



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

“Obtención de Patrones Superficiales Mediante
Granallado Centrífugo” (Proyecto MICAT)

PROYECTO DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:

NORMAN RAMIRO REYES AGUIRRE

Guayaquil - Ecuador

1.990

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica

"OBTENCION DE PATRONES SUPERFICIALES MEDIANTE
GRANALLADO CENTRIFUGO". (PROYECTO MICAT)

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del título de :

INGENIERO MECANICO

Presentado por :

NORMAN RAMIRO REYES AGUIRRE

Guayaquil - Ecuador

1.990

AGRADECIMIENTO

AL ING. JULIAN PENA R.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE
GRADO, Y AL ING. IGNACIO
WIESNER POR SU AYUDA EN
LA REALIZACION DE ESTE
TRABAJO.

DEDICATORIA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

La responsabilidad de los contenidos de esta obra es de exclusiva responsabilidad del autor, quien declara que los datos y cifras aquí presentados son verídicos y que no se han utilizado para fines de lucro. La ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE QUITO.

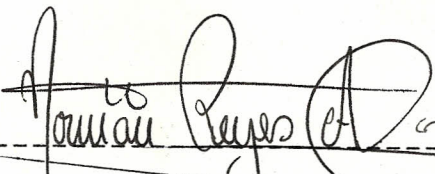
A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

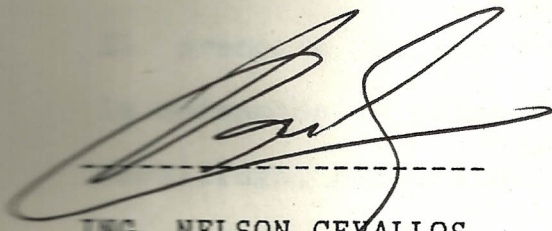
DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas
expuestos en este Proyecto de Grado, me corresponden
exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo a
la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Tópicos de graduación)

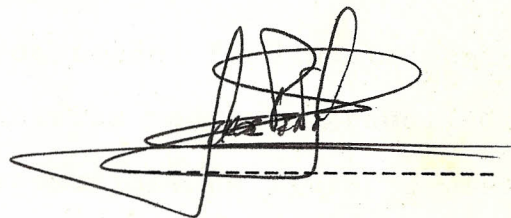


NORMAN RAMIRO REYES AGUIRRE



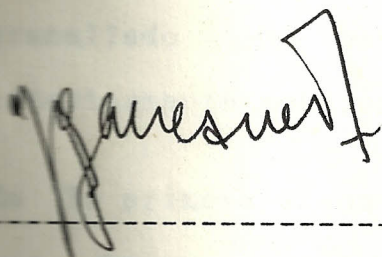
ING. NELSON CEVALLOS

DECANO DE LA
FAC. ING. MECANICA




ING. JULIAN PEÑA

DIRECTOR DE
PROYECTO DE GRADO



ING. IGNACIO WIESNER

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL



ING. JAIME BARRERA

MIEMBRO PRINCIPAL DEL
TRIBUNAL

RESUMEN

El presente trabajo de Tópico comprende fundamentalmente la obtención de patrones superficiales mediante granallado centrífugo, pero esto implica necesariamente llevar a cabo dos etapas:

La primera consiste en poner en funcionamiento el equipo de granallado centrífugo que existe en el taller de Fundición.

La segunda comprende la optimización del proceso de granallado en base a la utilización del equipo anteriormente mencionado.

En la primera etapa se realizan una serie de operaciones que hacen posible el funcionamiento del equipo con granalla tipo shot.

En lo que respecta a la segunda etapa se efectúan las pruebas necesarias a fin de poder establecer los parámetros óptimos de funcionamiento. Estos parámetros son: Ubicación de las probetas o piezas dentro del equipo, ángulo de ataque y caudal.

La verificación de los patrones obtenidos y del grado de

rugosidad alcanzado en la preparación superficial se realiza con estándares visuales.

Finalmente en base a los resultados obtenidos en la optimización se efectúa un análisis comparativo con el método de limpieza por chorro de arena.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	6
INDICE GENERAL	8
INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS	12
ABREVIATURAS	14
INTRODUCCION	15
I.- CAPITULO	
EL PROCESO DE GRANALLADO	17
1.1 Fundamento de la limpieza mediante el empleo de granalla de acero	17
1.2 Tipos de granalla	19
1.2.1 Especificaciones de la clase de granalla a utilizar	27
1.3 Descripción del equipo a emplear en las pruebas	32
1.4 Requerimientos de preparación superficial	36
II.- CAPITULO	
OBTENCION DE PATRONES SUPERFICIALES Y	

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE GRANALLADO	
CENTRIFUGO	43
2.1 Puesta a punto del equipo de granallado centrífugo	43
2.2 Obtención de patrones superficiales	47
2.2.1 Preparación superficial de las probetas	47
2.2.2 Comprobación de los grados de limpieza mediante patrones visuales	49
2.2.3 Determinación del perfil de anclaje	54
2.3 Optimización de la operación de granallado	56
2.3.1 Pruebas con variación de parámetros	56
2.3.2 Verificación de los grados de acabado superficial utilizando patrones visuales	70
2.3.3 Análisis de rugosidad	71
2.4 Protección de las probetas mediante recubrimiento con pintura	72

III.- CAPITULO

RESULTADOS FINALES	74
3.1 Análisis de la utilización de granalla	

tipo shot	74
3.2 Estudio comparativo entre granallado centrífugo y limpieza mediante chorro por arena	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
APENDICE	93
BIBLIOGRAFIA	97

INDICE DE FIGURAS

No		Pag.
1.1	Acción de limpieza mediante turbinas centrífugas	19
1.2	Ilustración de una mezcla mal balanceada, siendo el número de impactos por libra 153.250	31
1.3	Ilustración de una mezcla bien balanceada, siendo el número de impactos por libra de 683.250	31
1.4	Sistema de recirculación	33
1.5	Sistema de lanzamiento de granalla	35
1.6	Discos comparadores	41
2.1	Localización del chorro de abrasivo	45
2.2	Patrón del chorro	46
2.3	Grados de corrosión	48
2.4	Acabado superficial SP 7	50
2.5	Acabado superficial SP 6	51
2.6	Acabado superficial SP 10	52
2.7	Acabado superficial SP 5	53
2.8	Ubicación de las probetas sobre la mesa de trabajo	57
2.9	Prueba de distancia N ^o 1	58

2.10	Resultados de prueba Nº 1	60
2.11	Prueba de distancia Nº 2	61
2.12	Resultados de prueba Nº 2	63
2.13	Probetas para prueba de caudal	64
2.14	Resultados de prueba de caudal	67
2.15	Probetas para prueba de ángulo	68
2.16	Resultados de prueba de ángulo	70
2.17	Probetas con recubrimiento de pintura ...	73
3.1	Disminución de velocidad de la granalla proyectada en el aire	77
3.2	Variación en la razón de abrasión con la distancia	79
3.3	Variación de tiempo de granallado con la distancia	80
3.4	Efecto del caudal en el tiempo de granallado	82
3.5	Influencia del ángulo en la razón de abrasión	84

INDICE DE TABLAS

No		Pag.
I	Grados de granalla utilizables en el Reino Unido	21
II	Composición química de las granallas de hierro blanco en diferentes partes del mundo	23
III	Composición de las granallas de acero ...	27
IV	Número aproximado de granallas por libra	28
V	Tamaño de granalla según norma SAE J-44	29
VI	Composición química de la granalla tipo shot	30
VII	Grados de limpieza según varias normas internacionales	39
VIII	Relación entre el número de la probeta y el grado de corrosión	49
IX	Resultados de acabado superficial SP 7 ..	50
X	Resultados de acabado superficial SP 6 ..	51
XI	Resultados de acabado superficial SP 10 ..	52
XII	Resultados de acabado superficial SP 5 ..	53
XIII	Rugosidad a SP 7	54

IV	Rugosidad a SP6	55
IV	Rugosidad a SP 10	55
IVI	Rugosidad a SP 5	56
IVII	Resultados de prueba de distancia N° 1 ..	59
IVIII	Resultados de prueba de distancia N° 2 ..	62
III	Escala de caudales	65
II	Resultados de prueba de caudal	66
III	Resultados de prueba de ángulo	69
IIII	Tiempos óptimos de granallado	83
IIIII	Consumo energético durante el granallado	85

ABREVIATURAS

RC	:	Rockwell C
gr	:	Gramos
kg	:	Kilogramos
cm	:	Centímetros
mm	:	Milímetros
m	:	Metros
%	:	Porcentaje
S	:	redonda
G	:	angular
HP	:	caballo de fuerza
Amp	:	Amperios
min	:	Minutos
°	:	Grados
No	:	Número
N	:	Newton
seg	:	Segundos
vs	:	Versus
Wi	:	Peso inicial
Wf	:	Peso final
Q	:	Caudal
d	:	Distancia

INTRODUCCION

Los métodos originales de limpieza utilizaban arena impulsada por aire a presión para desprender las partículas extrañas de una superficie, debido a que este método representa un peligro para la salud pues la arena se pulveriza rápidamente contaminando el ambiente de trabajo, se diseñó un nuevo método de limpieza.

Este método consiste en lanzar las granallas por medios mecánicos, y más precisamente a través de turbinas centrífugas.

El hecho de poseer en la ESPOL un equipo de granallado centrífugo diseñado y construido en sus talleres, permite la realización del presente trabajo, pues se deben efectuar las operaciones necesarias a fin de posibilitar su funcionamiento con el tipo de granalla existente.

Durante una operación de granallado centrífugo se produce un desgaste tanto de las diferentes piezas de la máquina como de la granalla misma, se emplea un determinado número de horas hombre así como también un cierto consumo energético; todos estos factores justifican plenamente la optimización de este proceso pues representa una

disminución importante en el costo de operación.

Por otro lado, conociendo que el mayor problema de cara a la preparación del acero para el pintado es la eliminación de la totalidad de la calamina y de la herrumbre, se considera fundamental llegar a obtener los patrones de acabado superficial que nos permitan realizar un buen trabajo de pintado.

Complementariamente la puesta a punto del equipo de granallado centrífugo de la ESPOL permitirá la limpieza de las piezas salidas de fundición, evitando de esta forma el desgaste excesivo de la cuchilla si van a ser maquinadas, mejorando acabados superficiales, abaratando costos de limpieza, etc.

CAPITULO I

EL PROCESO DE GRANALLADO

1.1 FUNDAMENTO DE LA LIMPIEZA MEDIANTE EL EMPLEO DE GRANALLA DE ACERO.

El objetivo fundamental de la preparación superficial mediante granallado es eliminar ciertas impurezas existentes en partes o piezas que van luego a ser maquinadas o protegidas con recubrimiento.

Dentro de las impurezas podemos mencionar las siguientes: arena, óxido, aceite, grasa, tierra, calamina, herrumbre, productos de corrosión, residuos de pinturas anteriores, etc. La limpieza de los componentes fabricados mediante fundición, implica fundamentalmente la eliminación total de la arena que se adhiere durante el proceso de fabricación; con esto se evita el desgaste excesivo que se produciría en la herramienta de corte de la máquina herramienta al maquinar directamente la pieza de fundición.

En lo que se refiere a los sistemas de recubrimientos, la preparación superficial es quizás el factor más importante en la duración de los mismos. Una deficiente o inapropiada preparación superficial es directamente responsable de una gran cantidad de fallas prematuras en los sistemas de protección mediante recubrimientos.

Cuando las partes o piezas que van a ser pintadas, presentan en su superficie: calamina, herrumbre, residuos de pinturas anteriores y cualquier otro contaminante adherido a la superficie, se hace necesario la limpieza mediante el empleo de abrasivos.

La limpieza mediante chorro de abrasivos se puede lograr de dos maneras: Con el empleo de aire comprimido a elevadas presiones o mediante la utilización de turbinas centrífugas rotando a elevadas velocidades. Debido a que este trabajo se realiza empleando el segundo método, se hace a continuación un breve detalle.

En la limpieza mediante turbinas centrífugas, las partículas abrasivas se lanzan contra el metal base que se limpia a elevada velocidad con turbinas impulsadas eléctricamente. La energía de impacto que poseen estas granallas actúa sobre la superficie

que está cubierta de impurezas o sustancias extrañas provocando su desprendimiento y obteniéndose como resultado una superficie completamente limpia. (Fig. 1.1)

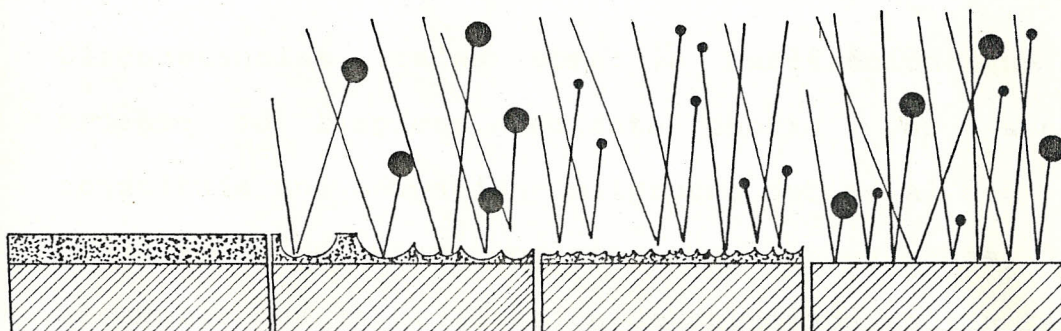


FIG. 1.1 ACCION DE LIMPIEZA MEDIANTE TURBINAS CENTRIFUGAS

La energía que poseen las granallas es proporcional al peso y a la velocidad de las mismas, por lo tanto, resulta importante la correcta selección del tipo de granalla a utilizar, pues esto influirá notablemente en el tiempo de limpieza lo que afecta directamente al costo de operación.

1.2 TIPOS DE GRANALLA

La historia de los abrasivos es interesante y durante los años ha sido causa de algunas

discusiones.

Cuando se originaron los procesos de limpieza, la arena era el único abrasivo utilizado, cualquier arena luego de una selección por tamaño y forma de grano podía ser utilizada en el proceso de limpieza.

Circunstancias, tales como: la declaración que el proceso de limpieza mediante chorro por arena, constituía una ocupación peligrosa, debido al daño que producen los finos polvos en los pulmones, el descubrir que la utilización de abrasivos podría tener un considerable alcance como método de preparación y, la duración o vida útil de la arena, impulsaron el descubrimiento o empleo de otro tipo de abrasivos, dentro de los cuales podemos mencionar: óxido de aluminio, granalla de bronce, alambre cortado, granalla de hierro templado, granalla de acero, etc.

GRANALLA DE OXIDO DE ALUMINIO._ El óxido de aluminio, es conocido por ser un resultado indirecto de experimentos realizados por Gaudin ⁽¹⁾ en 1837, con el objeto de desarrollar un proceso para la fabricación de diamantes artificiales. El material es producido de un material natural conocido como bauxita.

En el Reino Unido existen 7 grados utilizables de granalla de óxido de aluminio tipo angular. (Tabla I)

TABLA I

GRADOS DE GRANALLA UTILIZABLES
(1)
EN EL REINO UNIDO

NUMERO	TAMIZ
1	14/24
2	30/36
3	54/60
3/4	54/90
4	80/90
5	100/150
6	180/220
7	240 y finos

Las presiones de operación son generalmente de 0,35 a 2,81 kg/cm²; los rangos de baja presión se usan sobre vidrio y plásticos, y las presiones elevadas sobre los metales tradicionales. Los grados bastos, N^o 1 y 2 son usados para hierro y acero. Los grados N^o 3 y 4 son usados para la limpieza de metales blandos como latón y aleaciones ligeras. Para acabados finos sobre vidrio, moldes plásticos y en la preparación para electroplateado, se recomiendan los grados N^o 5, 6 y 7.

Los abrasivos de óxido de aluminio son generalmente

usados cuando se requieren finos acabados, particularmente cuando residuos ferrosos no se toleran sobre un acabado superficial.

GRANALLA DE BRONCE._ Ciertas ventajas son proclamadas para el uso de granalla de bronce en lugar de granallas de hierro o acero para limpieza de fundiciones no ferrosas. La primera ventaja proclamada es que la granalla de bronce no deja ninguna incrustación de acero sobre la fundición. Es conocido que la granalla de acero deja partículas de acero dentro de la superficie fundida, produciendo luego el embotamiento de la herramienta de corte durante el maquinado.

La otra ventaja se refiere a la duración, puesto que el bronce dura mucho más que el acero, debido a su mayor tenacidad; es decir, no se fractura en la misma medida que el acero y consecuentemente permanece mayor tiempo en servicio.

GRANALLA DE HIERRO TEMPLADO._ Las granallas tipo shot y grit de hierro blanco son las más generalmente usadas para todo propósito práctico.

A continuación se establece una comparación de la composición química de las granallas fabricadas en diferentes partes del mundo. (Tabla II)

TABLA II

COMPOSICION QUIMICA DE LAS GRANALLAS DE HIERRO
(1)
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
Francia	redondo	3,08	2,02	0,120	1,07	0,47
Suiza	angular	3,20	1,95	0,190	0,60	0,58
Alemania	redondo	3,25	0,62	0,150	0,74	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
E.E.U.U	angular	3,40	0,80	0,083	0,28	0,21

Para producir granalla de hierro blanco se funde el hierro en un cubilote, estando el flujo de colado sometido continuamente a un chorro de vapor de agua a elevada presión; debido a esto se produce la desintegración en partículas globulares templadas de hierro blanco. Bajo esta forma, el material se tritura mediante bolas o rodillos trituradores y el resultado se tamiza luego para producir un rango de veinte tamaños. Los abrasivos de hierro blanco son de estructuras muy finas y consisten de duros

carburos y constituyentes fosfóricos embebidos en una matriz esencialmente martensítica con cierta cantidad de austenita.

Debido a su dureza inherente, satisface muchos requerimientos especialmente donde es necesario una rápida limpieza y un acabado superficial específico.

La velocidad de reducción en tamaño es aceptable para la industria, el rango de precios de abrasivos de hierro blanco es aceptable cuando se consideran aspectos tales como: la rapidez en la acción de limpieza, la rata de rompimiento y el tipo de acabado superficial. Debido a estos factores la elevada razón de desgaste sobre una planta es aceptable. La granalla de hierro blanco se usa cuando se requiere una máxima acción de limpieza aún a expensas de una elevada razón de rompimiento.

Existen especificaciones de tamaño para la fabricación de granallas de hierro blanco tanto redondas como angulares.

GRANALLA DE ACERO._ Este tipo de granalla ha logrado alcanzar niveles de utilización sumamente elevados, debido a su gran resistencia al rompimiento y a la gran reducción en el desgaste de las máquinas y equipos.

La manufactura de granalla de acero es más complicada que la de hierro blanco, aunque existe obviamente, similitud entre los dos procesos. Chatarra de acero seleccionada con un bajo contenido de fósforo y azufre se funde en un horno eléctrico, un estricto control es mantenido sobre la composición química y la temperatura. A la temperatura crítica de fluidez, el acero es convertido en pequeños perdigones por un proceso patentado, produciendo una calidad uniforme de granalla.

El tratamiento térmico para dar máxima dureza se lo realiza en dos fases: La granalla es homogeneizada y refinada en un horno a elevada temperatura, en el cual la atmósfera es totalmente controlada para prevenir la oxidación y descarburización.

Continuando con el tratamiento térmico, la granalla se descarga dentro de un recipiente de temple, donde grandes cantidades de agua se bombean hacia el punto de descarga, asegurando una uniformidad en el tamaño de grano y una estructura altamente refinada.

La granalla se carga luego en un horno rotatorio donde se reviene para dar una vida máxima y una dureza uniforme. La granalla de acero tiene precisamente las características opuestas a las granallas tipo redondo y angular de hierro blanco. Las

granallas tipo redondo de acero se rompen lentamente debido a su estructura altamente resistente. El eventual rompimiento se debe a que la granalla se encuentra sobretensada, rompiéndose en pequeños fragmentos.

El valor de dureza de la granalla es crítico; éste controla la vida del abrasivo, la velocidad de limpieza y el acabado del trabajo.

La granalla de acero produce un acabado muy satisfactorio para la mayoría de las operaciones de limpieza e ideal en algunos casos, por ejemplo, en la preparación para la aplicación de pinturas.

De ensayos realizados con granalla de acero y granalla de hierro blanco en tres tipos de máquinas centrífugas, se pudo establecer que la vida efectiva de la granalla de acero es de cuatro a ocho veces mayor que la de hierro blanco.

GRANALLA DE ALAMBRE DE ACERO._ Esta granalla se produce en tamaños de aproximadamente 0,508 mm. a 2,032 mm. de alambre de acero de un contenido de 0,7 % a 0,8 % de carbono y con una resistencia tensil de aproximadamente 15000 kg/cm⁽¹⁾.

La vida de trabajo de un alambre cortado depende de las propiedades metalúrgicas, composición, estructura

y del grado de endurecimiento producido mediante el trabajado en frío como resultado de estirar y cortar el alambre.

Existe un rango establecido para la composición química de este tipo de granallas. (Tabla III)

TABLA III

COMPOSICION QUIMICA DE LAS GRANALLAS DE ACERO ⁽¹⁾

ELEMENTO	PORCENTAJE %
Carbono	0,65 - 0,72
Silicio	0,13 - 0,15
Manganeso	0,60 - 0,72
Niquel	0,08 - 0,17
Cromo	0,10 - 0,22
Azufre	0,32 - 0,75
Fósforo	0,29 - 0,49

1.2.1 ESPECIFICACIONES DEL TIPO DE GRANALLA A UTILIZAR

El abrasivo a utilizar es granalla de acero tipo shot, la cual posee una dureza entre 40 y 50 R.C, tiene una densidad mínima de 7,3 gr/cm³ y su microestructura está constituida

fundamentalmente por martensita y bainita. A continuación se presenta una lista conteniendo el número de granos de granalla redonda que existen en una libra. (Tabla IV)

TABLA IV

NUMERO APROXIMADO DE GRANALLAS POR LIBRA ⁽¹⁾

GRADO	GRANALLAS POR LIBRA
S 780	11400
S 680	19200
S 550	32000
S 460	55000
S 390	93000
S 330	153000
S 280	250000
S 230	420000
S 170	1200000
S 110	3400000
S 70	12000000

El tamaño de las granallas está especificado de acuerdo a la norma SAE J-44 (Tabla V), en la cual se le asigna a las granallas redondas el prefijo S (shot), seguido por el número de

TABLA U

(1)
TAMANO DE GRANALLA SEGUN NORMA SAE J-44

TAMIZ No.	TAMANO mm.	S H O T												
		780	660	550	460	390	330	280	230	170	110	70		
7	2,80													
8	2,36													
10	2,00	85%												
12	1,70	97%	85%						TODAS PASAN					
14	1,40		97%	85%										
16	1,18			97%	85%									
18	1,00				96%	85%								
20	0,85					96%	85%							
25	0,71						96%	85%						
30	0,60							96%	85%					
35	0,50								97%					
40	0,425									85%				
45	0,355				NINGUNA PASA						97%			
50	0,3007											80%		
80	0,180												90%	
120	0,125													90%
200	0,075													

grado que representa el diámetro de la granalla en diez milésima de pulgada. El rango de composición química de este tipo de granalla se especifica a continuación. (Tabla VI)

TABLA VI
COMPOSICION QUIMICA DE LA GRANALLA
(1)
TIPO SHOT

ELEMENTO	PORCENTAJE %
Carbono	0,6 - 1,25
Silicio	0,2 - 1,10
Manganeso	1,25 máx.
Azufre	0,08 máx.
Fósforo	0,08 máx.

Debido a que la granalla tipo shot tiende a retener su tamaño original por un largo tiempo, los finos son producidos a una velocidad lenta. Es recomendable usar un grado que sea el tamaño más pequeño que pueda dar de una forma económica el acabado requerido. Una lenta e ineficiente velocidad de limpieza puede resultar de un sobredimensionamiento o en su defecto de una mezcla mal balanceada. (Fig. 1.2)

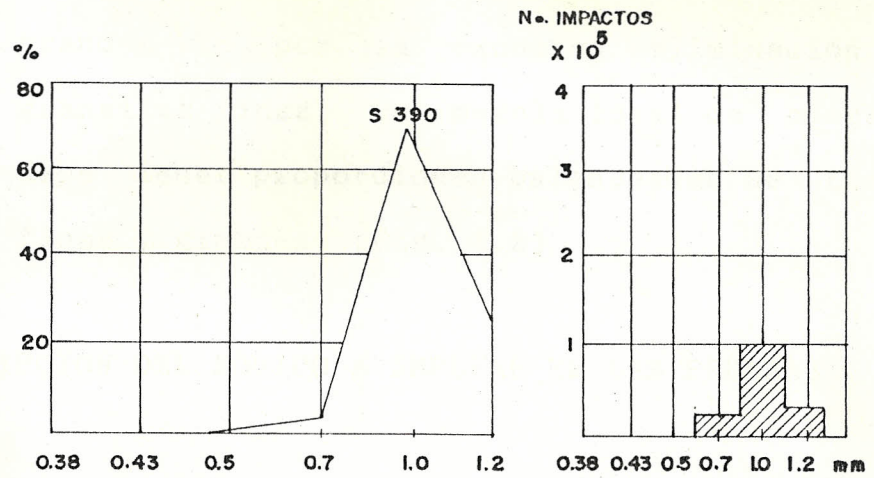


FIG. 1.2 Ilustración de una mezcla mal balanceada, siendo el número de impactos por libra 153.250

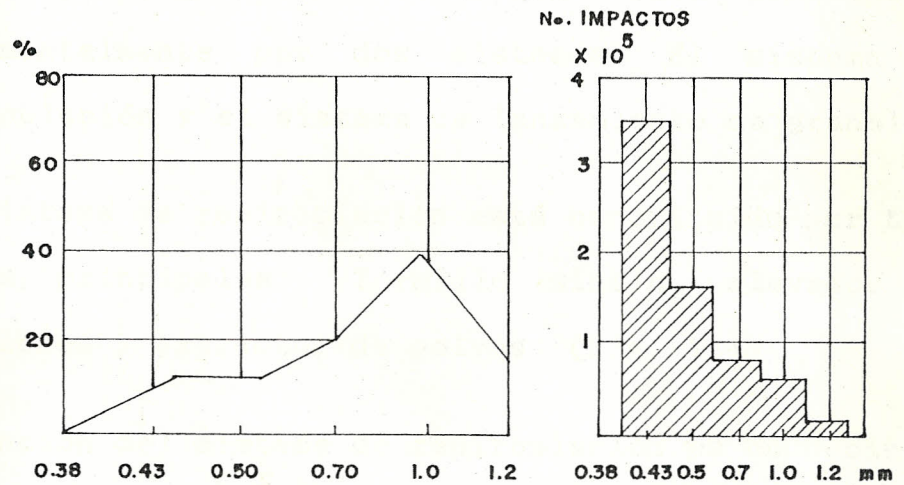


FIG. 1.3 Ilustración de una mezcla bien balanceada, siendo el número de impactos por libra de 683.250

Esto puede ser causado por el uso de granallas grandes o por la excesiva eliminación de granallas finas. Una mezcla ideal de operación debe tener proporciones balanceadas de tamaños finos y grandes. (Fig. 1.3)

1.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO A EMPLEAR EN LAS PRUEBAS

El equipo a emplear fue diseñado y construido en los talleres de la ESPOL, es una máquina granalladora centrífuga de mesa rotatoria. La construcción de este tipo de máquina se hizo tomando en consideración que su principal aplicación sería la limpieza de piezas medianas y pequeñas.

El equipo de granallado centrífugo está constituido fundamentalmente por dos sistemas: El sistema de recirculación y el sistema de lanzamiento de granalla.

El sistema de recirculación está constituido por tres partes principales: Tornillo sinfin, elevador de cangilones y extractor de polvos. (Fig. 1.4)

La función del sistema de recirculación es conducir la granalla desde la artesa hacia la tolva que alimenta a la turbina. Las granallas que son lanzadas por la turbina se depositan sobre una artesa colocada bajo la mesa de trabajo. El paso de la granalla desde la

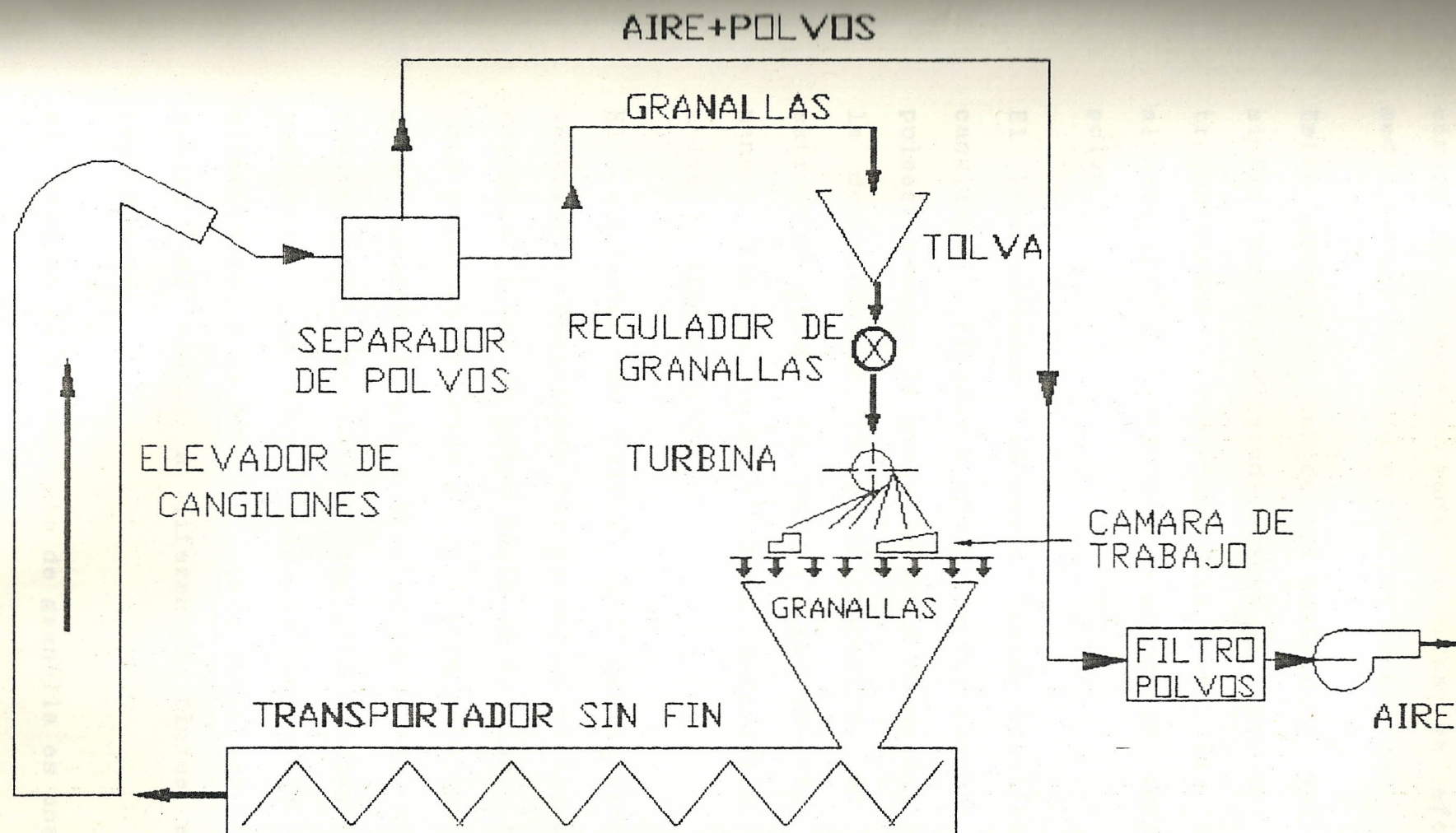


FIG. 1.4 SISTEMA DE RECIRCULACION

cámara de limpieza hacia la artesa se efectúa por medio de una serie de orificios hechos sobre la mesa.

Estas granallas debido al movimiento del tornillo sinfin son transportadas hasta el lugar en donde el transportador las deposita en la tolva de alimentación, habiéndose previamente separado el polvo.

El transportador elevador está constituido por cangilones fijados a una banda que recorre por dos poleas; recojen la granalla en el fondo del elevador y la depositan en la parte superior, en donde el extractor atrapa el polvo, permitiendo de esta manera que se deposite limpia la granalla sobre la tolva de alimentación.

El extractor de polvos está constituido por un ventilador centrífugo que garantiza el ingreso de la granalla libre de polvo hacia la turbina, a la vez este polvo es retenido en un filtro permitiendo que el aire retorne limpio a la atmósfera. El sistema de recirculación se completa mediante un dispositivo de regulación de flujo colocado entre la tolva de alimentación y la turbina. Este mecanismo nos permite operar el equipo a diferentes flujos según se requiera.

El sistema de lanzamiento de granalla es una turbina

tipo deslizador, la cual está conformada por:
Paletas, rueda de distribución, cápsula de control y
el conducto de alimentación. (Fig. 1.5)

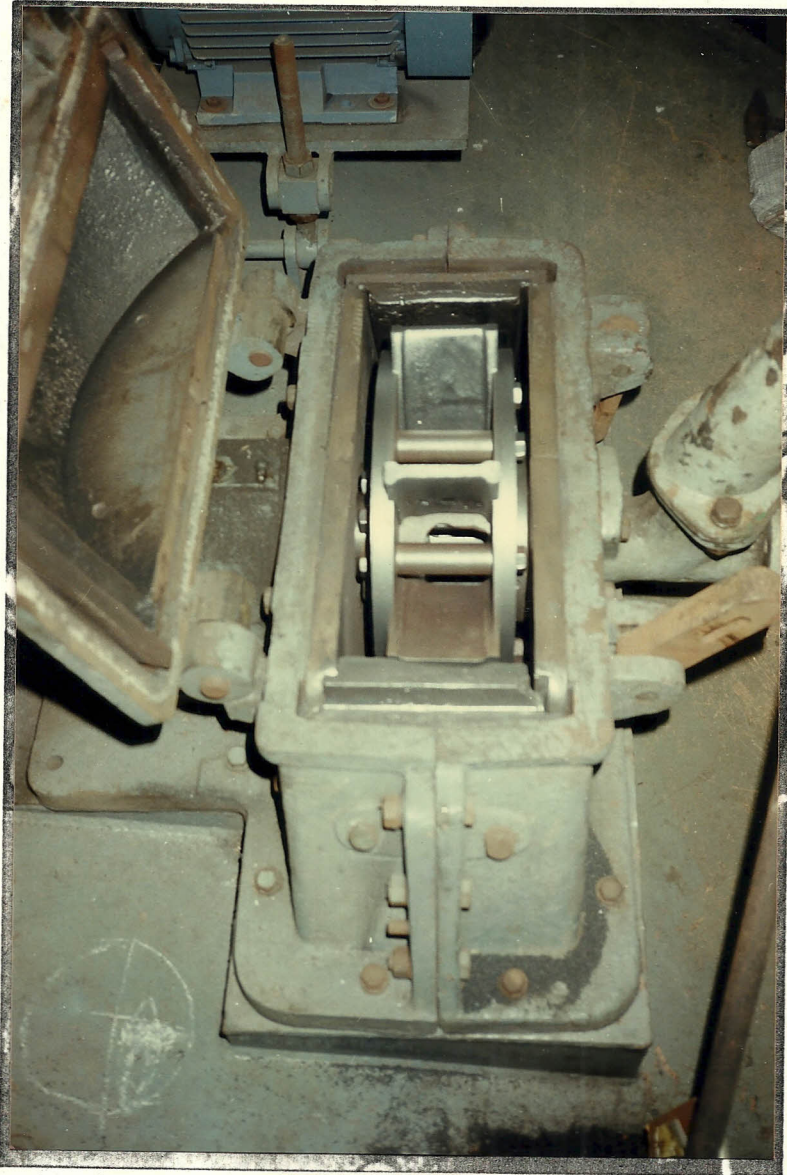


FIG. 1.5 SISTEMA DE LANZAMIENTO DE GRANALLA

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, precisamente a la rueda de distribución, ésta les comunica un movimiento de rotación proporcionando una cierta aceleración para lanzarlos a la cápsula de control, en donde una cierta cantidad son detenidos por la pared interior y otra cantidad pasa por la abertura de la cápsula de control a las paletas.

Es necesario indicar que de la correcta ubicación de la abertura de la cápsula de control depende la eficacia del chorro de abrasivo sobre la mesa de trabajo.

Los abrasivos que llegan a las paletas adquieren mayor velocidad, siendo este flujo, chorros individuales de abrasivos que impactan sobre la mesa de trabajo.

1.4 REQUERIMIENTOS DE PREPARACION SUPERFICIAL

La preparación superficial es quizá el factor más importante en la longevidad o duración de un recubrimiento específico. Una deficiente preparación superficial es directamente responsable de un gran número de fallas prematuras en recubrimientos.

Existen diferentes métodos de preparación superficial.

La elección depende del tipo de sustrato que está siendo preparado (acero, metal galvanizado, concreto, etc). Otro de los factores que afectan la elección del método de preparación superficial es el sistema de pintura a emplear. Generalmente sistemas de protección sintético tales como vinylicos, epóxicos, caucho clorado y fenólicos requieren una preparación superficial más exigente (por ejemplo granallado centrífugo) que los recubrimientos en base de aceite como los esteres alquídicos y epóxicos.

La preparación consiste en llevar a la superficie a una condición tal, que le permita a la pintura adherirse fuertemente a ella. El aspecto más importante es la limpieza, la superficie debe estar libre de aceite, grasa, tierra, polvo, etc, de tal manera que la pintura entre en contacto directo con la superficie que está siendo pintada, un simple lavado en muchos casos es suficiente para suministrar esta limpieza. En otros casos cuando están presentes sobre la superficie residuos de pinturas anteriores, herrumbre, calamina u otros contaminantes superficiales, deben ser removidos previo al pintado utilizando métodos de limpieza mediante abrasivos.

La segunda función de la preparación superficial es suministrar un patrón de anclaje. Esta rugosidad favorece la adherencia de la pintura en dos formas:

- Incrementa el área, permitiendo que un gran número de grupos químicos polares del recubrimiento entren en contacto con el sustrato.
- Suministra un patrón de anclaje para facilitar la adherencia física.

La rugosidad de la preparación superficial depende del tipo de abrasivo usado y de la fuerza con que éste impacta sobre la superficie que está siendo limpiada.

Es generalmente aceptado que un patrón de anclaje de aproximadamente 0,381 a 0,0889 mm. medido desde la cima del pico más elevado hasta el fondo del valle más bajo es recomendable para la mayoría de los sistemas de recubrimientos.

GRADOS DE PREPARACION SUPERFICIAL._ Existen varias normas en relación a la preparación superficial, entre estas tenemos: La norma británica (British standard) BS4232, la norma norteamericana con la especificación de preparación de superficies del Consejo de Pintura para Estructuras de Acero (Steel Structures Painting Council Surface Preparation) SSPC - Vis 1 y la norma suiza (Swedish Standard) SIS 05-59-00-1967.

Se puede obtener cuatro tipos de acabado superficial mediante el uso de abrasivos, estos acabados pueden ser comparados entre las diferentes normas.(Tabla VII)

TABLA VII

GRADOS DE LIMPIEZA SEGUN VARIAS NORMAS INTERNACIONALES ⁽⁷⁾

DESCRIPCION	BS 4232:1967	SSPC:1963	SIS 055900:1967
CHORREADO A METAL BLANCO	1a. Calidad	SSPC-SP 5	Sa. 3
CHORREADO A METAL CASI BLANCO	2a. Calidad	SSPC-SP 10	Sa. 2 1/2
CHORREDO TIPO COMERCIAL	3a. Calidad	SSPC-SP 6	Sa. 2
CHORREADO TIPO RAFAGA	-	SSPC-SP 7	Sa. 1
LIMPIEZA MECANICA	-	SSPC-SP 3	St 2-3
EXPUESTO A INTERPERIE Y CHORREADO	-	SSPC-SP 9	Sa 2, 2 1/2 o 3
LIMPIEZA DE ACERO A LA LLAMA	-	SSPC-SP 4	-
LIMPIEZA MANUAL	-	SSPC-SP 2	-
LIMPIEZA CON DISOLVENTES	-	SSPC-SP 1	-

A continuación se describe los grados de preparación de acuerdo a la SSPC (Steel Structures Painting Council).

- Preparación a metal blanco (SP-5): Eliminación total de calamina, herrumbre, pintura, óxidos, productos de corrosión y elementos extraños que pueden ser observados a simple vista.
- Preparación a metal casi blanco (SP-10): Limpieza hasta que el 95 % de cada una de las zonas de la superficie total se encuentre libre de todo residuo visible.
- Preparación tipo comercial (SP 6): Limpieza hasta que el 75 % de cada una de las zonas de la superficie quede libre de todo residuo visible.
- Preparación tipo ráfaga (SP 7): Limpieza hasta conseguir que se haya eliminado residuos visibles en un 50 %.

Para establecer el grado de rugosidad alcanzado se utilizan los discos comparadores. Estos discos normalizados sirven para realizar una comparación visual o táctil, empleando un magnificador de 5X o utilizando la yema de los dedos para establecer la rugosidad. (Fig. 1.6)

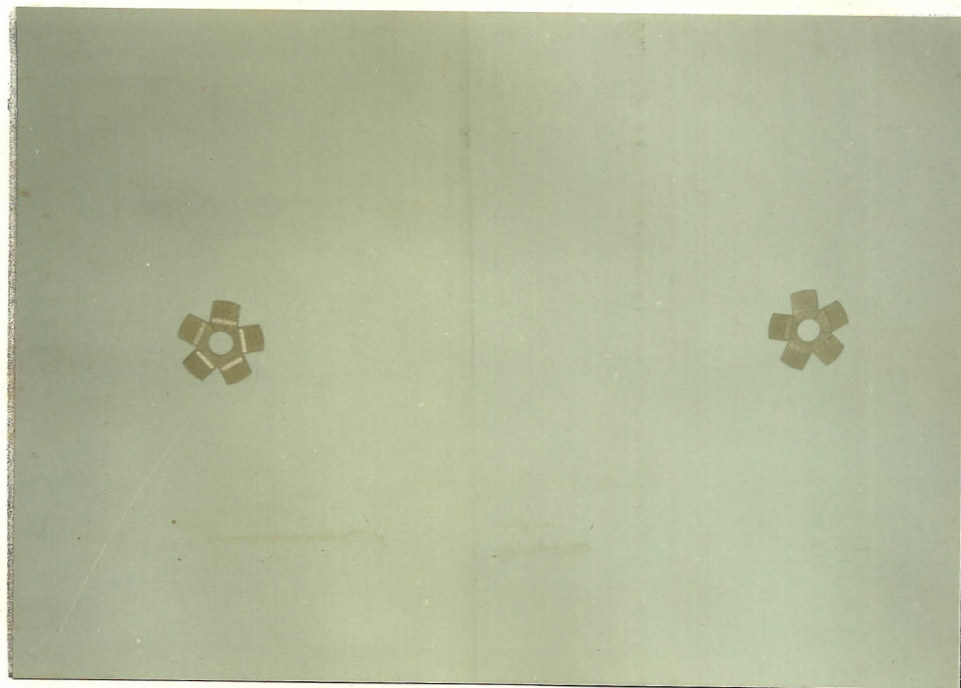


FIG. 1.6 DISCOS COMPARADORES

Cada disco está constituido por cinco secciones, cada una de ellas con una determinada rugosidad. Cada sección está marcada primeramente con el valor de la profundidad nominal en mils, 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 en que fue fabricado el disco.

GRADOS DE CORROSION._ Los grados de corrosión o de herrumbre son los siguientes:

A: Superficie de acero con la capa de laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión.

B: Superficie de acero con principio de corrosión y de la que la capa de laminación comienza a despegarse.

C: Superficie de acero donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión o de la que la capa de laminación puede ser eliminada por raspado, pero en la cual no se han formado en gran escala cavidades visibles.

D: Superficie de acero donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y donde se han formado en gran escala cavidades visibles.

CAPITULO II

OBTENCION DE PATRONES SUPERFICIALES Y OPTIMIZACION DEL PROCESO DE GRANALLADO CENTRIFUGO EN LA ESPOL

2.1 PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO DE GRANALLADO CENTRIFUGO

El equipo de granallado centrífugo de la ESPOL fue utilizado unicamente con recortes de clavos y arena de sílice, debido a que no existía granalla de acero en la ESPOL.

En la actualidad se dispone de este tipo de abrasivo (granalla de acero tipo shot S-390) con la cual se realizan las diferentes pruebas experimentales. Se hace necesario por lo tanto efectuar ciertas operaciones que permitan utilizar el nuevo tipo de abrasivo. Dentro de estas operaciones podemos mencionar las siguientes:

- Limpieza general del sistema: Esto implica eliminar todo residuo de arena o recortes de clavos existentes sobre la mesa de trabajo, depositados en

la artesa, tolva, turbina y en ciertas partes de la máquina. También se realiza la limpieza del sistema extractor de polvos, esto es, los ductos y el filtro.

- Revisión del sistema de transporte y elevación:

Debido a que el peso a ser transportado por cada cangilón es ahora mayor, se procedió a templar la banda transportadora que soporta los cangilones para evitar el problema de resbalamiento; esto implica necesariamente nivelar el eje que soporta la polea superior para que no se produzca el acercamiento de la banda hacia uno de los bordes de la polea, lo cual trae como consecuencia el atascamiento de los cangilones, pues estos rozan con la cubierta.

- Revisión del sistema eléctrico.

- Colocación de granalla en el sistema.

Luego de esto se procedió a la calibración de la cápsula de control, con la finalidad de obtener un chorro de granalla que cubra la mayor área posible sobre la mesa de trabajo, tomando este aspecto en consideración se realizaron diferentes pruebas obteniéndose los mejores resultados en la posición que se muestra a continuación. (Fig. 2.1)

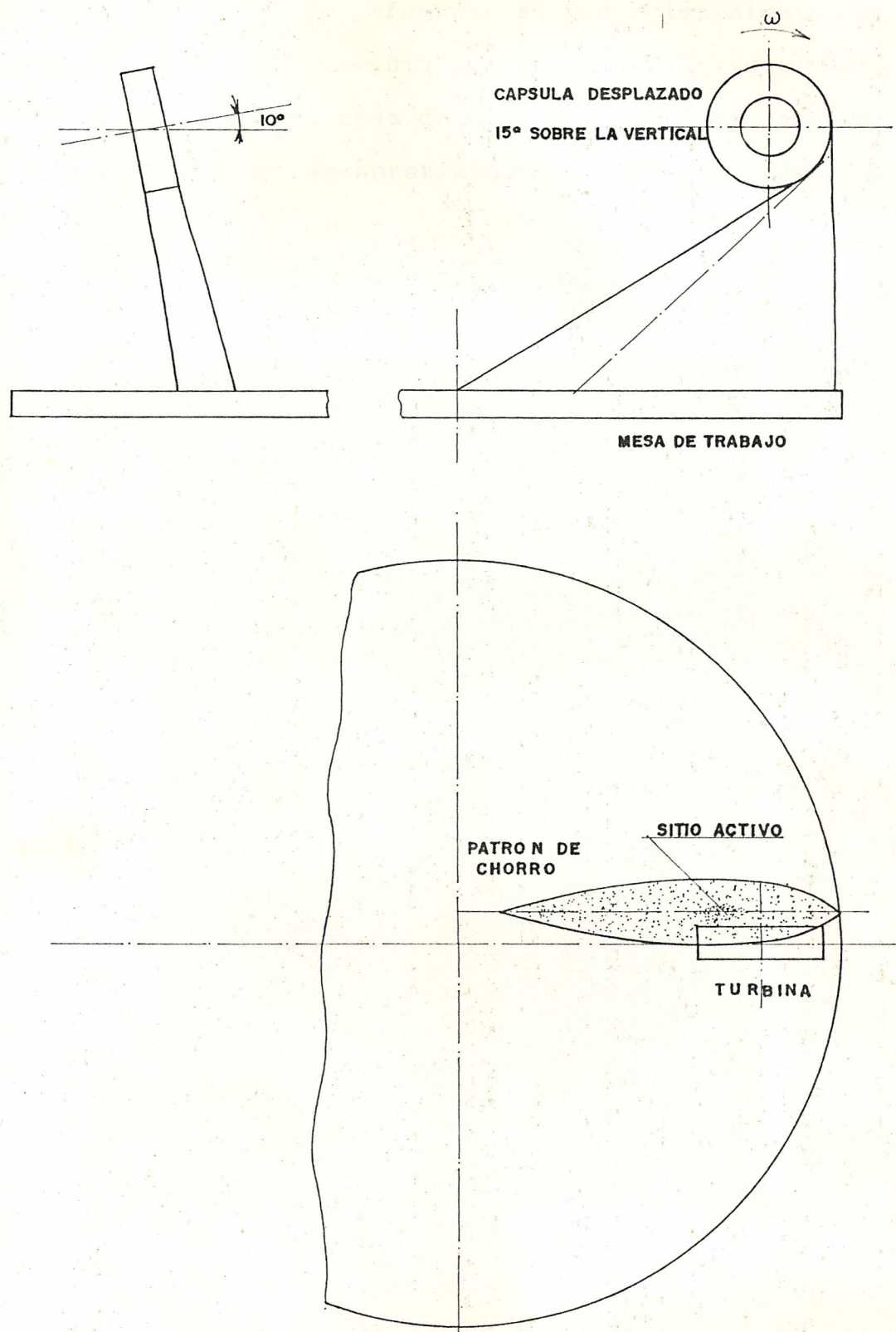


FIG. 2.1 LOCALIZACION DEL CHORRO DE ABRASIVO

Posteriormente se efectúa el establecimiento del patrón del chorro, utilizando para ello una tabla colocada sobre la mesa de trabajo. El área cubierta por el chorro es de aproximadamente 600 cm².(Fig. 2.2)

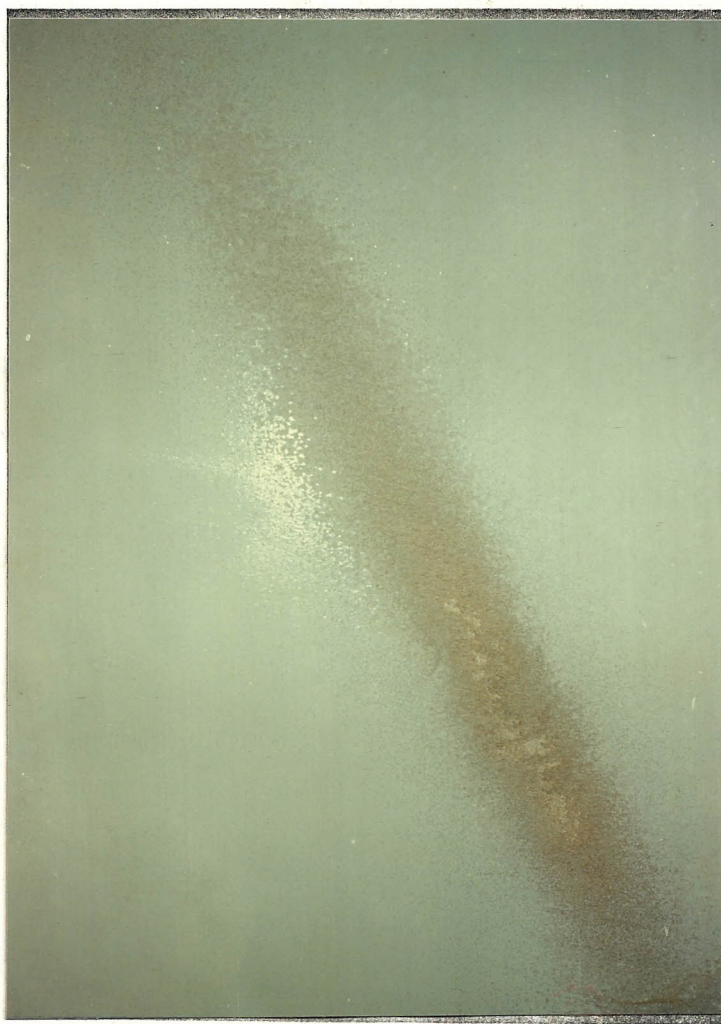


FIG. 2.2 PATRON DEL CHORRO

Finalmente pasamos a determinar la eficiencia del flujo de abrasivo, utilizando la curva de eficiencia suministrada por la Wheelabrator, Fig. 1 del apéndice, conociendo que la turbina es impulsada por un motor de 10 HP y 220 Voltios encontramos que se requiere un valor de corriente de 26 Amp. para tener un 100 % de flujo abrasivo. Con la ayuda de un amperímetro y variando el caudal de ingreso de granalla hacia la turbina mediante el mecanismo regulador de flujo se llega a establecer este valor de corriente y se procede a marcar sobre la escala de regulación, sirviendo como tope máximo de caudal, evitando de este modo recargar el sistema durante la realización de las pruebas.

2.2 OBTENCION DE PATRONES SUPERFICIALES

2.2.1 PREPARACION SUPERFICIAL DE LAS PROBETAS

Para efectuar la preparación superficial se utiliza un grupo constituido por cuatro probetas, teniendo cada una de ellas una superficie de aproximadamente 250 cm². La condición en que se encuentran estas probetas abarca los cuatro tipos de corrosión existentes. (Fig. 2.3)

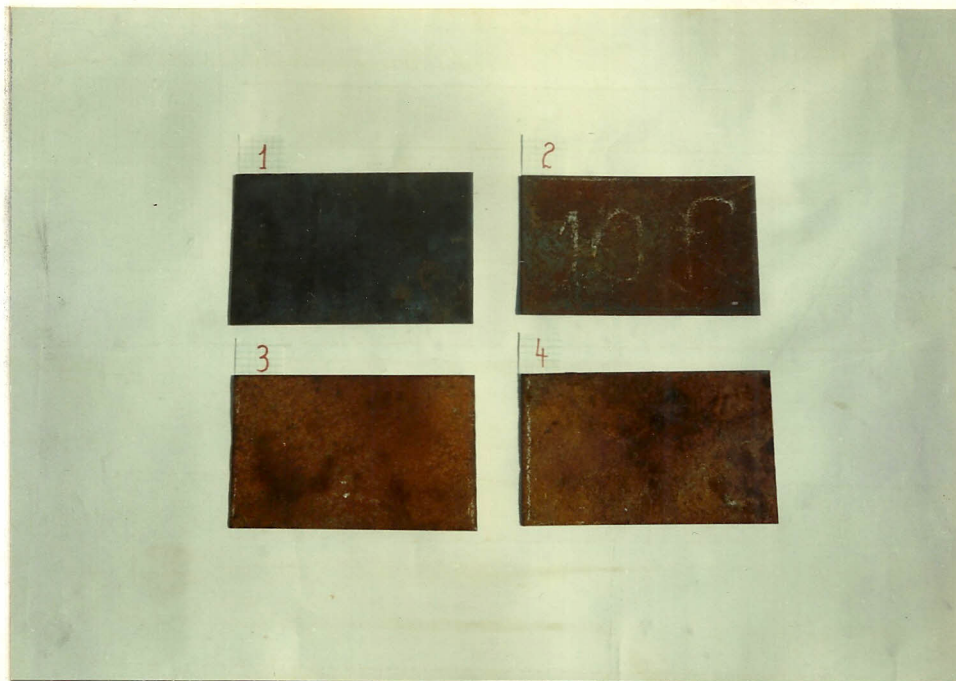


FIG. 2.3 GRADOS DE CORROSION

Al mismo tiempo se realiza la preparación de las probetas que se utilizan en los ensayos de corrosión acelerada.

A diferencia de las probetas utilizadas en la obtención de patrones superficiales y en el proceso de optimización, estas presentan una área mucho menor, aproximadamente 50 cm².

La relación existente entre el número de la probeta y el tipo de corrosión se presenta en

la Tabla VIII

TABLA VIII

RELACION ENTRE EL NUMERO DE LA PROBETA Y EL
TIPO DE CORROSION

NUMERO DE PROBETA	TIPO DE CORROSION
1	A
2	B
3	C
4	D

2.2.2 COMPROBACION DE LOS GRADOS DE LIMPIEZA MEDIANTE PATRONES VISUALES

Luego de haber granallado las probetas se procede a determinar el acabado superficial al que se llega, utilizando para esto el comparador visual de la NACE, el cual nos permite mediante comparación visual definir el grado de preparación tomando en consideración el tipo de corrosión que presentan las probetas antes de ser granalladas. Los resultados obtenidos los podemos expresar de la siguiente forma:

- Preparación tipo ráfaga (SP 7).

TABLA IX

RESULTADOS DE ACABADO SUPERFICIAL SP 7

PROBETA	CORROSION	TIEMPO (seg.)
1	A	--
2	B	10
3	C	15
4	D	20

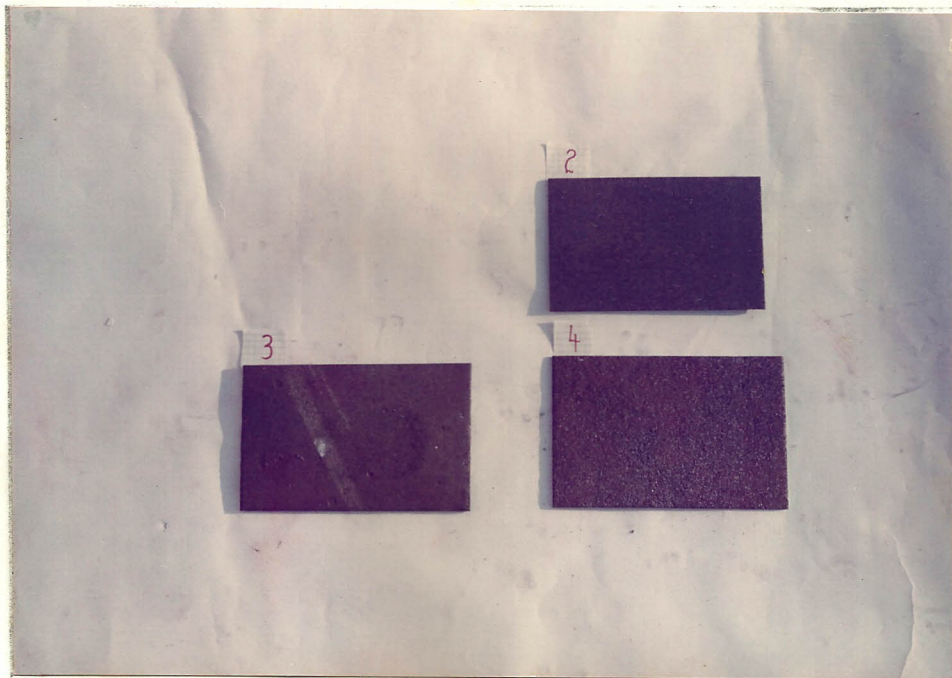


FIG. 2.4 ACABADO SUPERFICIAL SP 7

- Preparación tipo comercial (SP 6).

TABLA X

RESULTADOS DE ACABADO SUPERFICIAL SP 6

PROBETA	CORROSION	TIEMPO (seg.)
1	A	--
2	B	20
3	C	35
4	D	50

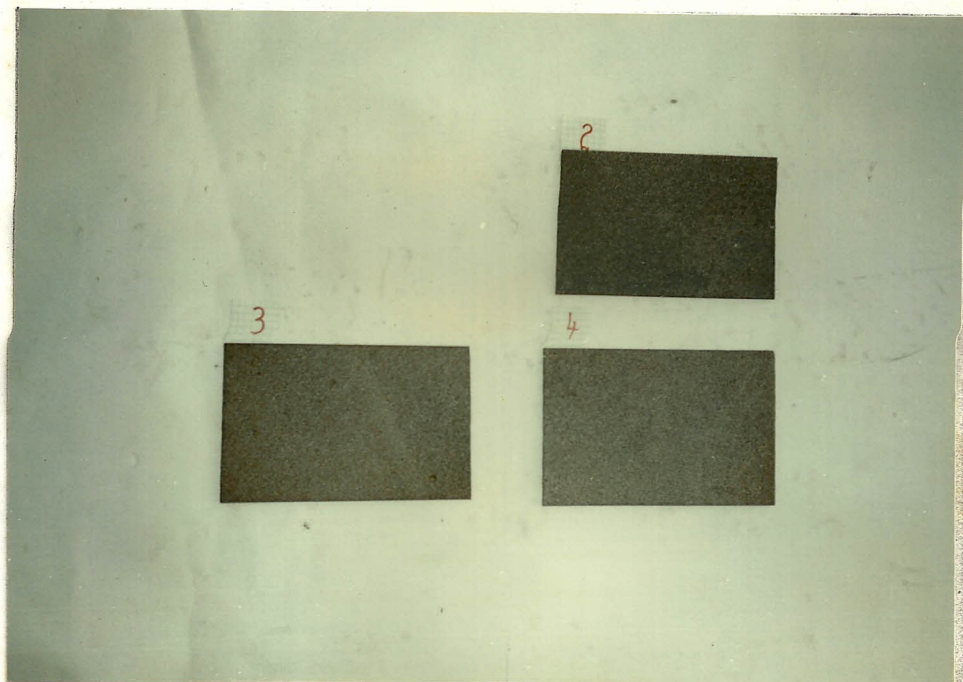


FIG. 2.5 ACABADO SUPERFICIAL SP 6

- Preparación a metal casi blanco (SP 10).

TABLA XI

RESULTADOS DE ACABADO SUPERFICIAL SP 10

PROBETA	CORROSION	TIEMPO (seg.)
1	A	50
2	B	65
3	C	95
4	D	125

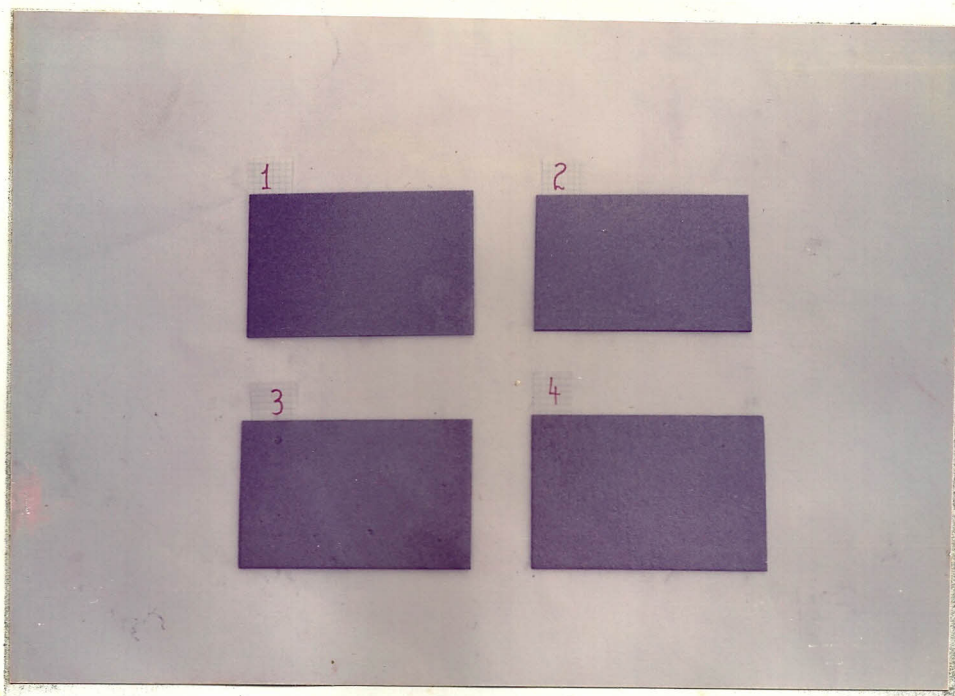


FIG. 2.6 ACABADO SUPERFICIAL SP 10

- Preparación a metal blanco (SP 5).

TABLA XII

RESULTADOS DE ACABADO SUPERFICIAL SP 5

PROBETA	CORROSION	TIEMPO (seg.)
1	A	72
2	B	86
3	C	118
4	D	147

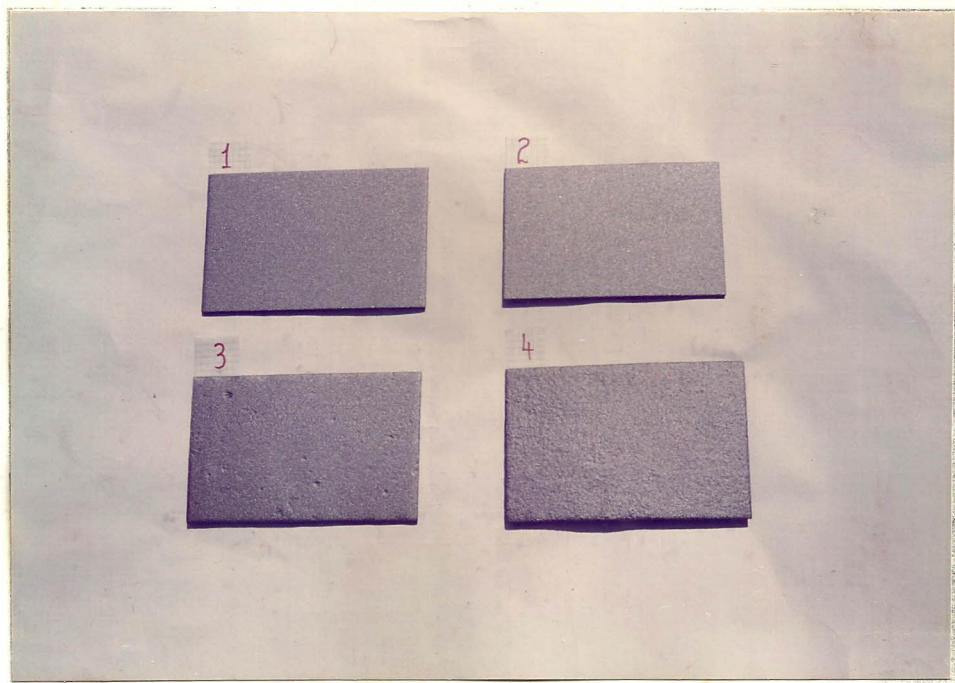


FIG. 2.7 ACABADO SUPERFICIAL SP 5

Es necesario indicar que para la obtención de los patrones superficiales se utiliza un caudal correspondiente a 52,3 kg/min. ubicando las probetas sobre la mesa de trabajo a un ángulo de 90°. Los tiempos empleados son dependientes del tipo de acabado y de la condición de partida o grado de corrosión que presenta la pieza.

2.2.3 DETERMINACION DEL PERFIL DE ANCLAJE

Para la realización de esta prueba se utilizan los discos comparadores (Fig. 1.6) y la lupa para obtener una magnificación de 5X, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Preparación tipo ráfaga (SP 7).

TABLA XIII

RUGOSIDAD A SP 7

PROBETA	CORROSION	RUGOSIDAD (mm.)
1	A	-----
2	B	0,0889
3	C	0,0889
4	D	0,0889

- Preparación tipo comercial (SP 6).

TABLA XIV

RUGOSIDAD A SP 6

PROBETA	CORROSION	RUGOSIDAD (mm.)
1	A	-----
2	B	0,0889
3	C	0,0889
4	D	0,0889

- Preparación a metal casi blanco (SP 10).

TABLA XV

RUGOSIDAD A SP 10

PROBETA	CORROSION	RUGOSIDAD (mm.)
1	A	0,1016
2	B	0,1016
3	C	0,1016
4	D	0,1016

- Preparación a metal blanco (SP 5)

TABLA XVI

RUGOSIDAD A SP 5

PROBETA	CORROSION	RUGOSIDAD (mm.)
1	A	0.1016
2	B	0,1016
3	C	0,1016
4	D	0,1016

2.3 OPTIMIZACION DE LA OPERACION DE GRANALLADO

2.3.1 Pruebas con variación de parámetros

Los parámetros a variar con el objeto de obtener una mejor preparación superficial en el menor tiempo posible son: Distancia, caudal y ángulo.

PRUEBA DE DISTANCIA

Para efectuar esta prueba utilizamos la ubicación del patrón del chorro sobre la mesa de trabajo (Fig. 2.2), la distancia a la que se ubican las diferentes probetas se la mide desde el centro de la mesa hacia el borde sobre el que se encuentra ubicada la turbina. (Fig. 2.8)

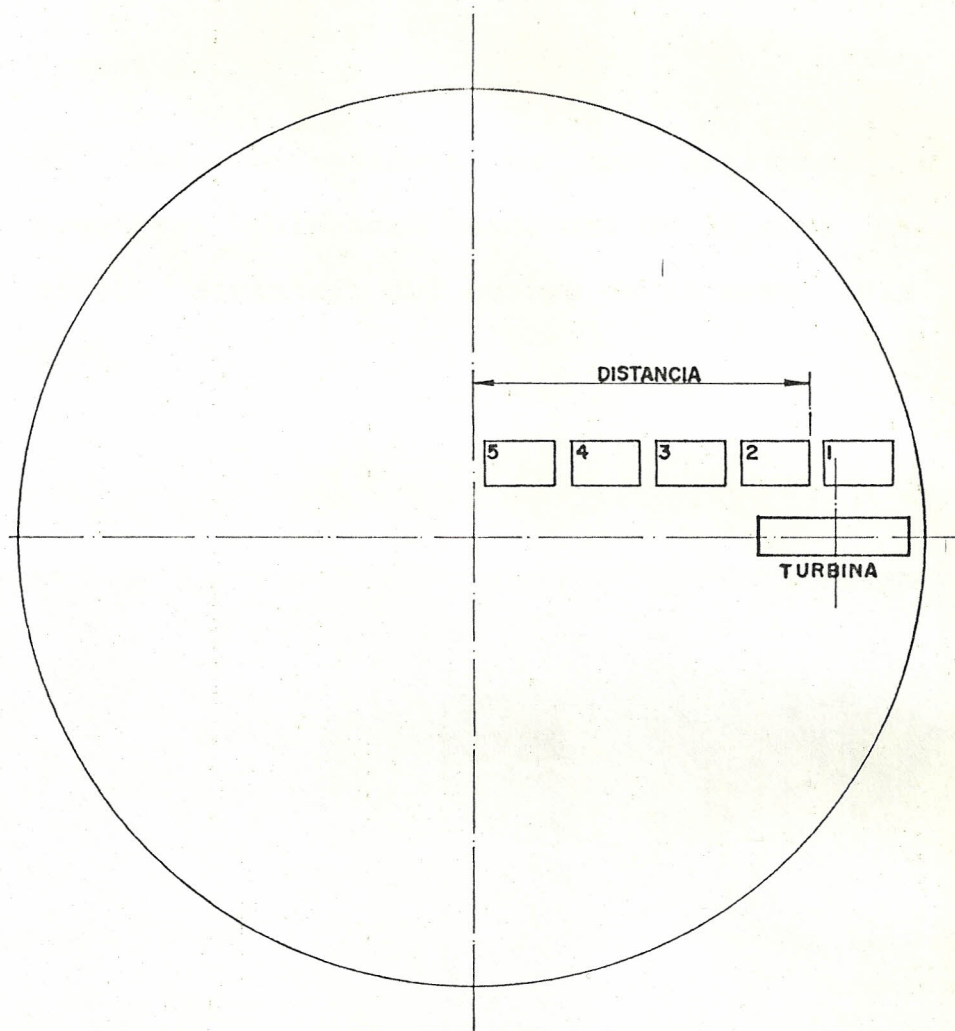


FIG. 2.8 UBICACION DE LAS PROBETAS SOBRE LA MESA DE TRABAJO

Cabe añadir que para estas pruebas se utilizan caudales pequeños con la finalidad de obtener resultados mucho más precisos.

En la prueba Nº 1 se utiliza un caudal de 52,3 kg/min, mientras que en la prueba Nº 2 se emplea un caudal de 26,4 kg/min; sin embargo en ambos casos el ángulo de colocación es 90°.

- Prueba 1:

En esta experiencia se han utilizado 8 probetas, colocadas cada una de ellas a una cierta distancia del centro de la mesa (Fig. 2.9).

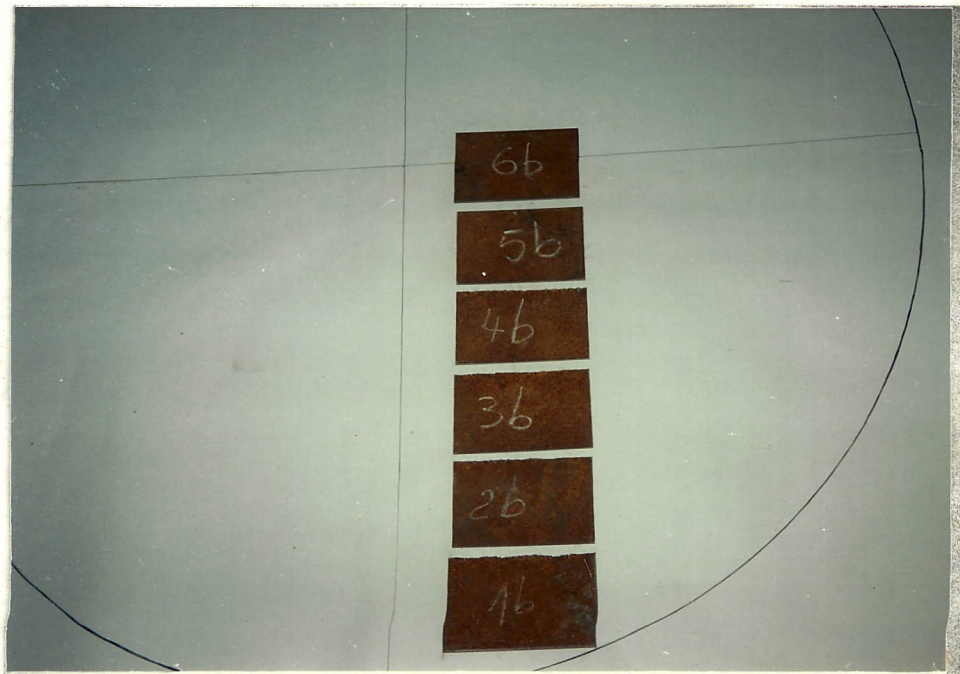


FIG. 2.9 PRUEBA DE DISTANCIA No 1

La evaluación de la probeta colocada en la mejor posición se la hace a través de la pérdida de peso, los resultados obtenidos están contenidos en la Tabla XVII.

TABLA XVII

RESULTADOS DE PRUEBA DE DISTANCIA No. 1

No. DE PROBETA	PESO EN GRAMOS			DISTANCIA CM.
	Wi	Wf	Wi-Wf	
1	929,9	925,7	4,2	72
2	986,1	981,5	4,6	58
3	918,6	906,3	4,3	44
4	882,7	878,5	4,2	38
5	947,1	944,0	3,1	16
6	945,5	943,5	2,0	2

TIPO DE CORROSION: B

CAUDAL: 52,3 kg/min.

TIEMPO: 60 seg.

La condición superficial de las probetas luego de esta prueba se muestra en la Fig. 2.10

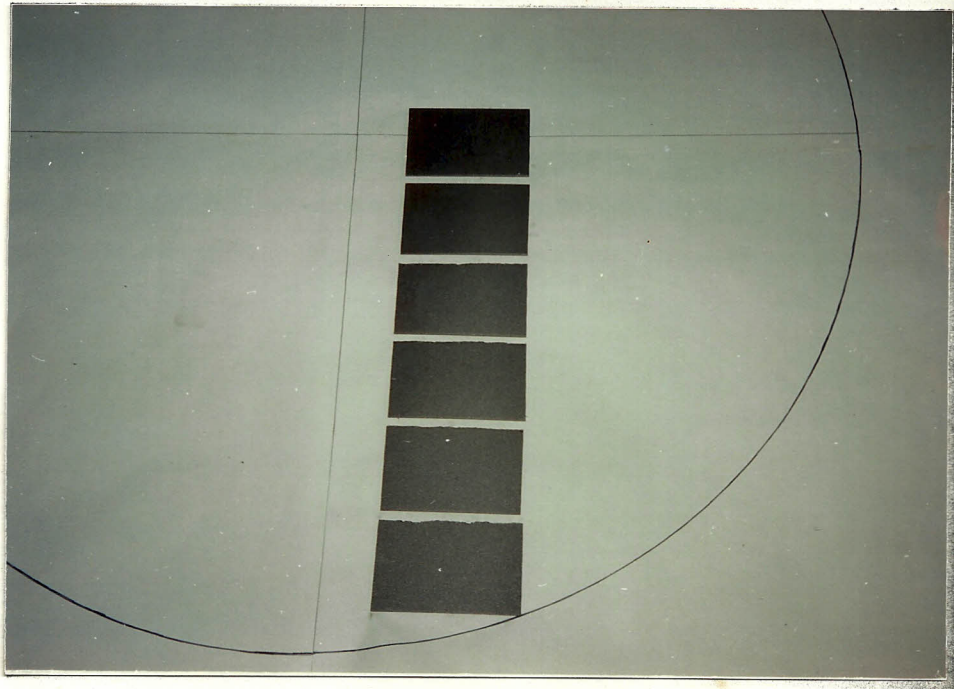


FIG. 2.10 RESULTADOS DE PRUEBA Nº 1

- Prueba 2:

Para la realización de esta prueba se utilizan tan sólo 5 probetas, ya que debido al resultado anterior la probeta número 6 ubicada a 2 cm. del centro de la mesa de trabajo sufre un impacto de granalla deficiente. (Fig. 2.11)

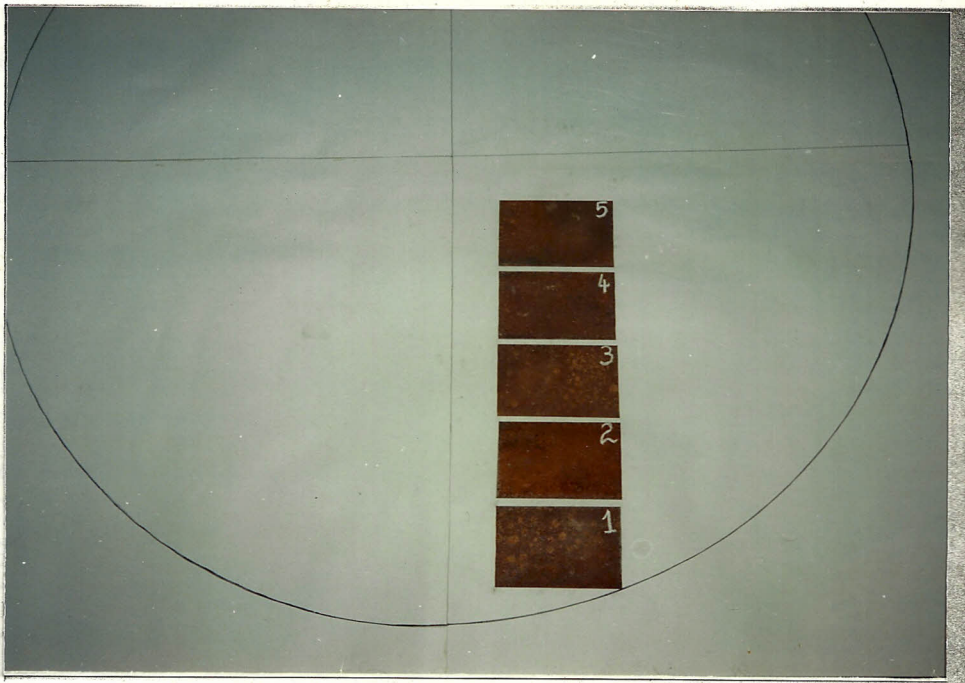


FIG. 2.11 PRUEBA DE DISTANCIA Nº 2

Esta experiencia tiene la misma finalidad que la anterior con la diferencia de que en este caso la evaluación se la efectúa en base fundamentalmente al tiempo requerido para alcanzar determinado grado de preparación superficial. Los resultados se muestran en la Tabla XVIII.

TABLA XVIII

RESULTADOS DE PRUEBA DE DISTANCIA No. 2

No. DE PROBETA	ACABADO	TIEMPO seg.	RUGOSIDAD mm.	DISTANCIA cm.
1	SP 10	150	0,1016	72
2	SP 10	90	0,1016	58
3	SP 10	120	0,1016	44
4	SP 10	150	0,1016	30
5	SP 10	190	0,1016	16

TIPO DE CORROSION: B

CAUDAL: 26,4 kg/min.

La apariencia física de las probetas sometidas a esta prueba se la puede observar en la Fig. 2.12

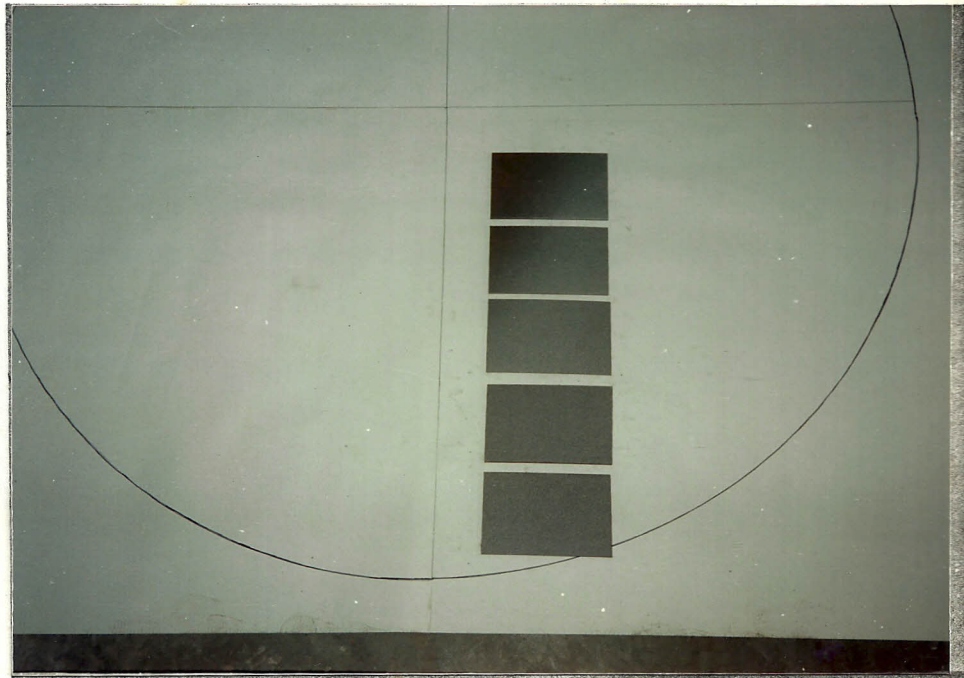


FIG. 2.12 RESULTADOS DE PRUEBA No 2

PRUEBA DE CAUDAL

Para efectuar esta prueba debemos primeramente escoger un grupo de caudales con los cuales proceder a granallar las probetas. Conocedores de la distancia que nos produce los mejores resultados, se colocan cinco probetas a la misma

distancia, esto es, a 58 cm. (Fig. 2.13)

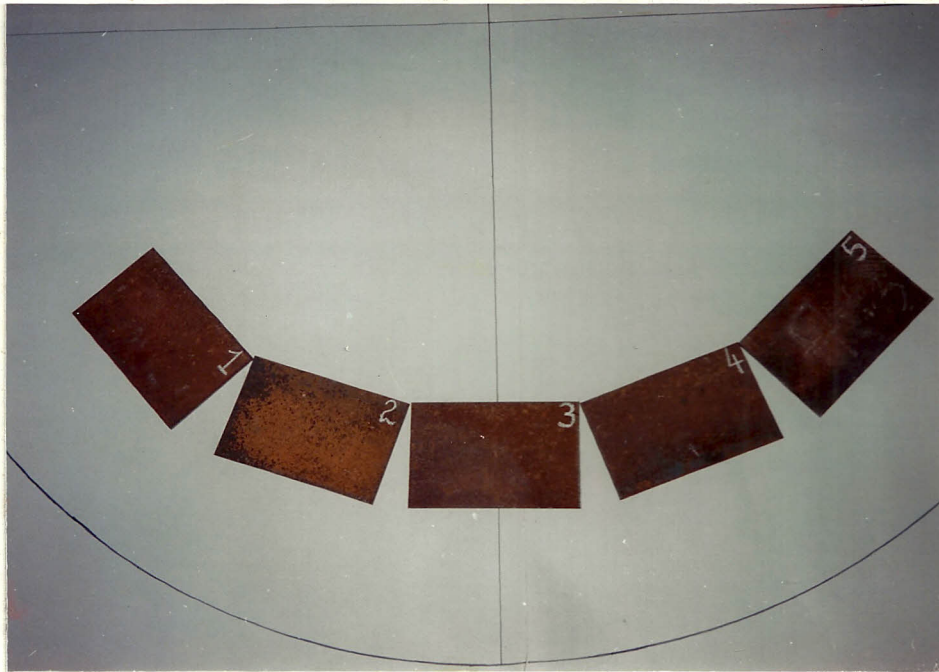


FIG. 2.13 PROBETAS PARA PRUEBA DE CAUDAL

Para seleccionar los caudales se requiere la curva de eficiencia de flujo proporcionada por la Wheelabrator, Fig. 1 del apéndice.

Considerando que para nuestro caso se trata de una turbina impulsada por un motor de 10 HP. a 220 Voltios, seleccionamos de la curva un grupo de cinco valores de eficiencia con sus respectivos valores de corriente.

Mediante el mecanismo de regulación de flujo y con la ayuda de un amperímetro se procede a construir una escala de caudal, pues para cada valor de corriente le corresponde un determinado caudal así como también una determinada eficiencia de flujo. (Tabla XIX)

TABLA XIX

ESCALA DE CAUDALES

CAUDAL (kg/min)	AMPERAJE	EFICIENCIA (%)	
Q1	82,1	26	100
Q2	72,3	24	85
Q3	52,3	20	60
Q4	26,4	15	30
Q5	6,4	12	8

La evaluación en este caso se hace en base al tiempo requerido para alcanzar un determinado grado de preparación superficial. (Tabla XX)

TABLA XX**RESULTADOS DE PRUEBA DE CAUDAL**

No. DE PROBETA	ACABADO	TIEMPO seg.	RUGOSIDAD mm.	CAUDAL kg/min.
1	SP 10	30	0,1016	82,1
2	SP 10	35	0,1016	72,3
3	SP 10	60	0,1016	52,3
4	SP 10	180	0,1016	26,4
5	SP 10	500	0,1016	6,4

TIPO DE CORROSION: B

DISTANCIA: 58 cm.

La condición superficial de las diversas probetas luego de haber sido granallas con distintos caudales se presenta en la Fig. 2.14

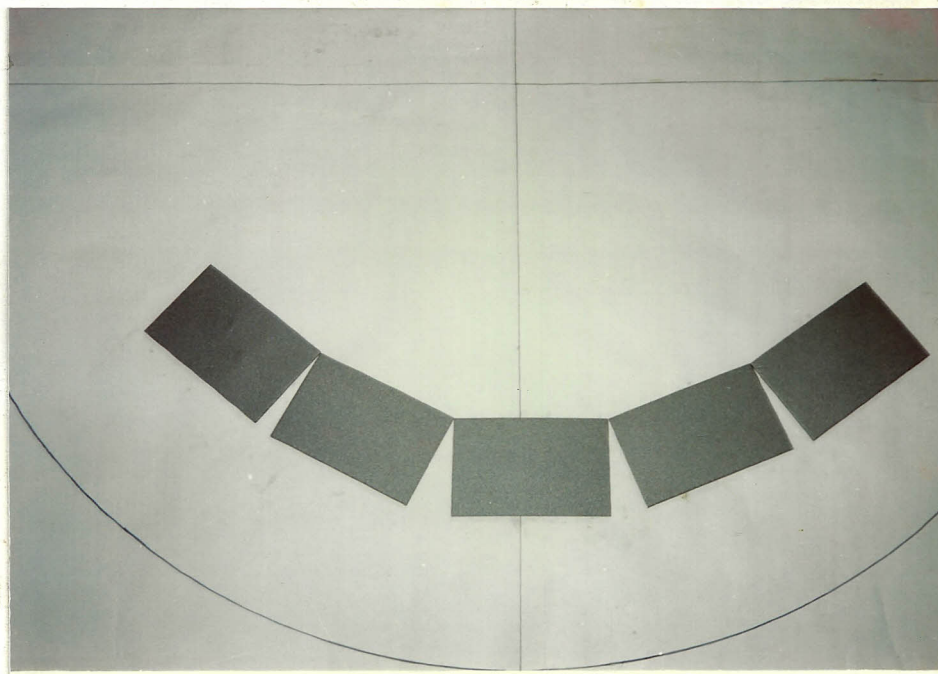


FIG. 2.14 RESULTADOS DE PRUEBA DE CAUDAL

PRUEBA DE ANGULO

Para llevar a cabo esta prueba se han ubicado probetas a las distancias que nos proporcionan los mejores resultados de limpieza, estas son: 58 y 44 cm. (Fig. 2.15)

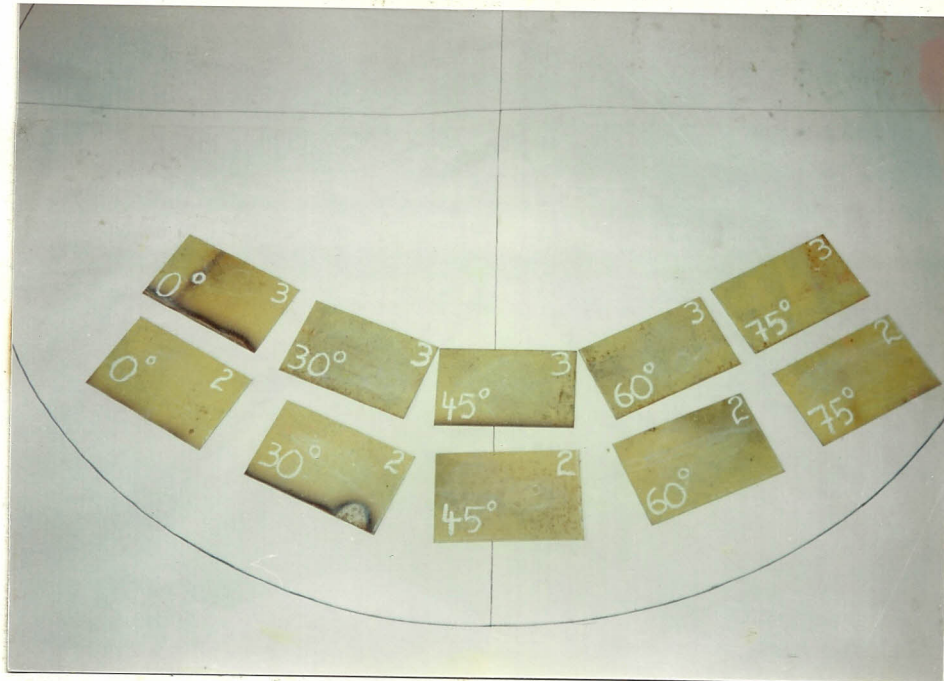


FIG. 2.15 PROBETAS PARA PRUEBA DE ANGULO

Para la correcta colocación de las probetas se utilizan ciertos dispositivos que nos permiten la obtención de los diversos ángulos.

La evaluación del efecto del ángulo se la hace mediante pérdida de peso, los resultados son los siguientes. (Tabla XXI)

TABLA XXI

RESULTADOS DE PRUEBA DE ANGULO

No. DE PROBETA	PESO EN GRAMOS			ANGULO EN GRADOS
	Wi	Wf	Wi-Wf	
2	574,0	573,0	1,0	30
3	561,0	560,0	1,0	30
2	543,0	541,9	1,1	45
3	573,0	572,1	0,9	45
2	563,3	561,6	1,7	60
3	585,8	584,6	1,2	60
2	580,8	580,2	0,6	75
3	561,3	560,9	0,4	75
2	548,5	548,1	0,4	90
3	553,8	553,4	0,4	90

CAUDAL: 26,4 kg/min.

TIEMPO: 30 seg.

La condición superficial de las probetas luego de haberse efectuado el granallado a diversos ángulos está dada en la Fig. 2.16.

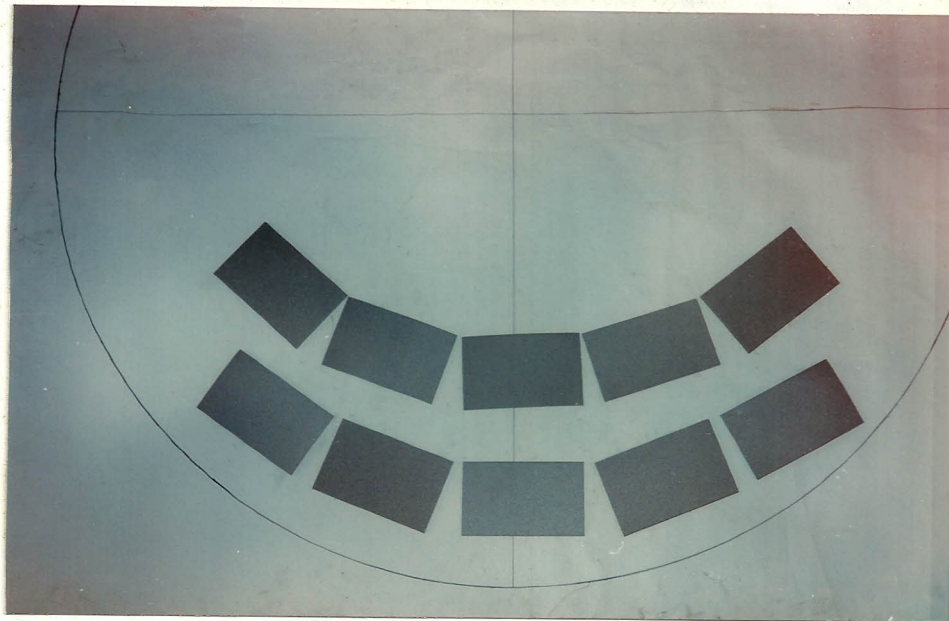


FIG. 2.16 RESULTADOS DE PRUEBA DE ANGULO

2.3.2 VERIFICACION DE LOS GRADOS DE ACABADO SUPERFICIAL UTILIZANDO PATRONES VISUALES.

Dentro de las diversas pruebas realizadas dentro de la optimización se obtienen diferentes grados de acabado superficial.

Esto se debe a que en ciertas pruebas la evaluación se realiza en base a la pérdida de peso, sin tomar en consideración el grado de preparación alcanzado durante el tiempo de ensayo.

En otros casos la evaluación se hace en función del tiempo requerido para alcanzar un determinado nivel de preparación superficial.

Puesto que anteriormente se explicó la forma de verificación de los grados de acabado superficial mediante la utilización del comparador visual de la NACE, se debe afirmar que los diversos grados obtenidos en la optimización fueron comprobados de manera similar.

2.3.3 ANALISIS DE RUGOSIDAD.

Dentro de las pruebas realizadas los grados de rugosidad obtenidos se efectuó en base a lo mencionado en la obtención de patrones superficiales, esto es, empleando los discos comparadores.

El grado de rugosidad que presentan las probetas luego de haber sido granalladas depende

fundamentalmente del tamaño de granalla que está siendo utilizado.

Debido a que la granalla tipo shot tiene como característica principal una gran resistencia a romperse reteniendo de esta forma su tamaño por largo tiempo, los grados de rugosidad obtenidos prácticamente se mantienen constantes a lo largo de las pruebas, fluctuando su valor entre 0,0889 y 0,1016 mm.

2.4 PROTECCION DE LAS PROBETAS MEDIANTE RECUBRIMIENTO CON PINTURA.

Es conocido que el principal problema de cara a la preparación del acero para el pintado es la eliminación de la totalidad de la calamina y de la herrumbre.

Si se coloca pintura sobre la calamina, se desprenderá juntamente con ella. La herrumbre proporciona una base débil para el pintado, contribuye al fallo de la pintura aplicada encima, y provoca corrosiones adicionales. La operación de granallado constituye un método completamente eficaz para limpiar el acero de calamina, herrumbre y otras impurezas.

El proceso de granallado centrífugo de la ESPOL, permite obtener una superficie completamente libre de

los factores anteriormente mencionados, a la vez produce una superficie rugosa, proporcionando un buen patrón de anclaje para la pintura, lo cual fue comprobado al realizar el recubrimiento con pintura de las probetas a utilizar en el ensayo de corrosión acelerada. (Fig. 2.17)

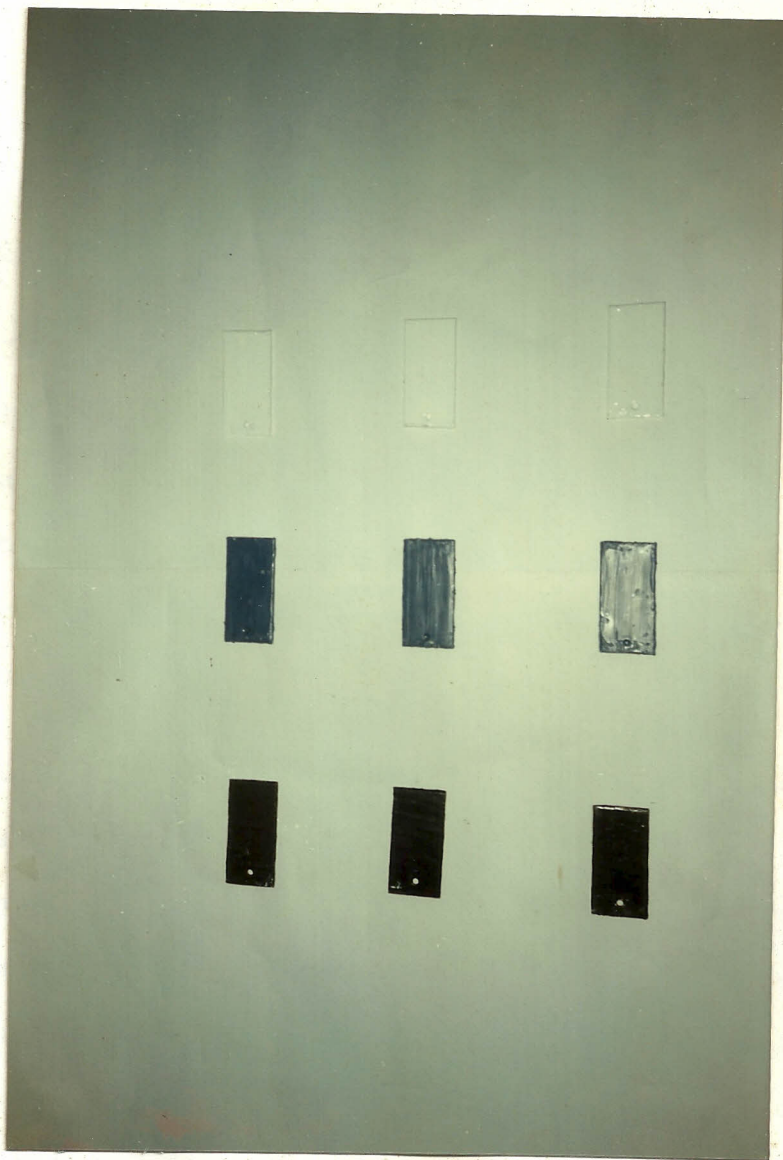


FIG. 2.17 PROBETAS CON RECUBRIMIENTO DE PINTURA

CAPITULO III

RESULTADOS FINALES

3.1 ANALISIS DE LA UTILIZACION DE GRANALLA TIPO SHOT

CONTINUIDAD:

El funcionamiento del equipo de granallado centrífugo de la ESPOL requiere la colocación de 125 kg. de granalla tipo shot 390 en el sistema. Se podría efectuar la operación de granallado con una cantidad menor, pero esto significaría perder continuidad en el flujo.

De las distintas pruebas realizadas, trabajando en todas ellas con caudal máximo (82,1 kg/min.) se pudo establecer que con 125 kg. de granalla el sistema de transporte y elevación funciona correctamente, depositando la granalla sobre la tolva de alimentación en una forma tal que permite mantener la continuidad del flujo.

EFICIENCIA:

Para analizar la eficiencia de la turbina con este tipo de granalla requerimos del apéndice, tabla I.

El tipo de turbina que posee el equipo de granallado centrífugo tiene una rueda de 356 mm. con una potencia de 10 HP. manejando un flujo de 110 kg/min. De las pruebas realizadas y utilizando la gráfica de eficiencia de la Wheelabrator Fig. 1, del apéndice, encontramos que la capacidad máxima de flujo de la turbina corresponde a un valor de 82,1 kg/min. Este valor se encuentra por debajo del valor de flujo máximo de diseño que corresponde a 110 kg/min. Por lo tanto la eficiencia de la turbina manejando granalla de acero tipo shot 390 es aproximadamente 75 %.

ENERGIA DE IMPACTO:

La energía de impacto de la granalla es la energía cinética, la cual está determinada por la fórmula:

$$E = \frac{1}{2} M * V^2 \quad 3.1$$

Donde: E = Energía cinética, N.m.

M = Masa de la granalla, kg.

V = Velocidad de la granalla, m/seg.

Se conoce que la velocidad de salida de la granalla

desde el álabe es de aproximadamente 77,23 ⁽⁷⁾ m/seg. La granalla shot 390 tiene un diametro de 1,1 mm. y un peso de 0,00508 gr, ver tabla V.

Sin embargo, antes de efectuar el cálculo energético es necesario considerar la pérdida de velocidad que sufre la granalla al desplazarse en el aire. (Fig. 3.1)

Analizando este gráfico y considerando que la distancia que recorre la granalla es de aproximadamente 1 a 2 pies, se cree conveniente multiplicar la velocidad de la granalla a la salida del álabe por un factor de 0,95. Por lo tanto la velocidad de impacto de la granalla sería 73.36 m/seg.

Reemplazando los valores en la ecuación 3.1 resulta que la energía de impacto es:

$$E_c = 0,013 \text{ N.m (1,394 Kg.mm.)}$$

Este valor es comparable con los datos suministrados por la Tabla II del apéndice.

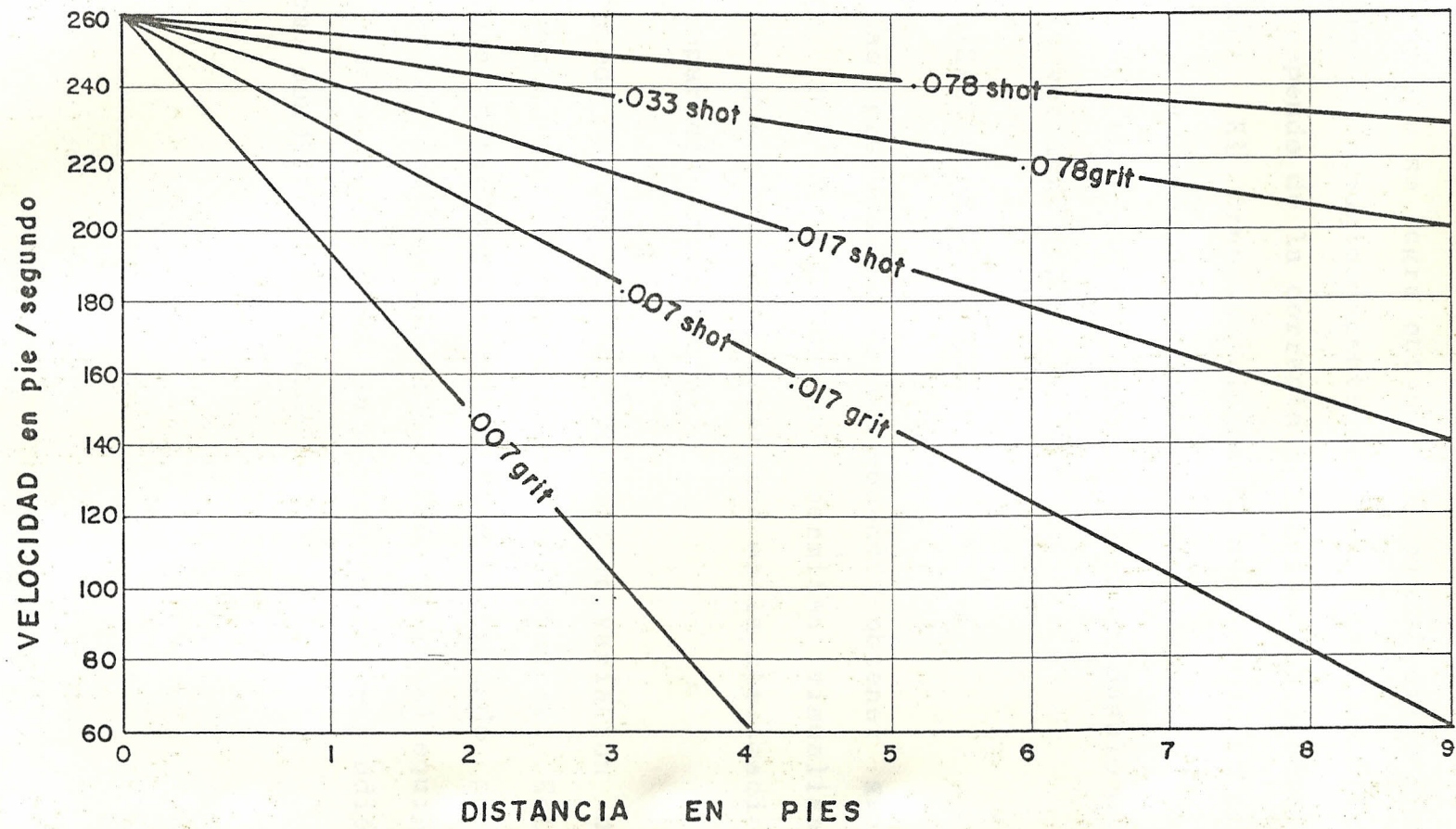


FIG. 3.1 DISMINUCION DE VELOCIDAD DE LA GRANALLA PROYECTADA EN EL AIRE

En lo que respecta al patrón de chorro, con este tipo de granalla se logra obtener una superficie o área de ataque de aproximadamente 600 cm^2 , cabe resaltar que esto depende de la correcta ubicación de la cámara de control. El área anteriormente mencionada se produce cuando la cámara de control se encuentra en una posición tal que su abertura forma un ángulo de 16° con la vertical. (Fig. 2.1)

OPTIMIZACION DE DISTANCIA

De las pruebas realizadas podemos obtener gráficos (Figs. 3.2 y 3.3) que nos permiten visualizar el efecto que tiene este parámetro en la realización de la preparación superficial.

Se puede notar claramente como la variación de la distancia nos produce cambios importantes. Esto se refleja directamente en el tiempo empleado para la obtención de un grado específico. Para el equipo de granallado de la ESPOL la distancia correspondiente a 58 cm. constituye la óptima.

OPTIMIZACION DE DISTANCIA PRUEBA # 1

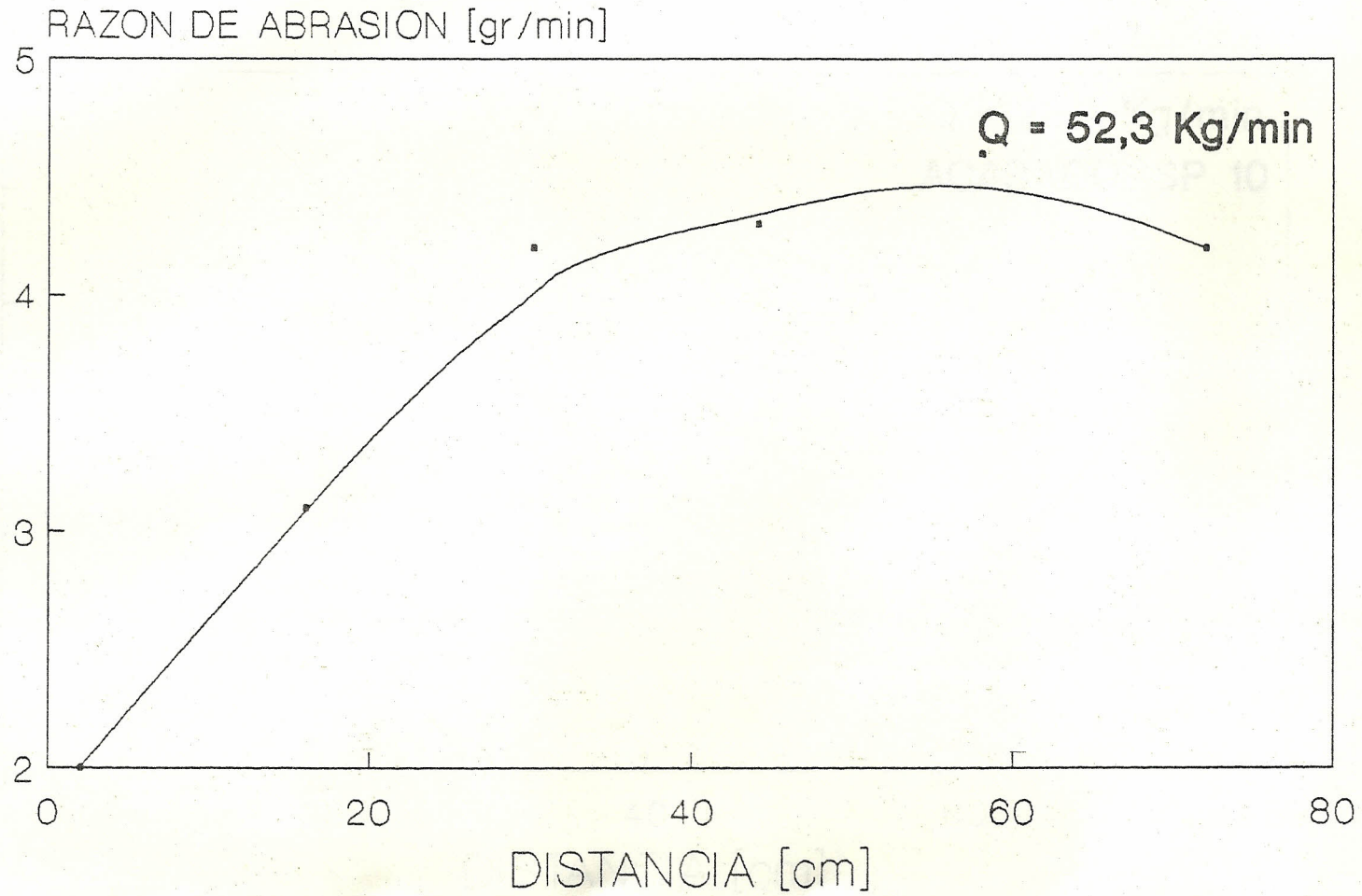


FIG. 3.2 VARIACION EN LA RAZON DE
ABRASION CON LA DISTANCIA

OPTIMIZACION DE DISTANCIA

PRUEBA # 2

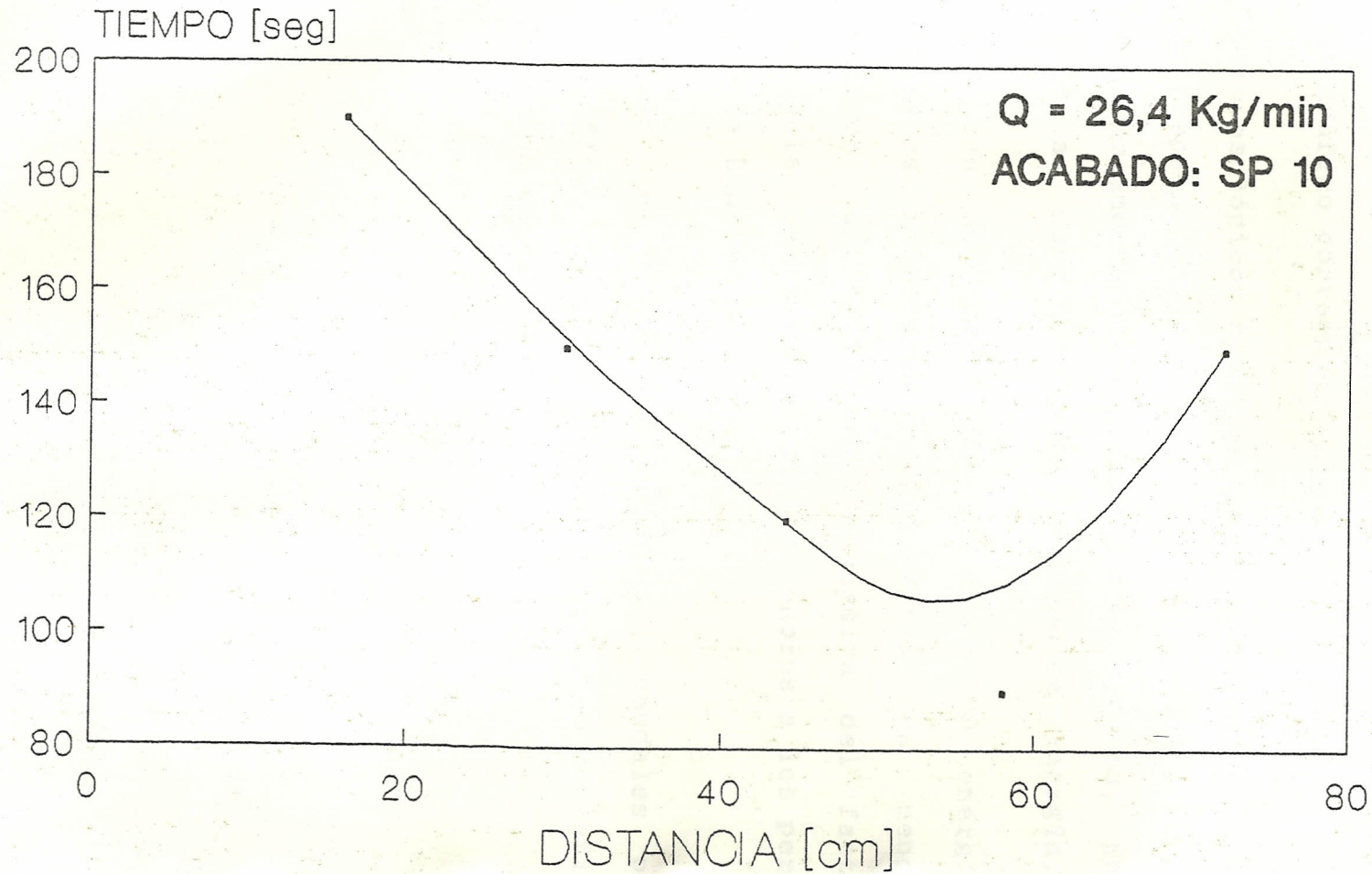


FIG. 3.3 VARIACION DEL TIEMPO DE GRANALLADO CON LA DISTANCIA

OPTIMIZACION DE CAUDAL

Las pruebas realizadas nos permiten obtener el gráfico correspondiente a la Fig. 3.4

Como es lógico, mientras mayor es el caudal, el tiempo de preparación es menor. Sin embargo esto no implica necesariamente que los costos sean menores, pues para ello se debe analizar el consumo de energía.

Si bien es cierto que el consumo de energía para caudales inferiores a 82,1 kg/min. es menor, nos produce una disminución excesiva del factor de potencia, alcanzando valores menores a los permitidos por la Empresa Eléctrica.

Además, el hecho de trabajar a caudales pequeños significa operar la máquina a niveles de eficiencia bastante bajos.

OPTIMIZACION DE CAUDAL

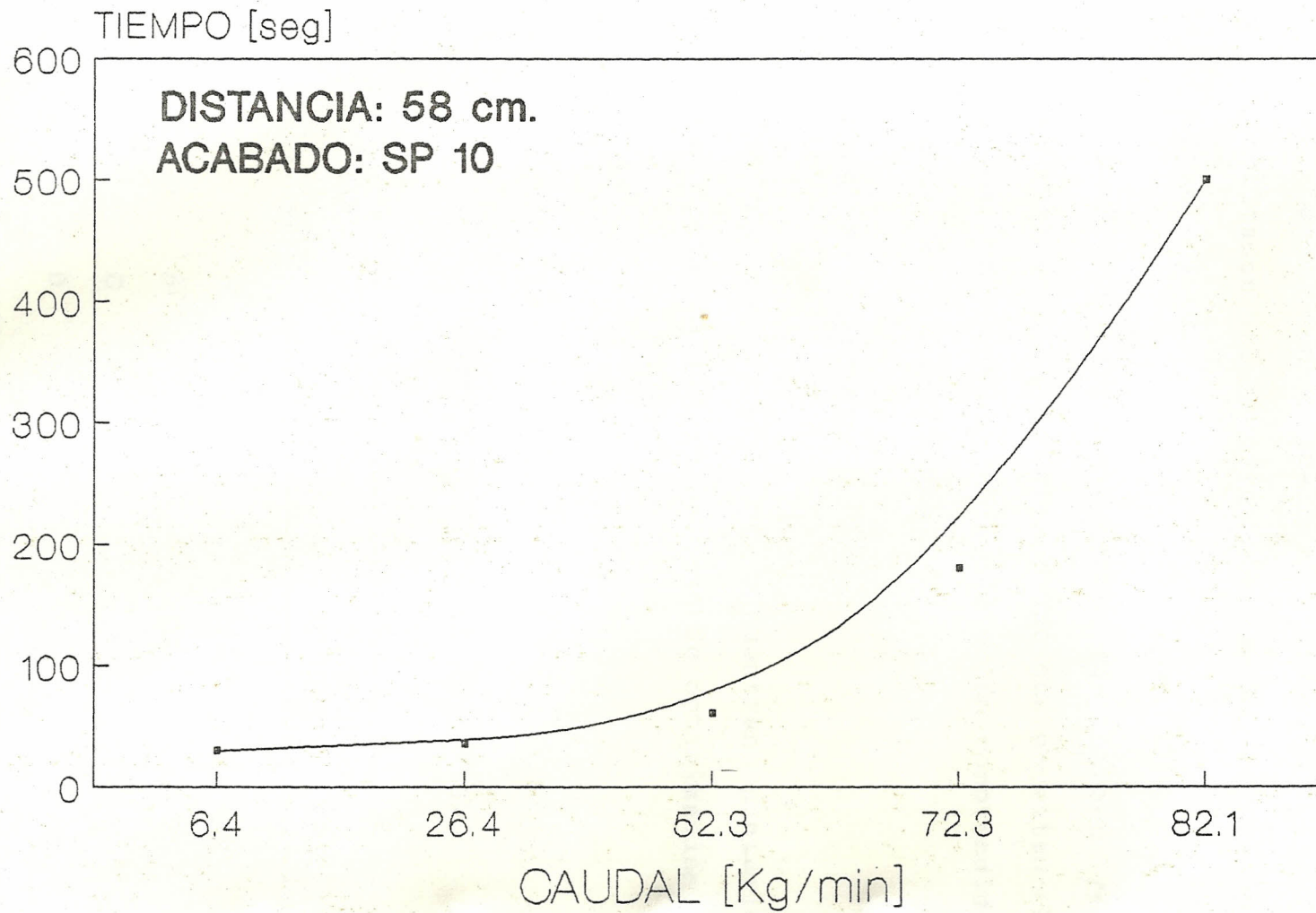


FIG. 3.4 EFECTO DEL CAUDAL EN EL TIEMPO DE GRANALLADO

OPTIMIZACION DEL ANGULO

La experimentación la efectuamos determinando pérdida de peso con respecto a diversos ángulos, los resultados nos permiten obtener las curvas contenidas en la Fig. 3.5

Los ángulos que nos producen los mejores resultados, es decir aquellos ángulos que nos permiten obtener la mayor velocidad de abrasión están comprendidos en el rango de 45 a 60 grados.

CONSUMO ENERGETICO

En la tabla XXII se encuentran contenidos los resultados luego del proceso de optimización.

TABLA XXII

TIEMPOS OPTIMOS DE GRANALLADO

TIPO DE CORROSION	TIEMPO (seg.)	
	SP 10	SP 5
A	15	25
B	25	35
C	35	50
D	40	50

OPTIMIZACION DE ANGULO

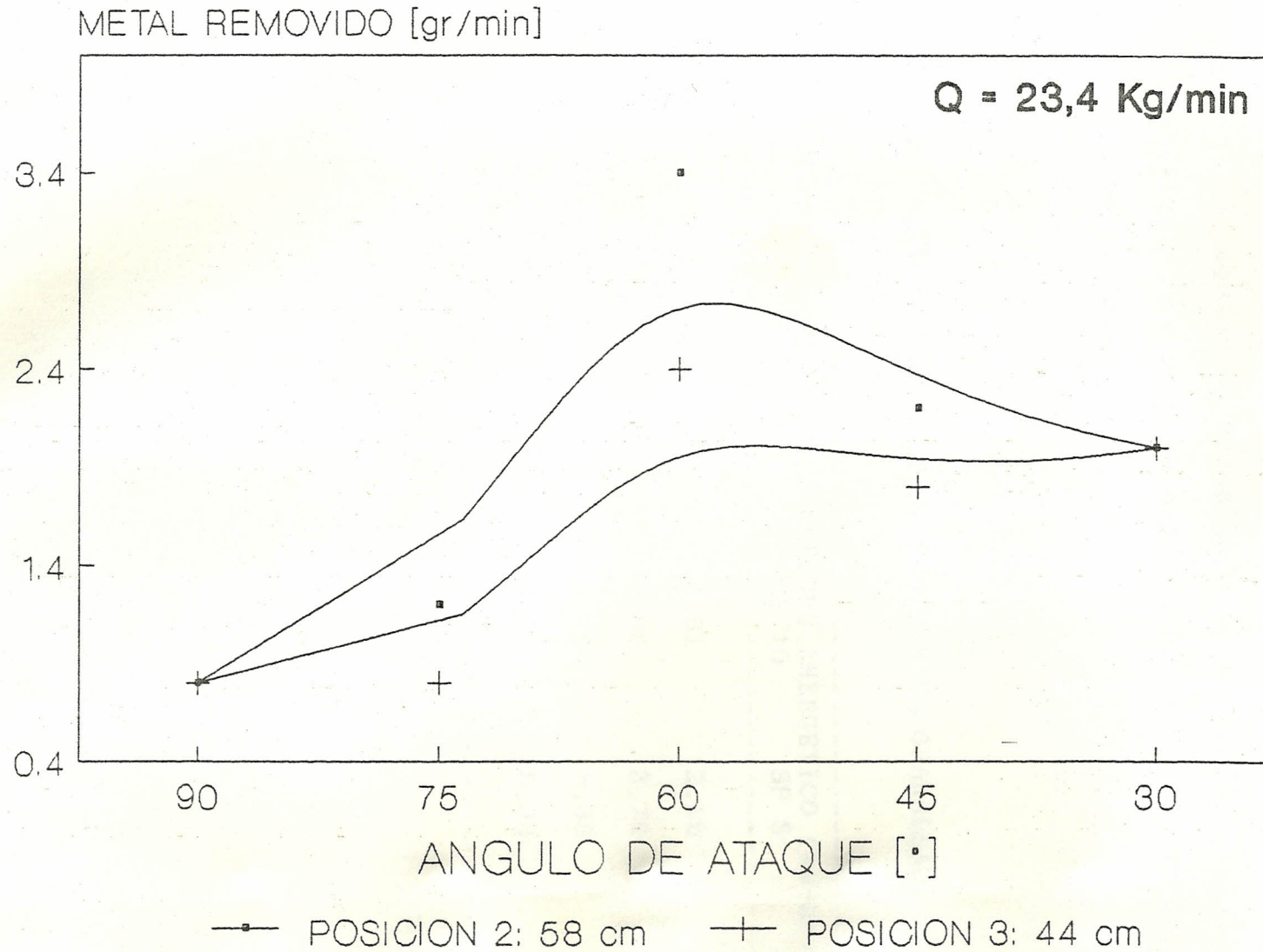


FIG. 3.5 INFLUENCIA DEL ANGULO EN LA RAZON DE ABRASION

Estos datos estan basados en la preparaci3n de las probetas de una 1rea de aproximadamente 250 cm².

En base a estos datos el consumo energ3tico requerido por el equipo de granallado de la ESPOL durante la preparaci3n de 1 m² de superficie se dan a conocer en la tabla XXIII.

TABLA XXIII

CONSUMO ENERGETICO DURANTE EL GRANALLADO

TIPO DE CORROSION	CONSUMO ENERGETICO (kw-hr)	
	SP 10	SP 5
A	1,61	2,69
B	2,69	3,76
C	3,76	5,38
D	4,30	5,38

3.2 ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE GRANALLADO CENTRIFUGO Y LIMPIEZA MEDIANTE CHORRO POR ARENA

El proceso de granallado centrífugo al igual que el método de limpieza mediante chorro por arena se utiliza con la misma finalidad, esto es, obtener una superficie libre de óxido, herrumbre, calamina y cualquier otra materia extraña. Desde este punto de vista, su comparación es necesaria y permite definir ventajas y desventajas que pueden influenciar al momento de elegir el método a utilizar.

Si bien es cierto que los datos obtenidos durante el proceso de optimización de la operación de granallado en la ESPOL son bastante próximos a los obtenidos mediante chorro por arena (datos de ASTINAVES), se debe a que el área de las probetas es pequeña, aproximadamente 250 cm².

De acuerdo a las pruebas realizadas el patrón del chorro del equipo de granallado de la ESPOL cubre un área aproximada de 600 cm², en tanto que en el proceso de limpieza mediante chorro por arena el área de ataque del chorro es cercana a 70 cm².⁽⁸⁾

Estableciendo una comparación en cuanto al consumo energético se puede captar de una forma más clara la diferencia existente: Un sistema de limpieza mediante

chorro por arena que utiliza aire comprimido a una presión de $5,62 \text{ kg/cm}^2$. absorbe 80 HP. y lanza $18,14 \text{ kg/min}$. Un sistema de granallado centrífugo con una turbina de diámetro 495.3 mm . lanza $181,43 \text{ kg/min}$.⁽¹⁾ consumiendo tan solo 20 HP.

Estableciendo una comparación en base a los resultados obtenidos en la realización de este trabajo, el equipo de granallado centrífugo de la ESPOL durante la preparación de 1 m^2 de superficie con una corrosión tipo A consume $2,69 \text{ kw-hr}$. llegando a un grado de preparación SP 5; esto representa un costo de S/.53,8; en tanto que el equipo de limpieza mediante chorro por arena consume $12,42 \text{ kw-hr}$.⁽⁸⁾ lo que representa un costo de S/.248. Cabe indicar que en esta comparación no se ha tomado en cuenta el área total del patrón del chorro, sino tan solo la correspondiente a 250 cm^2 .

Aunque existen diversos arreglos mecánicos o formas de colocar las turbinas dentro de la cámara de trabajo con la finalidad de poder limpiar piezas de forma compleja, el espacio disponible dentro de la máquina constituye sin lugar a dudas una de las limitaciones de éste método.

El hecho de que el equipo de granallado centrífugo sea un sistema estacionario representa también una dificultad.

Por otro lado, la posibilidad de reciclamiento de la granalla constituye un factor sumamente importante en la economía y eficiencia del proceso.

En lo que tiene relación con los diferentes grados de preparación superficial existentes, pueden obtenerse empleando cualquiera de los dos métodos, suministrando también en ambos casos un patrón de anclaje ideal para la aplicación de pinturas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber analizado los resultados finales obtenidos, se establece ahora las conclusiones y recomendaciones siguientes.

1. El presente trabajo cumple con los objetivos propuestos, la obtención de patrones superficiales y la optimización del proceso de granallado centrífugo de la ESPOL.
2. El equipo de granallado permite la obtención de los cuatro grados de preparación superficial, independiente del tipo de corrosión que presenta la pieza que esta siendo limpiada, suministrando al mismo tiempo una rugosidad ideal para la protección con pintura.
3. El proceso de optimización dio los resultados esperados, alcanzando una reducción considerable en el tiempo de trabajo, lo que significa menor consumo energético, disminución de horas hombre, prolongar la vida útil de la granalla y de las diversas piezas de la máquina, todo lo cual contribuye a disminuir el costo de operación. Los parámetros óptimos son:

Ubicación de la pieza a una distancia de 58 cm. medida desde el centro de la mesa de trabajo, un flujo másico correspondiente a 82,1 kg/min. y un ángulo de ataque comprendido entre 50 y 60°.

4. La eficiencia de la máquina granalladora es del orden del 75 %, sin embargo esta eficiencia puede mejorarse si se sigue las sugerencias propuestas más adelante.
5. De acuerdo al patrón de chorro obtenido se puede afirmar que este proceso permite obtener un acabado superficial específico en un tiempo ocho veces menor al tiempo empleado por el método de limpieza mediante chorro por arena.
6. El rompimiento de la granalla se encuentra dentro de los límites aceptables, su valor es aproximadamente 1.5 kg/hr.
7. En base al análisis energético realizado las granallas impulsadas por la turbina poseen energía suficiente para poder realizar diferentes operaciones de limpieza.

En base a las experiencias adquiridas durante la realización de este trabajo se pone a consideración las siguientes recomendaciones.

1. Disminuir el peso total de la turbina de tal forma que

nos permita introducir un mayor flujo de abrasivo sin que se produzca una sobrecarga del motor, de esta manera mejoraría la eficiencia de la turbina.

2. Hacer una inspección periódica de las partes que están sometidas a desgaste, además utilizar materiales resistentes al desgaste como hierro blanco al alto cromo, al cromo molibdeno, etc.
3. Efectuar las operaciones de granallado manejando un caudal máximo de 82,1 kg/min. con esto se disminuye el tiempo de trabajo y en consecuencia aumenta la vida útil de las piezas que forman la máquina y de la granalla misma.
4. Realizar cada 10 horas de trabajo un chequeo del tamaño de la granalla para efectuar la reposición necesaria.
5. Proporcionar un cierto grado de inclinación a las vigas que soportan la mesa de trabajo, a fin de que permita el paso de la totalidad de granalla desde la cámara de trabajo hacia la artesa, manteniendo de esta forma la continuidad del flujo.
6. En lo que se refiere a la preparación superficial de piezas corroidas se recomienda granallar hasta alcanzar un grado de preparación SP 10 que cumple con todos los requerimientos para aplicación de pinturas,

evitando de este modo el gasto energético que se requiere para alcanzar un grado de preparación SP 5.

A P E N D I C E

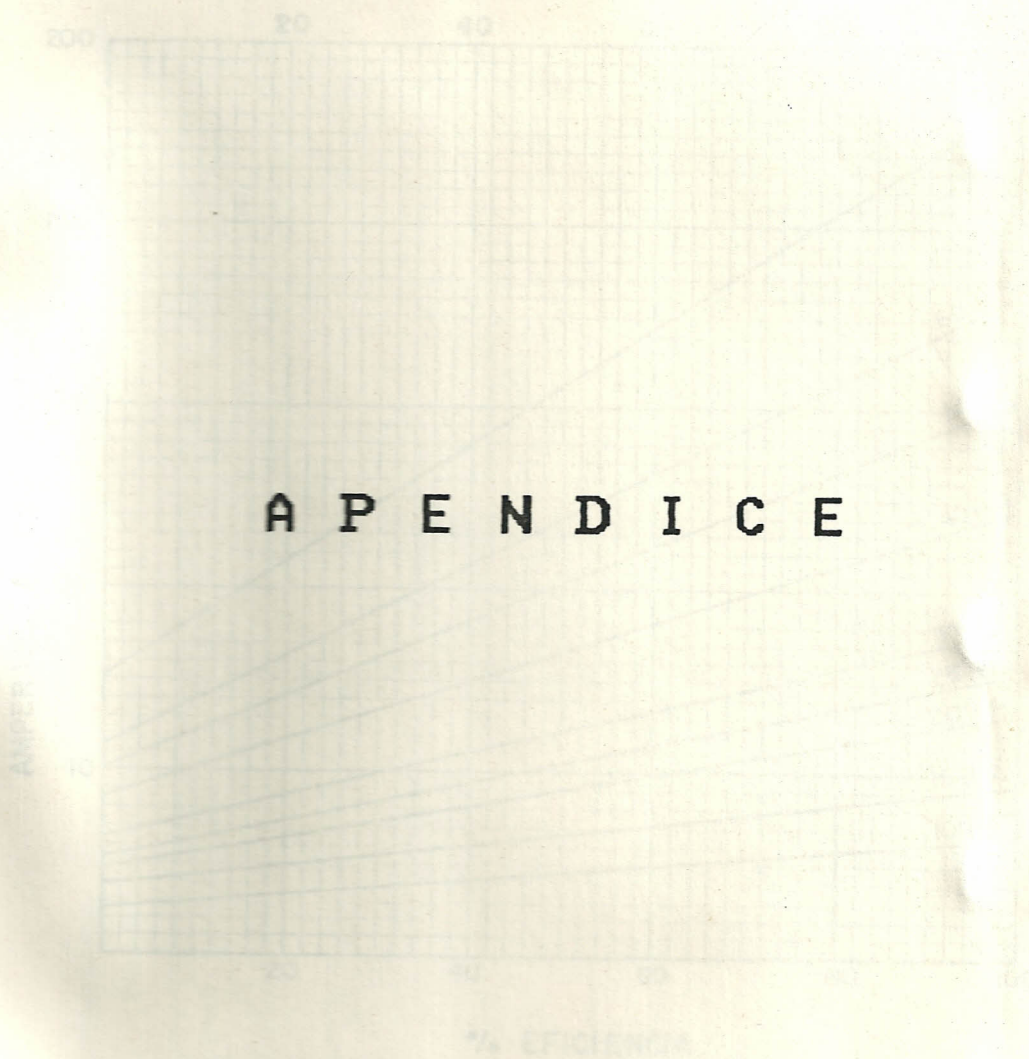


FIG. 1 EFICIENCIA DEL TUBO DE VACIO DE
US. AMPERAJE EN LOS TERMINOS
CONDICIONAS POR EL...

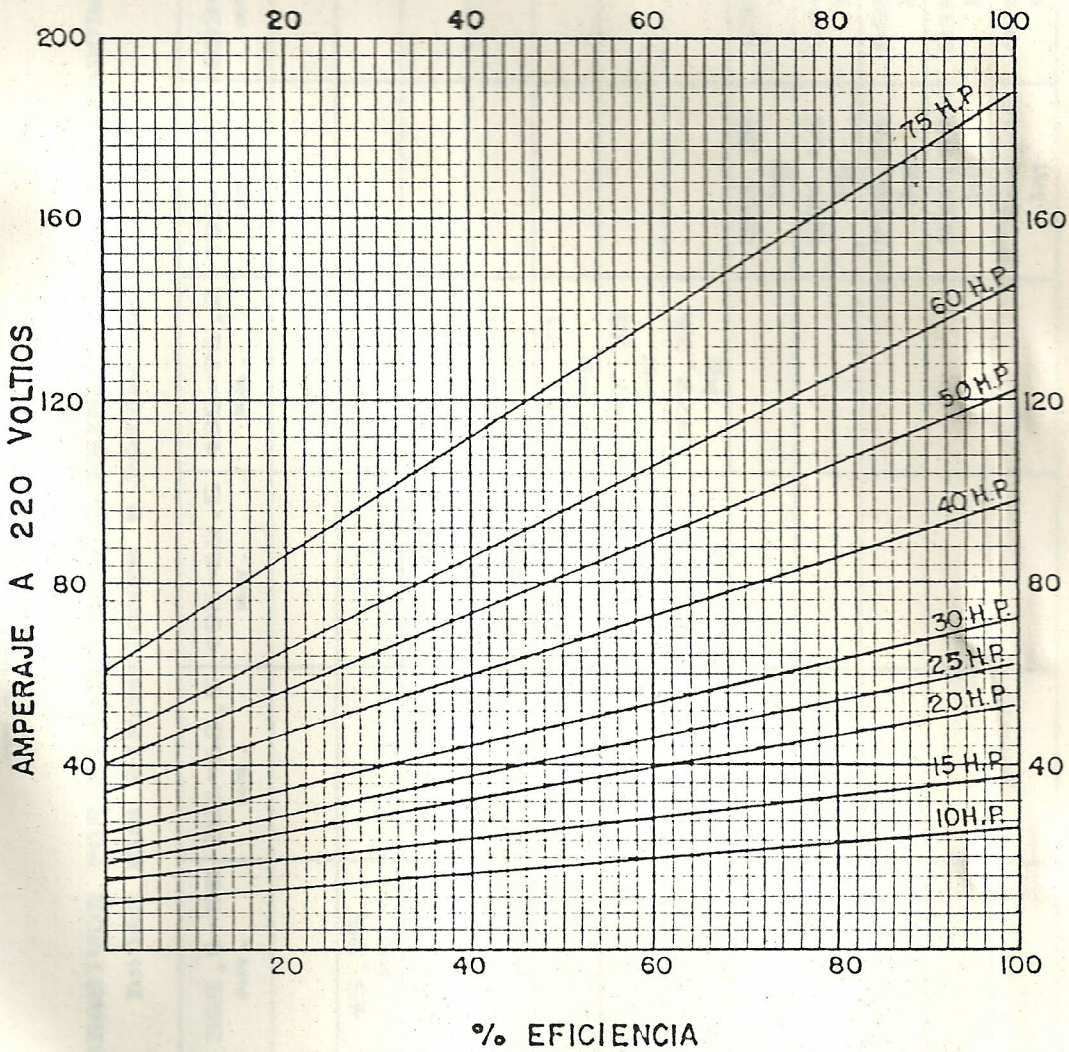


FIG. 1 EFICIENCIA DEL FLUJO DE ABRASIVO VS. AMPERAJE PARA TURBINAS CONDUCCIDAS POR BANDAS.

TABLA I

FLUJO DE ABRASIVOS POR MINUTO PARA TURBINAS TIPO DESLIZADORA
DADAS SUS DIMENSIONES Y POTENCIA ⁽¹⁾

HP	254*25,4 mm.	355,6*50 mm.	381*63,5 mm.	495*63,5 mm.	495*76,2 mm.	495*127 mm.	533*127 mm.
2	19,85 kg						
5	56,69 kg	45,35 kg					
10		113,39 kg	158,75 kg	98,78 kg			
15		166,46 kg	158,75 kg	158,75 kg	131,52 kg		
20				215,41 kg	241,71 kg		
25				272,10 kg	347,35 kg		
30				362,80 kg	377,76 kg		
40						453,35 kg	430,85 kg
50						589,55 kg	544,05 kg
60						718,76 kg	688,02 kg
75						947,34 kg	816,07 kg
100						1.244,46 kg	816,07 kg

TABLA I I

INTENSIDAD DE IMPACTO UTILIZADO EN OPERACIONES DE LIMPIEZA (7)

APLICACION	INTENSIDAD DE IMPACTO N-m.
PIEZAS FORJADAS	0,020 - 0,012
PIEZAS FUNDIDAS	0,014 - 0,009
PIEZAS FUNDIDAS O FORJADAS, ACABADO FINO DE SECCIONES LEVES	0,009 - 0,004
LIMPIEZA DESPUES DE TRATAMIENTO TERMICO	0,007 - 0,002
LIMPIEZA DE INCRUSTACIONES LIGERAS OXIDO, ACABADO EXTRA FINO	0,003 - 0,001

BIBLIOGRAFIA

1. PLASTER H.J. Blast Cleaning & Allied Process; Industrial Newspaper Limited; Londres; 1972; Vol I, Vol II.
2. WHEELABRATOR. Equipment and services for more profitable materials cleaning; Wheelabrator frye Inc; Indiana, USA; 1977; boletin # 10.
3. WHEELABRATOR. Manual of blast cleaning abrasives technology; wheelabrator frye Inc; Indiana, USA; 1977; boletin # 12.
4. NACE (National Association of Corrosion Engineers); Grades of surface Preparation; Houston, Texas; 1975.
5. NACE (National Association of Corrosion Engineers); Visual Standard for surfaces of new steel centrifugally blast cleaned with steel grit and shot; Houston, Texas; 1975.
6. SSPC (Steel Structures Painting Council); Surface Preparation Specifications; Pittsburgh, USA; segunda edición; 1971

7. N. DE SEGOVIA. Diseño y Construcción de una Turbina Centrífuga impulsadora de Abrasivos para Máquina Granalladora del Laboratorio de Fundición; Tesis de Grado, ESPOL, 1988.
8. J. MURILLO. Obtención de patrones superficiales por chorro de arena; Proyecto de Grado, ESPOL, 1990.
9. AISC (American Institute of steel Construction, Inc); Manual of steel construction; quinta edición.
10. GUY E. WEISHANTEL. Paint Handbook; Mc Graw Hill Book Compay; New York; 1981.
11. GARDNER/SWARD. Paint testing manual; ASTM; Philadelphia; trigésima edición; 1972.
12. HEMPEL, DENMARK; Manual de pinturas marinas; 1980