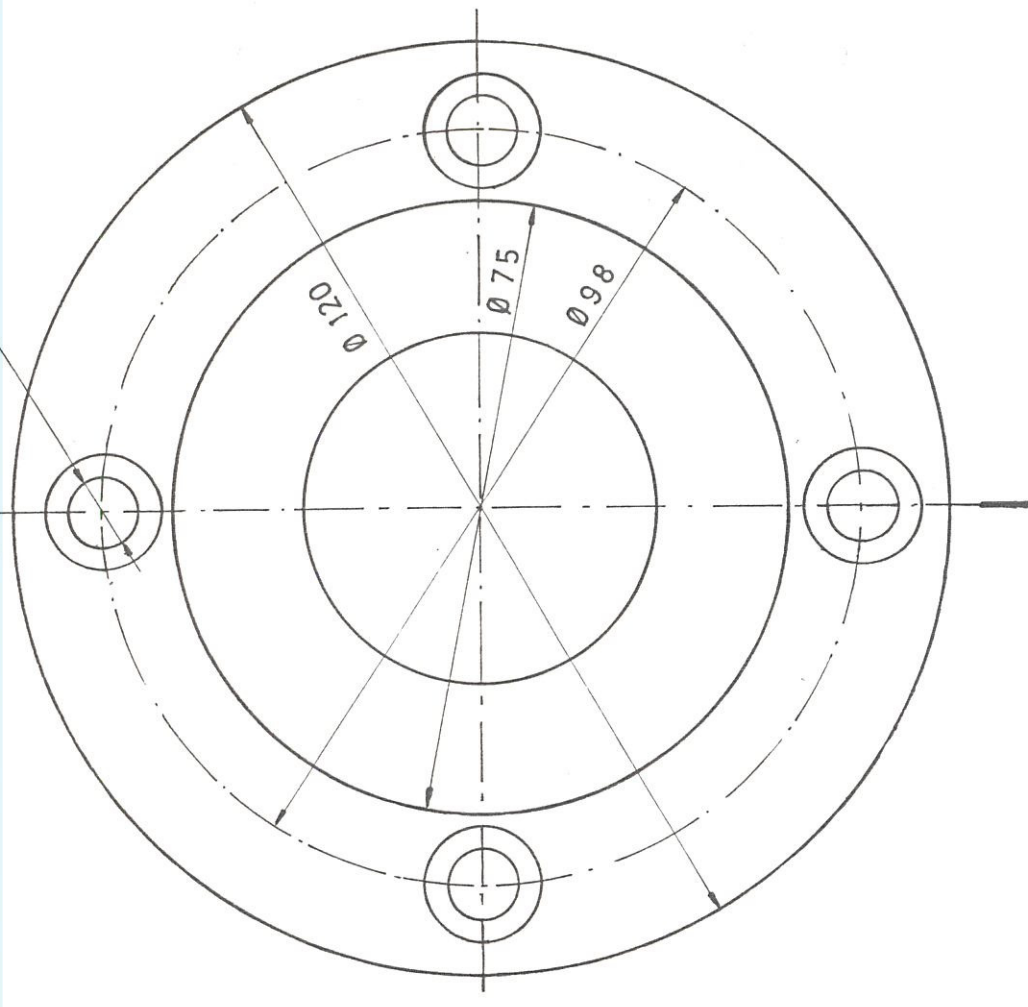
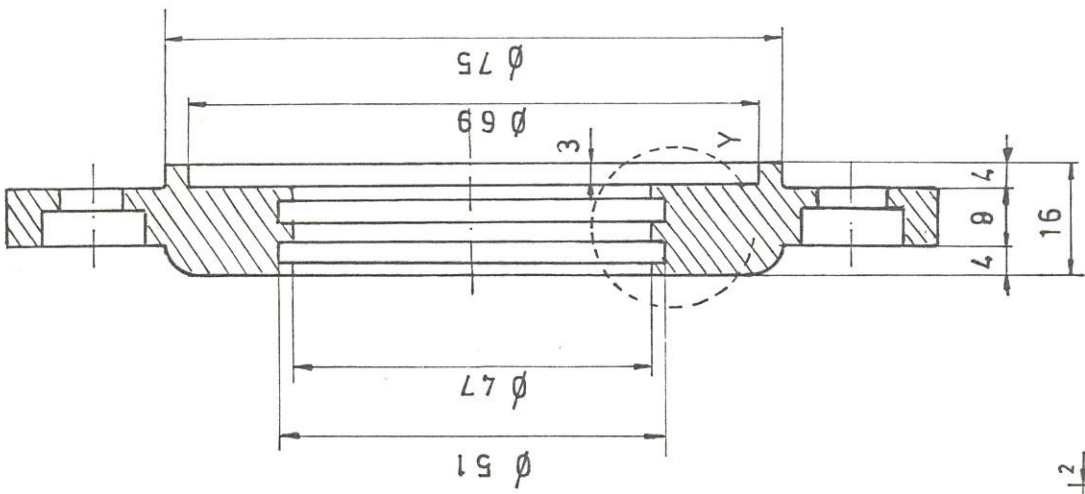
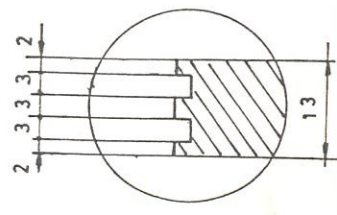
E 1:1

ISO E

N 8/

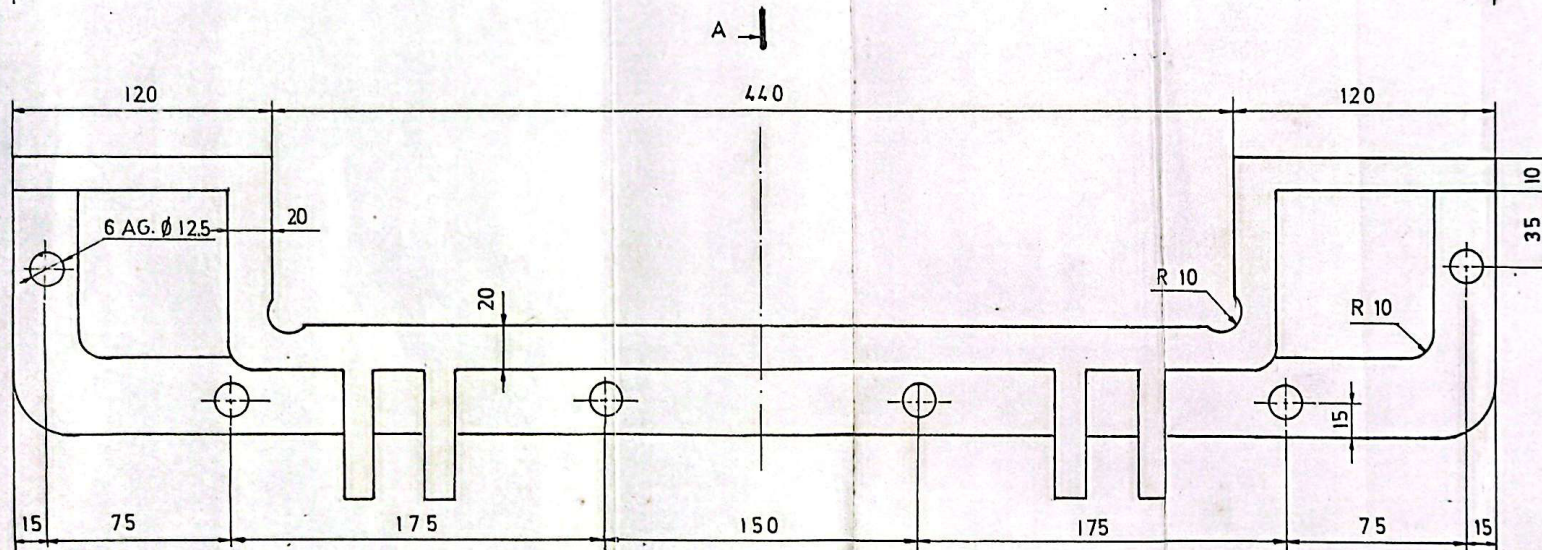
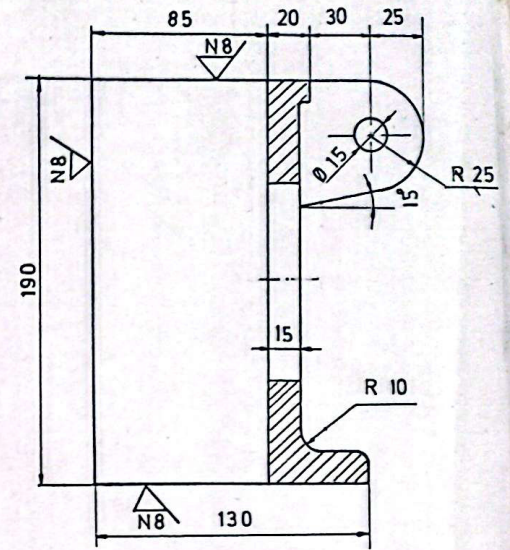
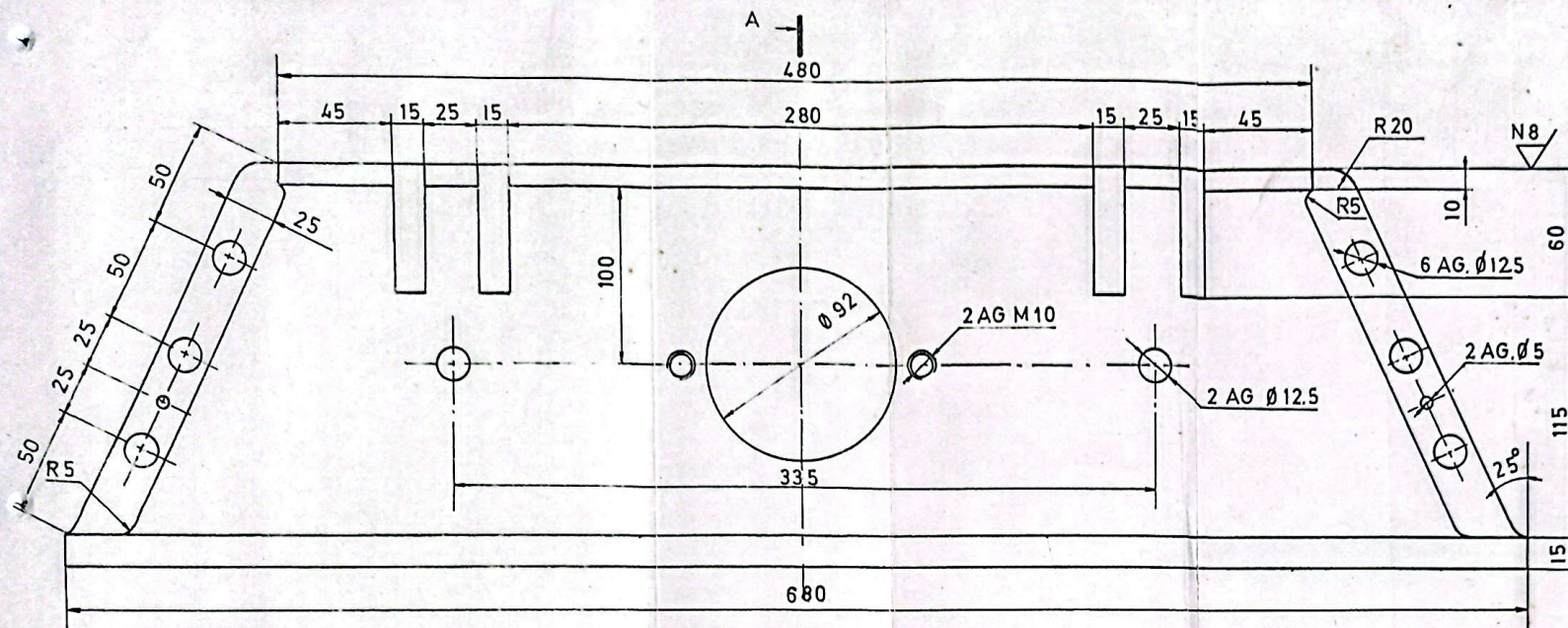
RUE DA DE DISTRIBUCION

7.05.26.86



		fecha	nombre	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
di bujo	9/86	D	Segovia		
reviso	9/86		Tapia		
compr.	9/86		Helguero		
E 1:1				T A P A      B	7.05.28.86
ISO E					
N 8					





fecha	nombre	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
dibujo	9/86 D Segovia		
reviso	9/86 Tapia		
compr.	9/86 Helguero		
E1:25	CARCAZA LATERAL		7.05.17.86
ISO E			
N12/ ▽			
		cantidad	1
		material fundición gris	

A P E N D I C E



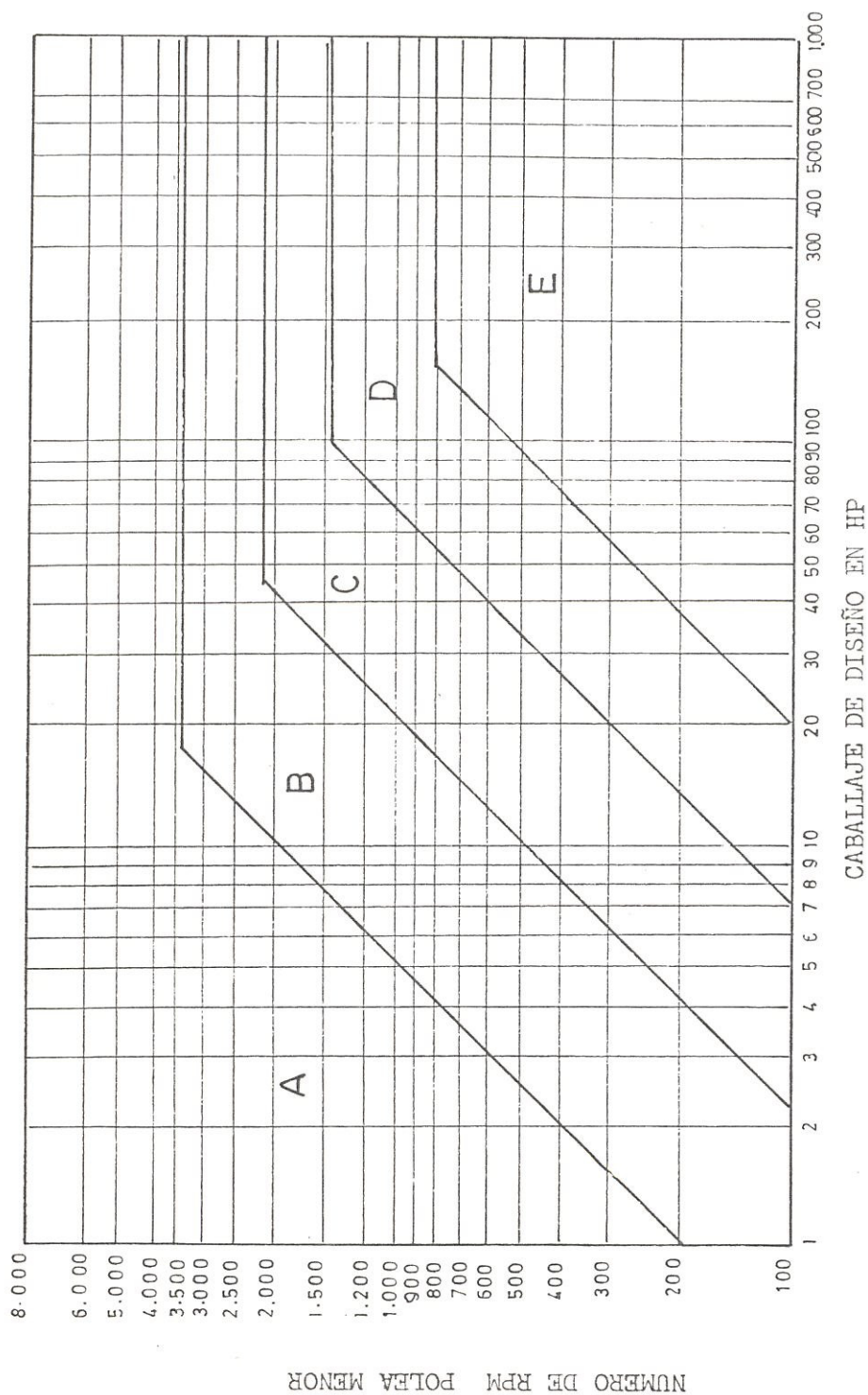


FIGURA 2 GRAFICO PARA DETERMINAR LA SECCION DE LA BANDA

TABLA 1 FACTOR DE TAMAÑO PARA CASOS DE FLEXION Y TORSION

$k_b$	DIAMETRO
1	d 0,30 pul (7,6 mm)
0,85	0,30 d 2 pul (50 mm)
0,75	d 2 pul (50 mm)

TABLA 2 FACTORES DE CONFIABILIDAD  $k_c$  CORRESPONDIENTES A UNA DESVIACION ESTANDAR DE 8 % DEL LIMITE DE FATIGA

CONFIABILIDAD R	Variable estandarizada	factor de confiabilidad $k_c$
0,50	0	1,000
0,90	1,288	0,897
0,95	1,645	0,868
0,99	2,326	0,814
0,999	3,091	0,753
0,9999	3,719	0,702
0,99999	4,265	0,659
0,999999	4,753	0,620
0,9999999	5,199	0,584
0,99999999	5,612	0,551
0,999999999	5,997	0,520

TABLA 6 LONGITUD EXTERIOR DE LA BANDA DE SECCION A



V-Belt No.	longitud exterior		V-Belt No.	longitud exterior		V-Belt No.	longitud exterior	
	(pul)	(mm)		(pul)	(mm)		(pul)	(mm)
A20	22.1	561.34	A53	55.1	1399.54	A86	88.1	2237.74
A21	23.1	586.74	A54	56.1	1424.84	A87	89.1	2263.14
A22	24.1	612.14	A55	57.1	1450.34	A88	90.1	2288.54
A23	25.1	637.54	A56	58.1	1475.74	A89	91.1	2313.94
A24	26.1	662.94	A57	59.1	1501.14	A90	92.1	2339.34
A25	27.1	688.34	A58	60.1	1526.54	A91	93.1	2364.74
A26	28.1	713.74	A59	61.1	1551.94	A92	94.1	2390.14
A27	29.1	739.14	A60	62.1	1577.34	A93	95.1	2415.54
A28	30.1	764.54	A61	63.1	1602.74	A94	96.1	2440.94
A29	31.1	789.94	A62	64.1	1628.14	A95	97.1	2466.34
A30	32.1	815.34	A63	65.1	1653.54	A96	98.1	2491.74
A31	33.1	840.74	A64	66.1	1678.94	A97	99.1	2517.14
A32	34.1	866.14	A65	67.1	1704.34	A98	100.1	2542.54
A33	35.1	891.54	A66	68.1	1729.74	A100	102.1	2593.34
A34	36.1	916.94	A67	69.1	1755.14	A101	103.1	2618.74
A35	37.1	942.34	A68	70.1	1780.54	A102	104.1	2644.14
A36	38.1	967.74	A69	71.1	1805.94	A103	105.1	2669.54
A37	39.1	993.14	A70	72.1	1831.34	A104	106.1	2694.94
A38	40.1	1018.54	A71	73.1	1856.74	A105	107.1	2720.34
A39	41.1	1043.94	A72	74.1	1882.14	A106	108.1	2745.74
A40	42.1	1069.34	A73	75.1	1907.54	A110	112.1	2847.34
A41	43.1	1094.74	A74	76.1	1932.94	A112	114.1	2898.14
A42	44.1	1120.14	A75	77.1	1958.34	A120	122.1	3101.34
A43	45.1	1145.54	A76	78.1	1983.74	A128	130.1	3304.54
A44	46.1	1170.94	A77	79.1	2009.14	A133	135.1	3431.54
A45	47.1	1196.34	A78	80.1	2034.54	A136	138.1	3507.74
A46	48.1	1221.74	A79	81.1	2059.94	A144	146.1	3710.94
A47	49.1	1247.14	A80	82.1	2085.34	A158	160.1	4066.54
A48	50.1	1272.54	A81	83.1	2110.74	A173	175.1	4447.54
A49	51.1	1297.94	A82	84.1	2136.14	A176	178.1	4523.74
A50	52.1	1323.34	A83	85.1	2161.54	A180	182.1	4625.34
A51	53.1	1348.74	A84	86.1	2186.94	A237	239.1	6073.14
A52	54.1	1374.14	A85	87.1	2212.34	A293	295.1	7495.54



TABLA 5 SELECCION DEL NUMERO DE BANDA POR HP DADO EL DIAMETRO DE LA POLEA MAS PEQUEÑA Y EL NUMERO DE REVOLUCIONES MAS ALTO

RPM más alto	diámetro de la polea mas pequeña																	
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160	175 (mm)
1160	.74	.90	1.06	1.22	1.37	1.53	1.68	1.83	1.98	2.13	2.28	2.43	2.58	2.73	3.01	3.30	3.58	3.99
1750	.98	1.21	1.44	1.66	1.88	2.10	2.32	2.53	2.74	2.95	3.16	3.37	3.57	3.77	4.16	4.55	4.92	5.46
3450	1.41	1.80	2.19	2.56	2.92	3.27	3.61	3.94	4.25	4.56	4.85	5.13	5.40	5.65	6.12	6.52	6.86	7.25
200	.20	.23	.26	.29	.33	.36	.39	.42	.45	.48	.51	.55	.58	.61	.67	.73	.79	.88
400	.34	.40	.46	.52	.58	.64	.70	.76	.82	.88	.93	.99	1.05	1.11	1.22	1.33	1.45	1.61
600	.46	.55	.64	.72	.81	.90	.98	1.07	1.15	1.23	1.32	1.40	1.48	1.57	1.73	1.89	2.06	2.30
800	.57	.68	.80	.91	1.02	1.13	1.24	1.35	1.46	1.57	1.68	1.79	1.89	2.00	2.21	2.42	2.63	2.94
1000	.67	.81	.95	1.08	1.22	1.36	1.49	1.63	1.76	1.89	2.02	2.15	2.28	2.41	2.67	2.92	3.17	3.54
1200	.76	.93	1.09	1.25	1.41	1.57	1.73	1.88	2.04	2.19	2.35	2.50	2.65	2.80	3.10	3.39	3.68	4.11
1400	.85	1.04	1.22	1.41	1.59	1.77	1.95	2.13	2.31	2.48	2.66	2.83	3.00	3.17	3.51	3.84	4.16	4.63
1600	.93	1.14	1.35	1.55	1.76	1.96	2.16	2.36	2.56	2.76	2.95	3.14	3.33	3.52	3.89	4.25	4.61	5.12
1800	1.00	1.23	1.47	1.69	1.92	2.15	2.37	2.59	2.80	3.02	3.23	3.44	3.65	3.85	4.25	4.64	5.02	5.57
2000	1.07	1.33	1.58	1.83	2.07	2.32	2.56	2.80	3.03	3.26	3.49	3.72	3.94	4.16	4.59	5.00	5.40	5.97
2200	1.13	1.41	1.68	1.95	2.22	2.48	2.74	2.99	3.25	3.49	3.74	3.98	4.21	4.44	4.89	5.33	5.74	6.33
2400	1.19	1.49	1.78	2.07	2.35	2.63	2.91	3.18	3.45	3.71	3.97	4.22	4.46	4.71	5.17	5.62	6.04	6.63
2600	1.24	1.56	1.87	2.18	2.48	2.78	3.07	3.35	3.63	3.91	4.18	4.44	4.69	4.94	5.42	5.88	6.30	6.88
2800	1.29	1.63	1.96	2.28	2.60	2.91	3.21	3.51	3.80	4.09	4.37	4.64	4.90	5.16	5.64	6.10	6.52	7.07
3000	1.34	1.69	2.04	2.38	2.71	3.03	3.35	3.66	3.96	4.25	4.54	4.82	5.08	5.34	5.83	6.28	6.68	7.20
3200	1.37	1.74	2.11	2.46	2.81	3.14	3.47	3.79	4.10	4.40	4.69	4.97	5.24	5.50	5.98	6.41	6.80	7.27
3400	1.41	1.79	2.17	2.54	2.90	3.24	3.58	3.91	4.22	4.53	4.82	5.10	5.37	5.60	6.09	6.50	6.86	7.27
3600	1.44	1.84	2.23	2.61	2.98	3.33	3.68	4.01	4.33	4.64	4.93	5.21	5.47	5.72	6.17	6.55	6.86	
3800	1.46	1.87	2.28	2.67	3.04	3.41	3.76	4.10	4.42	4.72	5.01	5.29	5.54	5.78	6.20	6.55	6.81	
4000	1.47	1.90	2.32	2.72	3.10	3.47	3.83	4.17	4.49	4.79	5.07	5.34	5.58	5.81	6.20	6.49		
4200	1.49	1.93	2.35	2.76	3.15	3.52	3.88	4.22	4.54	4.84	5.11	5.36	5.59	5.80	6.14			
4400	1.49	1.94	2.38	2.79	3.19	3.56	3.92	4.25	4.56	4.85	5.12	5.36	5.57	5.76	6.05			
4600	1.49	1.95	2.39	2.81	3.21	3.59	3.94	4.27	4.57	4.85	5.10	5.32	5.51	5.67				
4800	1.49	1.95	2.40	2.82	3.22	3.60	3.94	4.27	4.56	4.82	5.05	5.25	5.42					
5000	1.47	1.95	2.40	2.82	3.22	3.59	3.93	4.24	4.52	4.77	4.98	5.15						
5200	1.45	1.94	2.39	2.81	3.21	3.57	3.90	4.20	4.46	4.68	4.87							
5400	1.43	1.91	2.37	2.79	3.18	3.54	3.85	4.13	4.38	4.58								
5600	1.40	1.89	2.34	2.76	3.14	3.48	3.79	4.05	4.27	4.44								
5800	1.36	1.85	2.30	2.71	3.09	3.42	3.70	3.94	4.13									
6000	1.31	1.80	2.25	2.65	3.02	3.33	3.59	3.81										
6200	1.26	1.75	2.19	2.58	2.93	3.23	3.47	3.65										
6400	1.20	1.68	2.12	2.50	2.83	3.10	3.32											
6600	1.14	1.61	2.04	2.40	2.72	2.96												
6800	1.06	1.53	1.94	2.29	2.58	2.81												
7000	.98	1.44	1.84	2.17	2.43													
7200	.89	1.34	1.72	2.03	2.27													
7400	.79	1.23	1.59	1.88														
7600	.68	1.10	1.45	1.71														



TABLA 7 PROFUNDIDAD PRODUCIDA POR ALGUNOS ABRASIVOS COMERCIALES

ABRASIVOS	No. TAMIZ	$\bar{h}$ max
Abrasivos Metálicos		(mils)
S-230	20	$2,2 \pm 0,3$
S-280	18	$2,5 \pm 0,4$
S-330	16	$2,8 \pm 0,5$
S-390	14	$3,5 \pm 0,7$
G-50	30	$1,6 \pm 0,3$
G-40	20	$2,4 \pm 0,5$
G-25	16	$3,1 \pm 0,7$
G-14	12	$5,1 \pm 0,9$
Abrasivos Minerales	grano	
Piedra chispa redonda	medio-fino	$2,7 \pm 0,4$
Arena de Sílice	medio	$2,9 \pm 0,4$
Escoria metalúrgica	medio	$3,1 \pm 0,5$
Escoria metalúrgica	grueso	$3,7 \pm 0,7$
Arena mineral dura	medio-fino	$2,6 \pm 0,4$

## B I B L I O G R A F I A

1. AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Metal Handbook; Metal Park; Ohio; 8th edition; vol 1, 599-608 ; vol 2, 611-663 pp.
2. BIEDERMAN, HASSEKIFF. Tratado Moderno de Fundición del Hierro y Acero; Monteso; Argentina; 2da. edición; 1.957; 403-421 pp.
3. CAMPBELL, J. Principles of Manufacturing and Processes; Mc Graw Hill book Companuy Inc.; New York; 1.961; 198-202 pp.
4. CAPELLO E. Tecnología de la Fundición; Editora Gili SA,; Barcelona, 2da. edición; 1.978; 424-431 pp.
5. CENIM. (Centro de Investigaciones Metalurgicas); España; " Consideraciones para el diseño de una turbochorreadora ".
6. FLIM J. Manual del Ingeniero Técnico; Editorial Urmo; España; 1.976; 91-94 pp.
7. HALL, HOLOWENCO, LAUGHLIN. Diseño de Máquinas; McGraw Hill; Colombia; 1.971; 156, 320 pp.
8. HEINE, LOPER, ROSENTHAL. Mc Graw Book Company; American Foundry men's Society; second edition; 1.967; 664-677 pp.

9. HOWARD E. Modern Foundry Practice; Philosophical Library Inc; England; 3ra. edition; 1.959; 416-427 pp.
10. INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización); Código de dibujo; Quito; serie: normalización; número: 009
11. INTRODUCCION AL ESTUDIO DE COSTOS Y TOPICOS FINANCIEROS; Colección ESPOL; 1.986
12. MEMORIAS DEL PRIMER CONGRESO ANDINO DE FUNDICION FERROSA; 1.977; Posibilidad de mejorar las secuencias de trabajo y de mecanización en el área de limpieza de las fundiciones mediante el uso de unidades de limpieza por granallado, por Johannes Zeidler, ALFRED GUTMANN G.F.M.; Junta de Acuerdo de Cartagena y ONUDI Proyecto DP/RLA/75/087; 201-239 pp.
13. MPT (Metallurgical Plants and Technology), Some Recent Developments in the automatic shot blasting of casting by Robert F. Vinall; Dusseldorf, Federal Republic of Germany; 1.980; Vol 3, # 2, 46-53 pp.
14. PLASTER H. J. Blast Cleaning & Allied Processes; Industrial Newspapers Limited; London; 1.972; Vol. I, 1-24, 131-178 pp; Vol. II, 1-25, 151-206 pp.
15. SHIGLEY. Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw Hill; México, 2da edición; 1.977; 231-240, 638-645 pp.
16. S.K.F. Catálogo general; SKF; Alemania, 1.982.

17. WALTON C. Iron Casting Handbook; Iron Casting Society Inc.; 1.981 442-460, 515-523 pp.
18. WESCO, Boletín técnico de recubrimientos industriales y anticorrosivos; Fabrica de pinturas Wesco S.A.; Quito; 25-28 pp.
19. WHEELABRATOR. Equipment and services for more profitable materials cleaning; Wheelabrator Frye Inc.; Indiana, USA; 1.977; bolletín # 10.00
20. WHEELABRATOR. Manual of blast cleaning abrasives technology; Wheelabrator Frye Inc.; Indiana, USA; 1.978; bolletín # 12.00.
21. YANKEE H. Manufacturing Processes; Practice Hall, Inc.; USA; 654 pp