

T  
621.75  
MUR  
C.2



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica**



**“OBTENCION DE PATRONES SUPERFICIALES POR CHORO DE ARENA”  
(PROYECTO MICAT)**

**PROYECTO DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de:  
INGENIERO MECANICO**

**Presentado por:**



\*D-20204\*

**Cesar Javier Murillo Cabrera**



**Guayaquil**

**Año**

**Ecuador**

**1990**

DEDICATORIA



A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS.

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Jorge J. Peña,  
Director de este Tópico de  
Graduación , por su gran  
ayuda desinteresada.

Al Ing. Ignacio Wiesner y  
al Ing. Jaime Barrera  
profesores del área de  
metalurgia.

A mis compañeros del  
Proyecto de Grado, y a  
Astilleros Navales  
Ecuatorianos quienes han  
colaborado para  
elaboración de este  
trabajo.

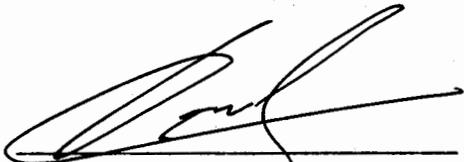
DECLARACION EXPRESA

"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 Tópico de Graduación )

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom, positioned above a horizontal line.

CESAR JAVIER MURILLO CABRERA



---

Ing. Nelson Cevallos B.  
Decano FIM



---

Ing. Julián Peña E.  
Director del Tópico



---

Ing. Ignacio Wiesner  
Miembro del Tribunal

---

Ing. Jaime Barrera  
Miembro del Tribunal

## RESUMEN

Debido a que en los actuales momentos nuestro país no cuenta con un control idóneo de procedimientos de preparación superficial, este trabajo es una guía para la obtención de acabados superficiales deseados, mediante la optimización de variables.

El tipo de arena, el tiempo de ataque, la distancia de la boquilla a la superficie y el ángulo de impacto serán las variables con las que se trabaje, mientras que parámetros tales como diámetros de la entrada y salida, garganta y de la manguera y longitud de la boquilla son considerados como constantes ya que cumplen con las características óptimas para alcanzar una preparación superficial excelente.

En el capítulo 1 se habla todo lo concerniente a las arenas, ya sea la selección, tipo, grado de humedad, ubicación, etc. y el desarrollo teórico de las normas para la preparación de superficies mediante chorreado por arena como son chorreado ligero (ráfaga), comercial, metal casi blanco y a metal blanco.

En el siguiente capítulo se realiza la prueba experimental la cual consiste en la obtención de acabados superficiales sobre probetas mediante chorro por arena y su respectiva comparación con patrones normalizados visuales. Así mismo, se mide el perfil de anclaje de todas las probetas midiendo la rugosidad mediante un instrumento conocido con el nombre de Rugosímetro.

Finalmente se realiza un análisis energético del equipo utilizado, tales como rendimiento de limpieza, consumo de abrasivo, etc. y se obtiene un costo global de una máquina de arenado industrial.

## INDICE GENERAL

PAG.

RESUMEN .....	
INDICE GENERAL .....	
INDICE DE FIGURAS .....	
INDICE DE TABLAS .....	
NOMENCLATURA .....	
INTRODUCCION .....	
CAPITULO I .....	
ARGUMENTOS BASICOS DEL PROCESO .....	
1.1 Características de arenas utilizadas en el medio .....	
1.2 Parámetros de operación y componentes del equipo .....	
1.3 Selección de la arena de acuerdo al grado de humedad .....	
1.4 Ubicación y traslado de la arena .....	
1.5 Obtención del material para construcción de probetas .....	
1.6 Normas para la preparación de superficies .....	
CAPITULO II .....	
PRUEBA EXPERIMENTAL .....	
2.1 Variación de los parámetros escogidos .....	
2.2 Comparación con patrones normalizados visua-	

les y de tacto .....	
2.3 Obtención de los acabados superficiales .....	
2.4 Medición del perfil de anclaje .....	
2.5 Pintado de probetas metálicas y prueba de a- dherencia .....	
CAPITULO III .....	
EVALUACION DE RESULTADOS .....	
3.1 Eficiencia del proceso en el sitio .....	
3.2 Costo de operación .....	
3.3 Control con patrones normalizados .....	
3.4 Evaluación del parámetro más importante para obtención del patrón .....	
3.5 Comparación de calidad, facilidad y costos entre el chorreado por arena y el granallado.	
CONCLUSIONES .....	
RECOMENDACIONES .....	
BIBLIOGRAFIA .....	

## INDICE DE FIGURAS

Nº	Pág.
1.	Boquilla del equipo de arenado .....
2.	Compresor de 75 HP .....
3.	Acabados superficiales de probetas A1, A2 y A3 ..
4.	Acabados superficiales de probetas A4, A5 y A6 ..
5.	Acabados superficiales de probetas A7, A8 y A9 ..
6.	Acabados superficiales de probetas M1, M2 y M3 ..
7.	Acabados superficiales de probetas M4, M5 y M6 ..
8.	Acabados superficiales de probetas M7, M8 y M9 ..
9.	Acabados superficiales de probetas H0, H1 y H2 ..
10.	Acabados superficiales de probetas H3, H4 y H5 ..
11.	Acabados superficiales de probetas H6, H7 y H8 ..
12.	Pérdida de masa con respecto a las distancias usando arena de río más cuarzo grueso .....
13.	Pérdida de masa con respecto a las distancias usando arena de cuarzo grueso .....
14.	Pérdida de masa con respecto a las distancias usando arena de cuarzo fino .....
15.	Superposición de los tres tipos de arena de la influencia de la distancia sobre la pérdida de masa .....
16.	Influencia del volumen en la rapidez de limpieza con arena de río más cuarzo grueso sobre una

Nº	Pág.
	plancha vieja .....
17.	Influencia del volumen en la rapidez de limpieza con arena de río más cuarzo grueso sobre una plancha nueva .....
18.	Efecto del ángulo de ataque en la rapidez de pérdida de masa para los tres tipos de arena .....
19.	Patrón normalizado BSa1 .....
20.	Patrón normalizado BSa2 .....
21.	Patrón normalizado BSa2 1/2 .....
22.	Patrón normalizado BSa3 .....

## INDICE DE TABLAS

Nº	Pág.
I.	Tipos, tamaños y perfil resultante del abrasivo utilizado .....
II.	Influencia de la presión de la boquilla sobre porcentaje de limpieza .....
III.	Variación de parámetros, pérdida de masa, acabado superficial y rugosidad de arena de río más cuarzo grueso .....
IV.	Variación de parámetros, pérdida de masa, acabado superficial y rugosidad de arena de cuarzo grueso .....
V.	Variación de parámetros, pérdida de masa, acabado superficial y rugosidad de arena de cuarzo fino .....
VI.	Limpieza de plancha vieja con respecto al volumen y al tiempo .....
VII.	Limpieza de plancha nueva con respecto al volumen y al tiempo .....

## NOMENCLATURA

Ag	=	Area de la garganta
Asal	=	Area de salida
ASTM	=	Sociedad Americana para Ensayos de Materiales
ATM	=	Atmósfera
cm	=	Centímetro
cm <sup>2</sup>	=	Centímetro cuadrado
cm <sup>3</sup>	=	Centímetro cúbico
dm <sup>3</sup>	=	Decímetro cúbico
D	=	Diámetro
Dgar	=	Diámetro garganta-boquilla
Dsal	=	Diámetro de salida
Dg	=	Diámetro de la garganta
d	=	Densidad
fig	=	Figura
°	=	Grados
°C	=	Grados Centígrados
°K	=	Grados Kelvin
gr	=	Gramos
HP	=	Caballos de fuerza
Kvat	=	Kilovatios
Kg	=	Kilogramos
L	=	Longitud

lbs	=	Libras
m	=	Masa
M	=	Flujo másico
mils	=	Milésimas de pulgada
min	=	Minuto
mt	=	Metro
mm	=	Milímetro
mm <sup>2</sup>	=	Milímetro cuadrado
Pág	=	Página
Pg	=	Presión en la garganta
Po	=	Presión de estancamiento
Psal	=	Presión en la salida
psi	=	Libras por pulgada cuadrada
pulg	=	Pulgada
Q	=	Consumo
seg	=	Segundo
SSPC	=	Steel Structures Painting Council
Sa	=	Limpieza por arenado
t	=	Tiempo
Tg	=	Temperatura en la garganta
To	=	Temperatura de estancamiento
Tsal	=	Temperatura de salida
um	=	Micrones
v	=	Volumen
Vg	=	Velocidad en la garganta
Vsal	=	Velocidad de salida

vat = Varios

vs = Versus

## INTRODUCCION

Es opinión generalizada que una adecuada preparación superficial contribuye más que ningún otro factor al éxito de los sistemas protectores de pintura.

Esto es particularmente cierto, tratándose de esquemas de pintura de alta calidad y resistencia química cuyo requisito imprescindible es la aplicación sobre sustratos limpios y adecuadamente preparados. De ahí la idea común de que mejor comportamiento, ofrece un recubrimiento de pintura de baja resistencia que uno de alta calidad, si se aplican a superficies deficientemente preparadas.

Así pues , la naturaleza de la interfase metal-pintura determina en gran medida el comportamiento del metal pintado y el rendimiento del recubrimiento protector. Será peligroso, por tanto, hacer ahorros a costa de la preparación superficial, lo que constituye una tentación, teniendo en cuenta que el estado de la superficie metálica queda oculto debajo del recubrimiento de pintura. La importancia de la preparación superficial es todavía mayor si se piensa que la mitad o quizás las dos terceras partes

del costo de un sistema tradicional de pintura se invierte en dicho tratamiento.

En realidad, la preparación superficial tiene la doble finalidad de limpiar la superficie de materias extrañas y de darle cierta rugosidad. La pintura se debe adherir perfectamente al substrato metálico, lo que no es posible si está impurificado con polvo, grasa y sobre todo, por óxido de distinta naturaleza como cascarilla, herrumbre. La rugosidad aumenta el área real de contacto pintura-metal y por tanto la adherencia específica.

El estudio y la realización de este trabajo se lo hizo en Astilleros Navales Ecuatorianos, debido a que aquí se practica este mecanismo para la limpieza de los cascos de los buques y su posterior pintado durante todo el año y con mucha frecuencia. Además porque por simple inspección el grano de arena utilizado no era el adecuado, con lo cual se podía optimizar este proceso mediante la comparación de resultados a obtener con los que se obtienen normalmente a diario.

## CAPITULO I

### ARGUMENTOS BASICOS DEL PROCESO

#### 1.1 CARACTERISTICAS DE ARENAS UTILIZADAS EN EL MEDIO.

Existen dos tipos de arenas que Astilleros Navales Ecuatorianos utiliza para su propósito: la arena de cuarzo natural y la arena de río. La primera se encuentra como arena de roca y es de tipo angular mientras que la segunda es de tipo redondeada.

La arena de río, se rompe en partículas angulares al ser usada por primera vez y es más eficaz cuando se utiliza nuevamente aunque esto ocurre en muy pocas ocasiones, ya que debido a la velocidad que sale de la boquilla y al impactar con la superficie a limpiar, esta se desintegran entre el 10 % y el 40 % de tal forma que su producto final es polvo. Por consiguiente generalmente no existe el reciclamiento de la arena.

Solo se puede reciclar, la arena si la razón de desmenuzamiento es menor al 10 % para lo cual deben tomarse muestras a intervalos para cerciorarse del

grado de deterioro de la arena.

La forma de las partículas también cumplen diferentes funciones, así se tiene que las partículas abrasivas esféricas limpian por impacto, mientras que las partículas angulares puntiagudas limpian por acción cortante. Suele darse el caso de una combinación de ambas las cuales son llamadas partículas subangulares que limpian por una combinación de impacto y corte. Esta forma de partícula se da cuando se ejecuta la limpieza mediante una mezcla de los dos tipos de arenas.

Por otro lado, cuando se trabaja con un riguroso control de todos los factores, se consigue una limpieza marcadamente más rápida del acero cuanto más finas son las partículas del material abrasivo utilizado. Las partículas redondeadas tienen una eficacia menor que las angulares.

Las investigaciones más recientes parecen indicar que en general los mejores resultados se obtienen mediante una mezcla de partículas redondas que son las de río con las angulares como es el cuarzo, que contengan un 10 % de partículas con un diámetro de 2 mm y una proporción algo mayor de partículas finas ( por debajo

de 0.2 mm ), en un material base de un diámetro de partícula de unos 0.5 mm. Cuando se utiliza esta mezcla, las partículas más grandes sirven para romper y despegar la calamina, mientras que las pequeñas penetran en las rugosidades de las superficies limpiando la herrumbre.

El diámetro de las partículas de las arenas se las mide mediante mallas con sus respectivos números los cuales a su vez representan la cantidad de orificios que hay por cada pulgada. Por ejemplo, si se tiene una malla # 16, esto quiere decir que existen 16 orificios por cada pulgada de malla . Es decir, en 25.4 mm. existen 16 orificios por los que pasará la arena, lo cual equivale a decir que la arena tendrá un diámetro no mayor a 1.58 mm.

En términos generales, la arena más óptima es aquella que contiene el 90 % de sílice aproximadamente y esto es debido a su dureza. Pero por otro lado no se debe olvidar que el sílice es un material altamente nocivo para la salud humana por lo que se recomienda para evitar este tipo de daño, el usar un casco de seguridad para suministro de aire con purificador.

El tamaño de las partículas de arenas determinan también el diseño de anclaje ( Tabla I ), o sea, la

diferencia entre los puntos más altos y más bajos de la superficie que ha recibido el impacto de la arena. Este diseño o patrón de anclaje es muy importante especialmente para recubrimientos de secado rápido.

Si los cráteres son demasiado profundos, pueden formarse puentes y entonces el material en las crestas o picos, será demasiado delgada de espesor de película. Si en cambio son muy poco profundo no originarán un diseño satisfactorio para la adherencia del recubrimiento.

La profundidad del diseño deberá ser aproximadamente una tercera parte del espesor de la película. Los recubrimientos vinílicos y los de hule clorado, requiere generalmente de un espesor de película seca de 5 a 6 milésimas de pulgada (de 125 a 150 micras), de suerte que la profundidad total del anclaje no excederá de 2 milésimas de pulgada (50 micras).

Para la mayor parte de los recubrimientos modernos industriales, el tamaño de malla comprendido entre 16 y 30 dán excelentes resultados tanto para la rapidez de la limpieza como para el correcto anclaje.

TABLA I

TIPOS, TAMAÑOS Y PERFIL RESULTANTE DEL ABRASIVO  
UTILIZADO

ABRASIVO	TAMAÑO MAXIMO DE PARTICULA MEDIDA EN MALLAS	PROMEDIO DE LA ALTURA DE PERFIL EN MILS
ARENA MUY FINA	80	1.5
ARENA FINA	40	1.9
ARENA MEDIA	18	2.5
ARENA GRANDE	12	2.8
GRANALLA DE ACERO # G - 80	40	1.3-3.0
GRANALLA DE ACERO # G - 50	25	3.3
GRANALLA DE ACERO # G - 40	18	3.6
GRANALLA DE ACERO # G - 25	16	4.0
GRANALLA DE ACERO # G - 16	12	8.0
MUNICION DE ACERO # S - 170	20	1.8-2.8
MUNICION DE ACERO # S - 230	18	3.0
MUNICION DE ACERO # S - 330	16	3.3
MUNICION DE ACERO # S - 390	14	3.6

## 1.2 PARAMETROS DE OPERACION Y COMPONENTES DEL EQUIPO.

Para una excelente preparación superficial, existen parámetros que pueden ser controlados en un cierto rango de trabajo para poder llegar a buenos resultados.

Dichos parámetros en algunos casos, son constantes unos y variables otros. Los parámetros constantes son: diámetro de la garganta de la boquilla, diámetro de la manguera, diámetros de entrada y salida de la boquilla y la longitud de la boquilla.

Estos parámetros se toman como constantes debido a que cumplen en un 98 % de precisión de los valores aconsejados de optimización lo cual se puede notar en el siguiente capítulo en que se hace referencia sobre éste particular.

Los parámetros variables son: el tiempo de ataque, la distancia de boquilla a la superficie y el ángulo de impacto.

Los componentes del equipo de trabajo en el sitio son:

- Boquilla
- Compresor

- Manguera
- Probeta
- Abrasivo

BOQUILLA:

Es uno de los principales elementos dentro de la operación de arenado e influye directamente en el logro de la optimización de resultados.

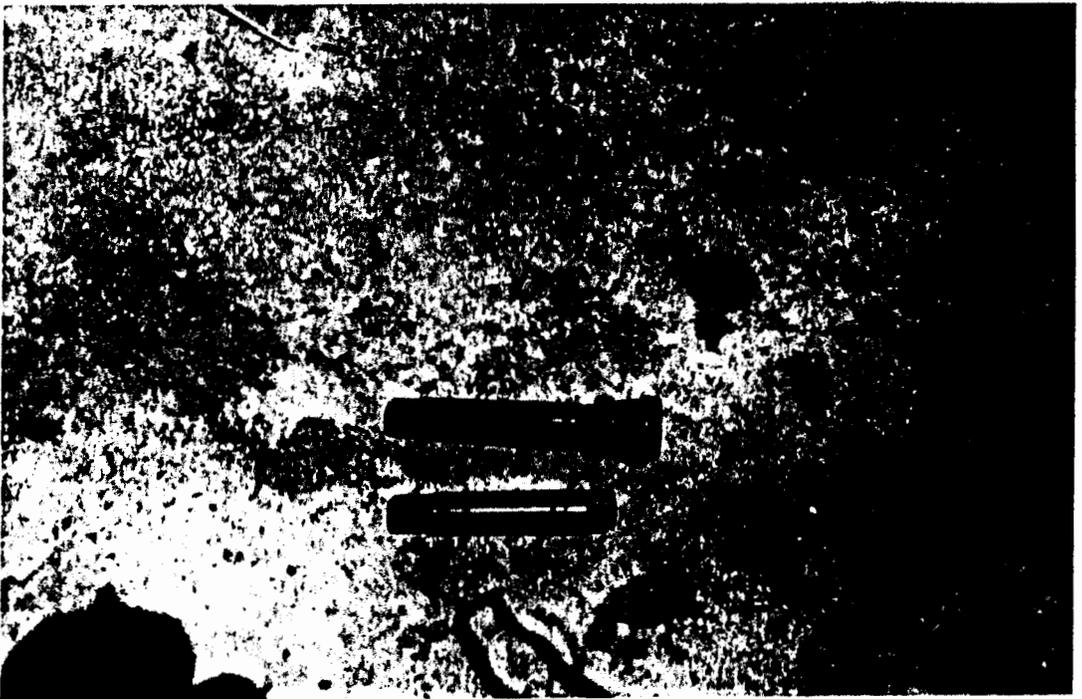


Fig. Nº 1.- Boquilla del equipo de arenado.

El tipo de boquilla utilizada en el proceso es de la forma convergente - divergente y está construida de material cerámico, lo que nos asegura una larga vida

útil (aproximadamente 600 horas).

Hay otros tipos de boquillas tales como: boquillas de campana de boca convergente, de boca divergente, campana con boca convergente - divergente. La que se utilizó para efectos de nuestro análisis nos arroja una eficiencia mayor que las otras.

Se ha hecho referencia a la gran importancia de una presión elevada en la boquilla de cara a la producción. Muchos astilleros informan que están arenando con elevada presión porque el manómetro del compresor y o el de la máquina de arenado indican una presión elevada.

Sin embargo, los manómetros indican la presión existente en el punto en que están instalados, pero no la que actúan sobre la boquilla que es lugar preciso de trabajo, y si no se sabe exactamente el valor de la presión, entonces no se sabrá si la operación es eficaz o no.

Para determinar la presión exactamente en la boquilla se utiliza un manómetro hipodérmico insertado en la manguera de arenado cuando se está trabajando. Estos manómetros se pueden adquirir en la mayoría de los

comercios dedicados a la venta de máquinas de arenado y de compresores, y consiste simplemente en un pequeño indicador de presión con una aguja hipodérmica conectada al mismo. No hay más que clavar cuidadosamente la aguja en la manguera de arenar con lo que se obtendrá una lectura instantánea de la presión de la mezcla de aire y abrasivo.

Si se obtiene una lectura demasiado baja de la presión en la boquilla, hay que comprobar inmediatamente lo siguiente:

- Si el compresor está trabajando bien o no
- Tamaño de las condiciones de aire
- Tamaño de las conducciones en la máquina de arenado
- Tamaño de las mangueras de arenado
- Si las mangueras de arenado tienen conexiones internas y externas.
- Tamaño de las boquillas y su correspondencia con la salida del compresor ( caudal y presión ).

La importancia de la presión de la boquilla se puede ver rápidamente consultando los datos que se dan en la tabla II y que comparan la producción con equipos

exactamente iguales, en los que se ha cambiado únicamente la presión en la boquilla

TABLA II

PORCENTAJE DE AREA LIMPIA VARIANDO PRESION EN LA  
BOQUILLA

BOQUILLA	% AREA
BOQUILLA CHORREANDO A 7 ATM DE PRESION	100 % del área
BOQUILLA CHORREANDO A 5.6 ATM DE PRESION	66 % del área
BOQUILLA CHORREANDO A 4.2 ATM DE PRESION	50 % del área

Resumiendo, el trabajo realizado está en proporción directa al caudal y a la presión de aire que pasa a través de la boquilla.

MANGUERA:

La manguera utilizada en el sitio está hecha de cuatro capas de caucho que es lo que se recomienda para una larga vida de las mangueras.

Su diámetro guarda proporcionalidad con el diámetro de la garganta de la boquilla en una relación de 2.5 veces dicho diámetro.

La manguera de soplado de arena debe de ser de longitud correcta y antiestática que es la más aconsejable y además con conexiones de rápido ajuste.

#### COMPRESOR:

El compresor es otro de los elementos que encierra una gran importancia para la obtención de los diferentes acabados superficiales.

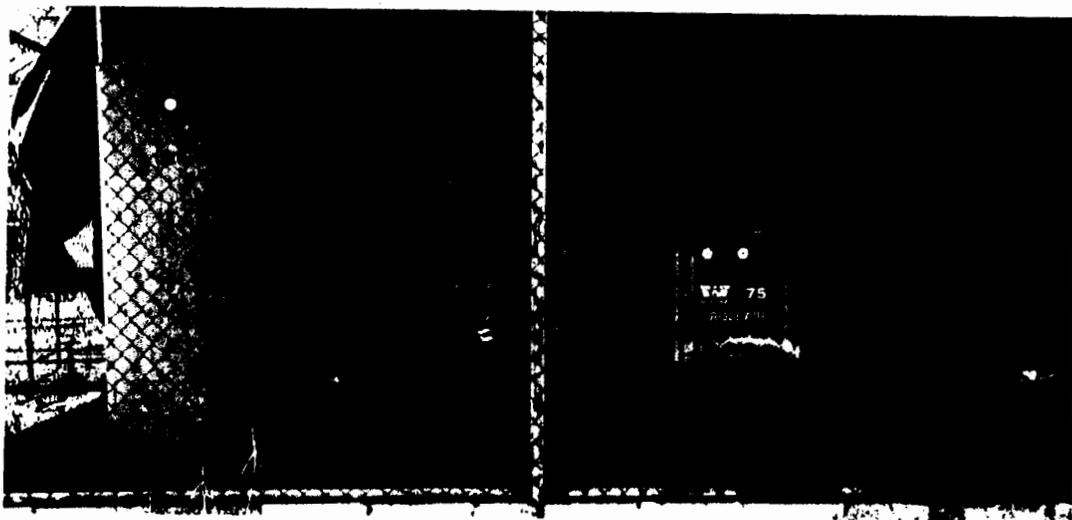


Fig. Nº 2.- Compresor de 75 HP.

El compresor trabaja con un motor de 75 HP, lo que representa que el caudal de aire que nos genera esta potencia es óptima para cumplir dicho propósito ya que se obtienen aproximadamente 9 metros cúbicos por

minuto de aire y además con una presión en el rango de 90 a 110 psi.

El suministro de aire comprimido se lo puede considerar como el punto más crítico del arenado abrasivo ya que tanto la rapidez y la calidad de trabajo están relacionados directamente con el volumen y la presión de aire que llega a la boquilla.

La limpieza de planchas de acero se deben realizar a una presión comprendida entre 6 y 7 atmósferas. Cuanto mayor sea el compresor, mayor será la boquilla a usar y por lo tanto mayor será la rapidez de operación siempre que se trabaje con una adecuada presión.

El aire comprimido se puede proporcionar mediante compresores eléctricos fijos o compresores a diesel portátiles. Los primeros se usan generalmente en instalaciones también fijas como en el interior de los astilleros. Estos compresores pueden mantener la presión requerida siempre que el tamaño de la boquilla sea el que corresponde al caudal de aire producido.

El arenado abrasivo requiere el suministro constante de un elevado volumen de aire a una elevada presión de

golpe y durante horas. Asegurar este suministro de aire es haber dado un primer paso hacia la obtención de un arenado económicamente rentable.

Es conveniente disponer de conducciones de aire de gran diámetro desde el compresor hasta la máquina de arenado y mantener el compresor lo más próximo posible a la máquina y usar uniones de tipo universal en todas las líneas de aire.

Se recomienda usar conducciones de 1 1/4 de pulgada en lugar de las de 3/4 de pulgada que se usan frecuentemente con el propósito de eliminar la pérdida de carga por fricción a través del sistema. Una caída de presión de 0.7 atmósferas causa una reducción del 1.5 % de la producción.

#### PROBETAS:

La probeta es el elemento en el cual se hacen las pruebas y se realiza su comparación con patrones normalizados visuales y su respectiva rugosidad.

El material de estas probetas son de acero naval ASTM A 131 de bajo contenido de carbono y cada probeta tiene un área aproximada de 250 centímetros cuadrados, con herrumbre tipo B.

**ABRASIVO:**

El abrasivo usado es arena de río y arena de cuarzo en la siguiente forma:

- mezcla de arena de río en un 70 % con un agregado de arena de cuarzo en un 30 % (malla # 4)
- arena de cuarzo grueso con partículas de diámetro no mayor de 7 mm (malla # 4)
- arena de cuarzo fino con partículas en el rango de 0.8 mm a 1.5 mm (mallas # 16 - # 30).

A la hora de seleccionar los abrasivos hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La clase de superficie a preparar
- El equipo a utilizar (automático o portátil)
- El tipo de pintura a aplicar y la rugosidad que hay que suministrar a la superficie para asegurar una buena adherencia.

Existe una clasificación de los abrasivos de acuerdo a sus características tanto físicas como mecánicas, así se tiene que :

Dureza.- Cuanto más duro sea un abrasivo, más rápido

será la limpieza y más profunda será la huella producida por el abrasivo utilizado.

Tamaño.- Si la partícula abrasiva es más grande, será entonces mayor el impacto sobre la superficie. La uniformidad en el tamaño del abrasivo es muy importante en el momento de conseguir la rugosidad adecuada.

Forma.- Si las partículas tienen forma esférica, entonces limpiarán por impacto; si las partículas son angulares por acción cortante sobre la superficie; y si es por una combinación de ambas, es decir, partículas subangulares, limpiarán por combinación de impacto y corte.

### 1.3 SELECCION DE LA ARENA DE ACUERDO AL GRADO DE HUMEDAD

Tomando como referencia de un análisis realizado en Astilleros Navales Ecuatorianos del grado de humedad utilizado para éste propósito, se concluye que con una muestra de  $1 \text{ dm}^3$  al 10 % de humedad en peso, se obtiene que el peso específico de la arena húmeda es de  $1.8 \text{ kg/dm}^3$ , y de igual manera el peso específico de la arena seca es de  $1.6 \text{ kg/dm}^3$ .

El porcentaje de humedad natural fué obtenida con el

uso de un Comprobador Inmediato de Humedad y el método de pesaje, dió como resultado un 10 % aproximadamente.

#### 1.4 UBICACION Y TRASLADO DE LA ARENA

La arena utilizada en Astilleros Navales Ecuatorianos es conseguida en Babahoyo y Ventanas pertenecientes a la Provincia de los Ríos, ya que presenta buenas características para realizar un buen arenado. Se tamiza la arena en malla # 4 para sacar objetos extraños que podrían obstaculizar el paso de la arena por la boquilla, para posteriormente secarla mediante un secador de arena existente.

Por último, se realiza la mezcla con arena de cuarzo en un 30 % de la mezcla total y se la traslada hasta la cercanía de las máquina de arenado para dejarla lista antes de iniciar la operación.

Cabe anotar que para evitar pérdidas de tiempo, ya se tiene la arena seca guardada en una bodega para ser utilizada en el momento mismo del arenado.

## 1.5 OBTENCION DEL MATERIAL PARA CONSTRUCCION DE PROBETAS

El material de las probetas es de acero naval y es obtenido directamente de restos de planchas que sobran en el patio de transferencia (lugar donde se realiza el armado de los cascos de los buques), y que por lo tanto al haber estado expuestos al ambiente por largo tiempo se deterioran, obteniendo diferentes tipos de herrumbre y que para nuestro propósito es lo ideal en la obtención final de mejores resultados en el análisis concernientes a preparación de superficies.

## 1.6 NORMAS PARA LA PREPARACION DE SUPERFICIES

Uno de los pasos importantes para obtener un buen trabajo de pintado, es el de efectuar una correcta preparación de superficies, ya que la pintura no se puede adherir a la superficie ( casco del buque ), si es que existe polvo herrumbre, calamina, grasa, aceite, etc, que proporcionan una base débil y por lo tanto una adherencia defectuosa.

Además, hay veces que tanto el polvo como la herrumbre provocan fallas de la película de pintura, por absorcion de agua a través de la misma, dando lugar a ampollamiento y corrosión del metal por debajo del recubrimiento. Por lo tanto, una adecuada preparación

de superficies es vital para obtener buenos resultados.

El acero es el material más utilizado en la industria constituyendo la superficie más frecuentemente tratada en las operaciones de mantenimiento, y por lo tanto tratamos de eliminar en forma total a la calamina y la herrumbre.

La calamina es un producto propio de la laminación en caliente a que están expuestas las planchas de acero en el momento de su fabricación y se presentan en forma de una cascarilla azul fuertemente adherida a la superficie, pero esta adherencia se va perdiendo con el paso del tiempo debido a la diferencia de los coeficientes de dilatación.

Si se aplica pintura sobre la calamina, se desprenderá junto con ella. Dado que la calamina se encuentra por debajo del acero en la serie galvánica, acelera su corrosión por lo que se debe eliminar completamente.

Grados de Herrumbre.-

La herrumbre es muy familiar para todo aquel que haya visto alguna vez una pieza de acero sin proteger y

expuesta a la interperie. Su color puede variar desde un rojo brillante a un marrón oscuro y puede ser pulverulenta y mal adherida, o dura o quebradiza. En cualquiera de estos casos la herrumbre proporciona una base débil para el pintado contribuye al fallo de la pintura aplicado encima y provoca corrosiones adicionales. En consecuencia, la herrumbre se debe eliminar completamente. Existen cuatro grados de herrumbre :

- A.- Capa de laminación intacta sobre toda la superficie del acero y prácticamente sin corrosión.
- B.- Principio de corrosión sobre la superficie y se comienza a despegar la calamina (capa de laminación).
- C.- Ya ha sido eliminada completamente la capa de laminación por la corrosión o podrá ser eliminada por raspado, pero no se ha formado en gran escala cavidades visibles.
- D.- Eliminación completa de la capa de laminación y gran cantidad de cavidades visibles.

Grados de Preparación superficial.-

Como norma se han fijado grados de preparación para el

tratamiento de superficies de acero antes de aplicar las pinturas anticorrosivas. Cuando se realiza una preparación de superficies mediante el método de arenado, se pueden lograr cuatro tipos de preparación superficial descritos de la siguiente manera:

El Sa1 ( SSPC - SP7 ) ó chorreado ligero, en el cual se quita la capa suelta de laminación, el óxido y las partículas extrañas sueltas.

El Sa2 ( SSPC - SP6 ) ó arenado minucioso o comercial. Se quita toda la capa de laminación y de óxido y casi todas las partículas extrañas. Posterior a esto, la superficie se podrá limpiar con un aspirador de polvos, aire comprimido limpio y seco.

El Sa2 1/2 ( SSPC - SP10 ) ó a metal casi blanco. Todas las superficies extranas así como las capas de laminación y óxidos se quitan de una manera tan perfecta que los restos solo aparecen como ligeras manchas o rayas. Por último, la superficie se limpiará con un aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o simplemente cepillo limpio.

El Sa3 ( SSPC - SP5 ) ó chorreado a metal blanco, consiste en que toda la capa de laminación, óxido y partículas extrañas se quitan por completo. La

superficie se limpiará con un aspirador de polvo, aire comprimido y seco o cepillo limpio. Su característica en la presentación es que la superficie adquiere un color metálico uniforme.

La limpieza de arenado a metal blanco es un mito de preparación de superficies de metal para pinturas o recubrimientos para la remoción de toda la calamina, óxidos y materias extrañas, mediante el uso de abrasivos propulsados a través de boquillas o por ruedas centrífugas.

El arenado a metal blanco se lo define como una superficie con un color blanco gris metálico uniforme, ligeramente áspera tal que forme una conveniente capa para recubrimientos. La superficie, cuando es observada sin magnificación, estará libre de todo aceite, grasa, suciedad, calamina, óxidos, productos corrosivos, etc.

La limpieza de arenado o metal blanco podrá consistir de las siguientes secuencias de operaciones:

- Depósitos pesados de aceite o grasa podrán ser removida por los métodos bosquejados por la "limpieza por ácidos" o SP1. Si se remueven pequeñas cantidades de aceite o grasa por medio de un

arenado, el abrasivo no podrá ser reusado.

- Una excesiva capa de calamina podrá ser removida por herramientas de impacto tal como se bosqueja mediante el acabado SP2 (herramienta manual de limpieza), o por la SP3 (herramienta de fuerza) o también por equipos especiales de chorreado.

Existen varias métodos para alcanzar metal blanco, tales como un arenado de arena seca usando aire comprimido en boquillas y trabajando con partículas de arenas tamizadas a través de un pasante # 16. Si la superficie es arenada en seco entonces podrá ser limpiada con cepillos limpiadores de pelo, cerda o fibra, soplado con aire comprimido o limpiados en vacío con el propósito de remover cualquier huella de productos del abrasivo sobre la superficie.

Si la superficie es limpiada por medio de un arenado húmedo, se podrá limpiar con agua fresca conteniendo un inhibidor de corrosión para prevenir la oxidación. Esta limpieza puede ser complementada por un cepillado si fuera necesario para remover cualquier residuo. El aire comprimido usa separadores adecuados y trampas para dejar al aire libre de cantidades perjudiciales de agua de condensado o aceite.

Después de una operación de limpieza superficial, el área atacada no podrá quedar expuesta por mucho tiempo al medio ambiente por lo que se recomienda que dentro de las 24 horas siguientes posterior del arenado se proceda al pintado de la superficie. Si existen vestigios de corrosión, la superficie podrá ser limpiada nuevamente con un arenado sin ningún problema aunque esto repercute en el costo final de la limpieza.

El costo de la limpieza metal blanco puede ser alto si se lo compara con una limpieza menos crítica como lo es un arenado ligero o uno comercial.

## CAPITULO II

### PRUEBA EXPERIMENTAL

#### 2.1 VARIACION DE LOS PARAMETROS ESCOGIDOS

##### ANALISIS DE PARAMETROS CONSTANTES.

Se toman parámetros constantes tales como diámetro de la boquilla, la relación de diámetros manguera/garganta y la longitud de la boquilla debido a que sí cumplen con las dimensiones que se requieren para optimizar un arenado y estos parámetros son:

$$D \text{ garganta} = 7/16 \text{ pulg.}$$

$$D \text{ entrada boquilla} = 1 \text{ pulg.}$$

$$D \text{ salida boquilla} = 5/8 \text{ pulg.}$$

$$L \text{ boquilla} = 7 \frac{7}{8} \text{ pulg.}$$

$$D \text{ manguera} = 1 \frac{5}{16} \text{ pulg.}$$

## COMPARACION CON PARAMETROS ACONSEJADOS.

$$D \text{ garganta boquilla} = 7/16 \text{ pulg.}$$

$$D \text{ entrada boquilla} = 2.4(D_{\text{gar-boq}}) = 1.05 \text{ pulg}$$

$$D \text{ salida boquilla} = 1.3(D_{\text{gar-boq}}) = 0.568 \text{ pulg}$$

$$L \text{ boquilla} = 17.5(D_{\text{gar-boq}}) = 7.656 \text{ pulg}$$

$$D \text{ manguera} = 2.85(D_{\text{gar-boq}}) = 1.246 \text{ pulg}$$

## 2.1.2 ANALISIS DE PARAMETROS VARIABLES.

Los tres parámetros a variar son:

- Tiempo de ataque
- Distancia de la boquilla a la superficie
- Angulo de impacto

La forma como se va a combinar estos parámetros, será de la siguiente manera:

a) Primero se varía el tiempo, manteniendo constante la distancia de la boquilla a la superficie y el ángulo de ataque y de esta forma escoger el mejor tiempo de esta prueba por observación de la superficie.

b) Luego se varía la distancia y se mantiene constantes los otros dos parámetros, hasta escoger del mismo modo la mejor distancia.

c) Como ya se tiene optimizado los dos primeros parámetros, estos permanecen constantes y se varía el ángulo de impacto tomándo así mismo, el mejor de estos valores por inspección de la superficie.

El desarrollo pormenorizado de cada una de estas variaciones se encuentran tabuladas en las TABLAS III, IV y V , en el cual tambien se encuentran la rugosidad que se obtuvo para cada probeta con los tres tipos de arena ensayada y su respectiva norma superficial.

d) Un cuarto parámetro variable se la puede considerar a la arena debido a que se trabajó con tres clases, la mezcla de arena de río en un 70 % con arena de cuarzo con un 30 % , la arena de cuarzo grueso y la arena de cuarzo fino.

## 2.2 COMPARACION CON PATRONES NORMALIZADOS VISUALES Y DE TACTO.

Con la finalidad de encontrar resultados que se obtuvieron después de la prueba, es necesario comparar

la superficie obtenida con patrones normalizados visuales y sacar conclusiones valederas que sirvan de guía para la optimización del proceso.

La superficie es comparada tambien con un patrón de tacto más conocido como rugosímetro con el propósito de medir el perfil de anclaje. Este procedimiento consiste en que después de efectuar el arenado, se palpa con los dedos la superficie de la probeta metálica y luego se la compara con el rugosímetro. Recordando que el rugosímetro es un instrumento con varios tipos de acabados con sus respectivos valores de perfiles de anclaje medido en mils obtiene la rugosidad de la superficie que se encuentra en análisis.

El procedimiento para encontrar el acabado superficial es comparar la superficie obtenida después del arenado en forma visual con patrones normalizados indicando el tipo de acabado superficial alcanzado.

### 2.3 OBTENCION DE LOS ACABADOS SUPERFICIALES

En las tablas III, IV, V se describe detalladamente cada una de las probetas ensayadas, con sus respectivos acabados superficiales. La forma de

obtener los acabados superficiales es la siguiente:

1) Arena de río + cuarzo grueso :

Partiendo del primer análisis efectuado con arena de río más cuarzo grueso y trabajando bajo muy buenas condiciones y requerimientos tales como:

$P = 90 \text{ a } 95 \text{ psi}$

$Q = 9.75 \text{ mt}^3/\text{seg}$

$A = 240 \text{ cm}^2 \text{ (} 20 \text{ cm} * 12 \text{ cm)}$

MALLA # 4 ( $D < 7\text{mm}$ )

HERRUMBRE = tipo B

Se obtuvo los siguientes resultados:

a) Parámetro variable : tiempo = 5, 10 y 15 seg.

Parámetros constantes : distancia = 10 cm.

ángulo =  $75^\circ$

Variando primero el tiempo en 5, 10 y 15 seg para las probetas A1, A2 y A3 respectivamente y manteniendo constante la distancia de la boquilla a la superficie en 10 cm y el ángulo de impacto en  $75^\circ$  se consiguió llegar a un arenado comercial (BSa2 ó SP6) para las tres probetas, pero el área atacada fué diferente. Así se tiene que solo las probetas A2 y A3 se obtuvo un 85

% de toda el área pero se escogio la probeta A2 debido al tiempo mínimo empleado para obtener las mismas características de trabajo en relación con la A3 (ver fig 3 )

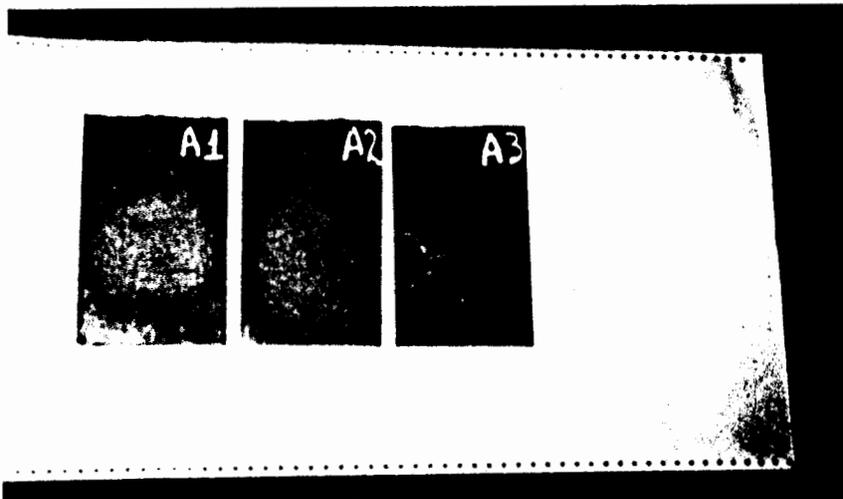


Fig. Nº 3.- Acabados superficiales de probetas A1, A2 y A3.

b) Parámetro variable : distancia = 10, 15 y 20 cm.

Parámetros constantes : tiempo = 10 seg.

ángulo =  $75^{\circ}$

Con las tres siguientes probetas A4, A5 y A6 se varió la distancia en 10, 15 y 20 cm manteniendo constante el tiempo óptimo encontrado en la primera prueba que fué de 10 seg y se mantuvo el valor de  $75^{\circ}$  para el ángulo de impacto. Los resultados que se dió fue que se siguió obteniendo el mismo acabado superficial es

decir arenado comercial pero el área atacada varió un poco. La que obtuvo mayor porcentaje de área fué la probeta A5 ya que consiguió cubrir un área del 95 % y por lo tanto es la mejor de todas las tres, inclusive llega a ser mejor que la probeta A2, por lo tanto optimizamos un segundo parámetro que es la distancia con un valor de 15 cm (ver fig 4).

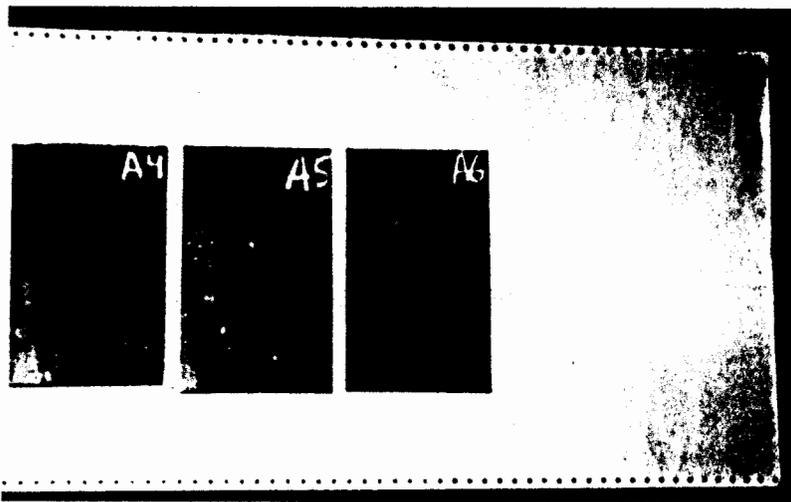


Fig. Nº 4.- Acabados superficiales de probetas A4, A5 y A6.

c) Parámetro variable : ángulo =  $60^\circ$  a  $65^\circ$  ,  $75^\circ$  a  $80^\circ$   
y  $85^\circ$  a  $90^\circ$

Parámetros constantes : tiempo = 10 seg.

distancia = 15 cm.

Finalmente se varió el ángulo de impacto entre  $60^\circ$  a  $65^\circ$ ,  $75^\circ$  a  $80^\circ$  y  $85^\circ$  a  $90^\circ$ , manteniendo la distancia constante a 15 cm y el tiempo de ataque en

10 seg. La probeta A7, siguió manteniendo el mismo acabado superficial, mientras que la A8 y la A9 llegaron a conseguir metal casi blanco (BSa21/2 ó SP10), pero con la diferencia que la probeta A8 ocupó un 98 % del área y por lo tanto fué la mejor de todas las anteriores (ver fig 5).

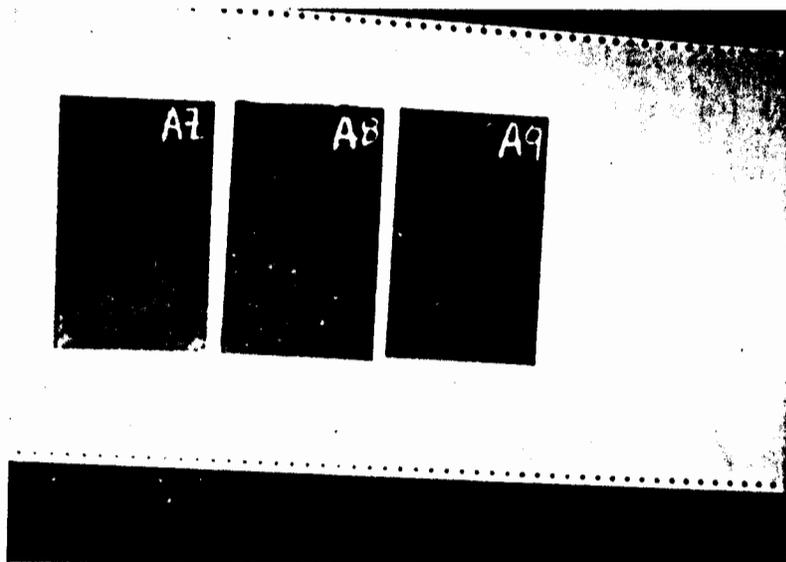


Fig. Nº 5.- Acabados superficiales de probetas A7, A8 y A9.

OPTIMIZACION :

En definitiva, para la arena de río más cuarzo grueso se obtuvo los siguientes parámetros de optimización:

PROBETA = A8

TIEMPO DE ATAQUE = 10 seg

DISTANCIA = 15 cm

ANGULO DE IMPACTO =  $75^{\circ}$  a  $80^{\circ}$

AREA ATACADA = 98 %

ACABADO SUPERFICIAL = metal casi blanco

2) Arena de cuarzo grueso :

La segunda prueba realizada se hizo con arena de cuarzo grueso utilizando el mismo número de malla # 4 que es con la que se trabaja en Astilleros Navales Ecuatorianos .

Las probetas ensayadas se las identifica con la letra M para éste tipo de arena y tienen un área de  $252 \text{ cm}^2$  (12cm. x 21 cm.); además como dato adicional, la herrumbre es de tipo B ( principio de la corrosión y se empieza a despegar la capa de laminación o calamina).

a) Parámetro variable : tiempo = 10, 15 y 20 seg.

Parámetros constantes : distancia = 10 cm.

ángulo :  $75^{\circ}$ a  $80^{\circ}$

Los resultados obtenidos con las tres primeras probetas M1, M2 y M3 variando el tiempo entre 10, 15 y 20 segundos respectivamente y manteniendo constante la

distancia en 10 cm. y el ángulo de impacto entre 75° a 80° , se llegó a obtener un acabado superficial a metal casi blanco pero el área atacada en el caso de la probeta M2 dió el 80% y por lo tanto fué la mejor de las tres (ver fig 6).

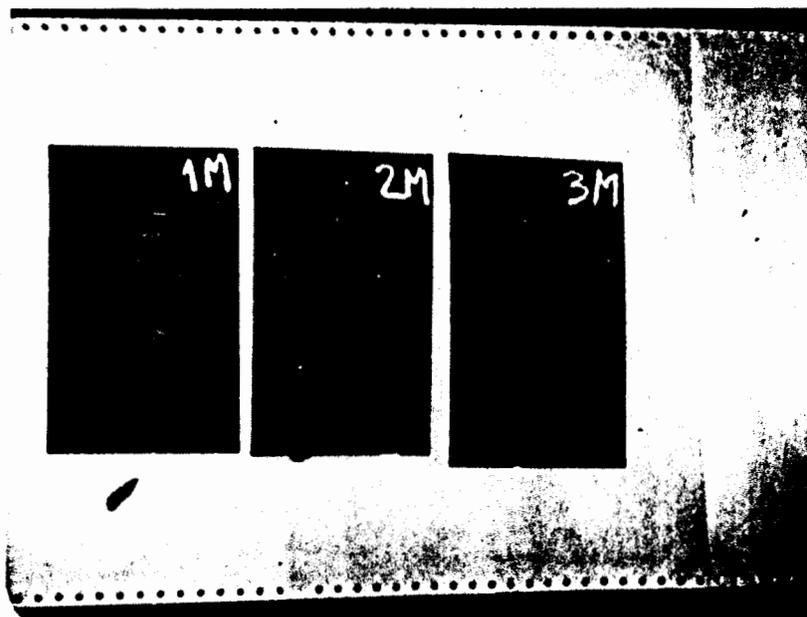


Fig. Nº 6.- Acabados superficiales de probetas M1, M2 y M3.

b) Parámetro variable : distancia = 10, 15 y 20 cm.

Parámetros constantes : tiempo = 15 seg.

ángulo = 75° a 80°

Con las tres probetas siguientes, trabajando con el tiempo anterior manteniéndolo constante así como también el ángulo de impacto entre 75° a 80° y

variando la distancia entre 10 cm, 15 cm y 20 cm.

Para las probetas M4, M5 y M6 respectivamente, se obtuvo que tambien se llegó a obtener metal casi blanco, pero la probeta M6 fué la mejor por llegar a ocupar un 92% del área ( ver fig. 7 ).

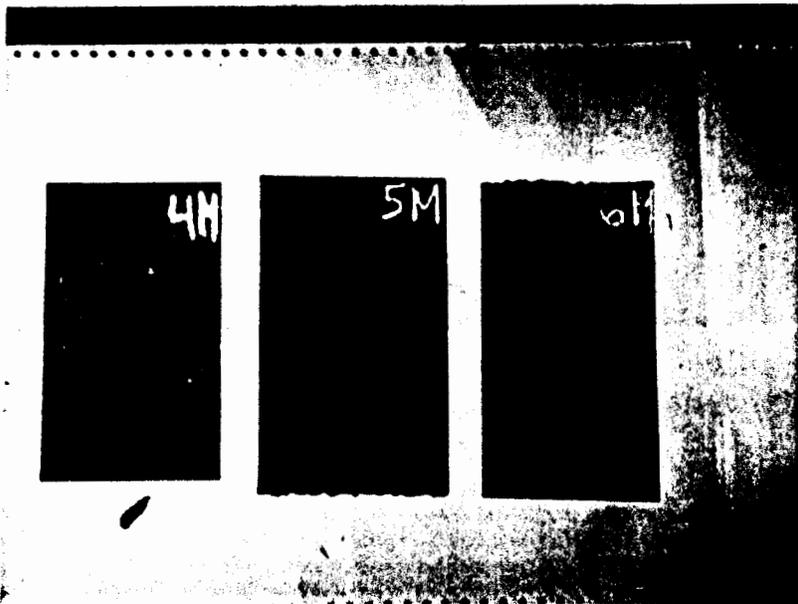


Fig. Nº 7.- Acabados superficiales de probetas M4, M5 y M6.

c) Parámetro variable : ángulo =  $60^\circ$  a  $65^\circ$ ,  $75^\circ$  a  $80^\circ$   
y  $85^\circ$  a  $90^\circ$

Parámetros constantes : tiempo = 15 seg.

• distancia = 20 cm.

Finalmente con las probetas M7, M8 y M9 variando el ángulo de impacto, obtuvimos que la mejor fué la M8 (ver fig. 8).

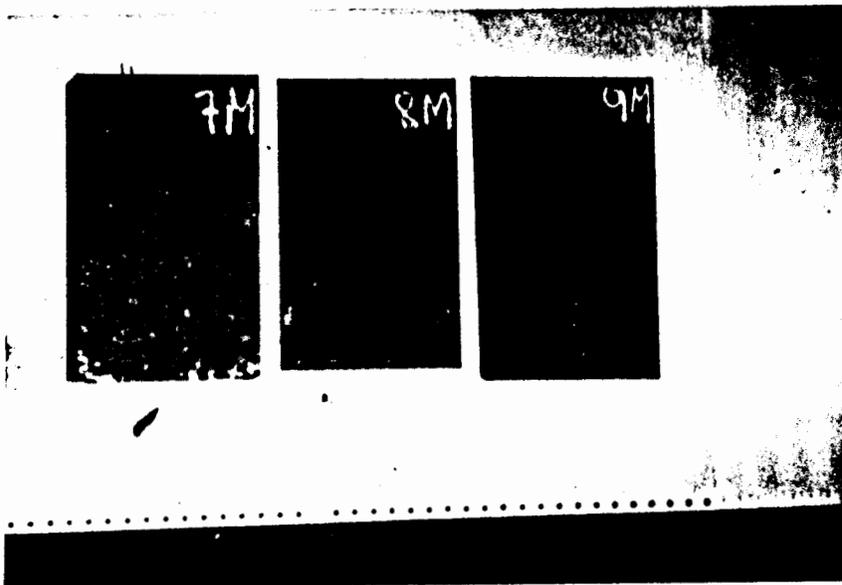


Fig. Nº 8.- Acabados superficiales de probetas M7, M8 y M9.

En definitiva , los parámetros óptimos para éste tipo de arena son :

OPTIMIZACION :

PROBETA = M8

TIEMPO DE ATAQUE = 15 seg.

DISTANCIA BOQ-SUPERF = 20 cm.

ANGULO DE IMPACTO = 75° a 80°

AREA ATACADA = 92%



ACABADO SUPERFICIAL = SSP10 ó metal casi blanco

3) Arena de cuarzo fino :

La última prueba realizada fué hecha con arena de cuarzo fino utilizando mallas # 16 y # 30 lo que corresponde a un diámetro mayor a 0.8 mm. y menor a 1.5 mm. que es la dimensión más adecuada para llegar a obtener mejores resultados.

El área de las probetas fueron aproximadamente de 288 cm<sup>2</sup> ( 12cm. x 24 cm. ) con herrumbre tipo B y para efectos de identificación se las designó con la letra H.

a) Parámetro variable : tiempo = 10, 15 y 20 seg.

Parámetros constantes : distancia = 10 cm.

ángulo = 75°

Con las tres primeras probetas se obtuvo que la mejor fué la H2 que corresponde a parámetros de 20 segundos el tiempo, 10 cm. la distancia de la boquilla a la superficie y un ángulo de 75° sobre un área del 90%. Las tres probetas alcanzaron un acabado superficial SSP10 (metal casi blanco) . Por lo tanto se toma al tiempo de 20 segundos como el más óptimo (ver fig. 9).

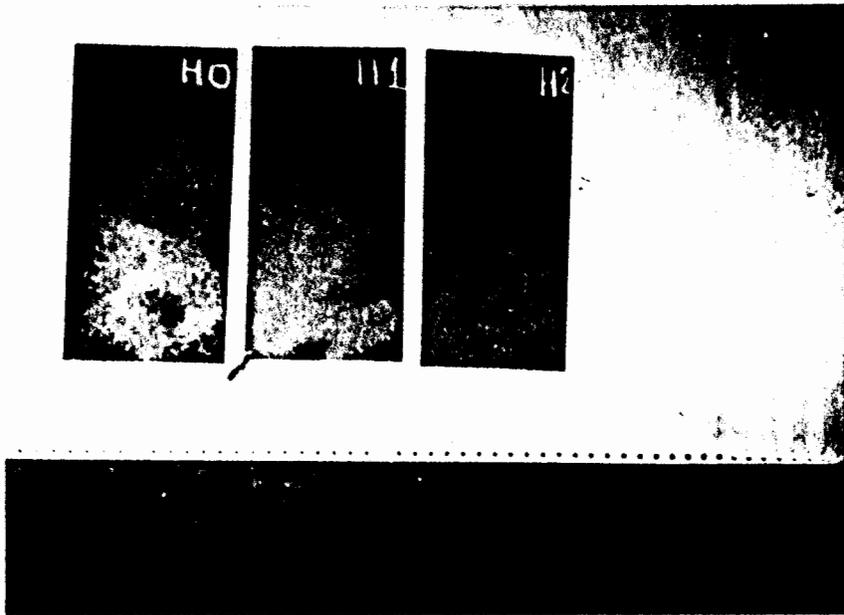


Fig. Nº 9.- Acabados superficiales de probetas H0, H1 y H2.

b) Parámetro variable : distancia = 10, 15 y 20 seg.

Parámetros constantes : tiempo = 20 seg.

ángulo =  $75^{\circ}$

Con las tres siguientes probetas , variando las distancias entre 10, 15 y 20 cm. y manteniendo constante el ángulo a  $75^{\circ}$  y el tiempo en 20 segundos, se consiguió llegar igualmente a metal casi blanco pero ocupando una mayor área y tal es el caso de la H3 que ocupó 95% y por lo tanto es mejor que la H2 ( ver fig. 10).

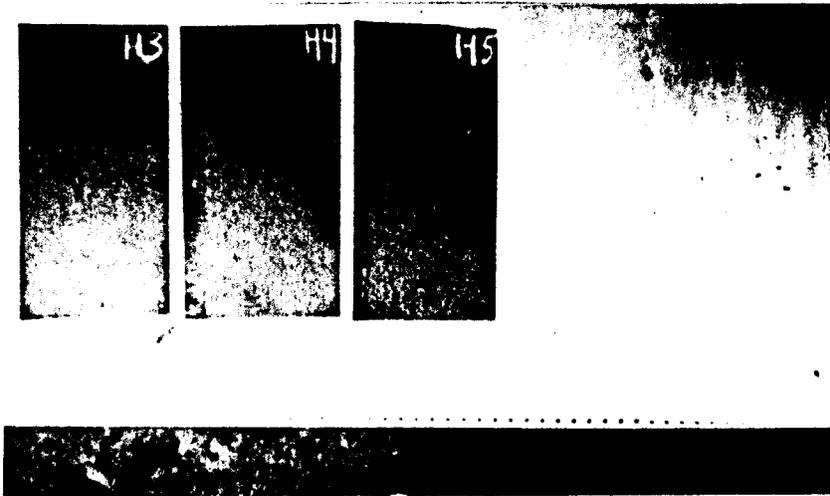


Fig. Nº 10.- Acabados superficiales de probetas H3, H4 y H5.

c) Parámetro variable : ángulo =  $60^\circ$  a  $65^\circ$ ,  $75^\circ$  a  $80^\circ$   
 $85^\circ$  a  $90^\circ$

Parámetros constantes : tiempo = 20 seg.

distancia = 10 cm.

Variando ahora el ángulo entre  $60^\circ$  a  $65^\circ$  ,  $75^\circ$  a  $80^\circ$  y de  $85^\circ$  a  $90^\circ$  , y con el tiempo óptimo de 20 segundos más la distancia a 10 cm. se llegó a obtener por primera vez en las tres probetas metal blanco (SSP5).

De las tres probetas se escogió H6 ya que aproximadamente en un 98% de su área obtuvo el acabado superficial antes mencionado ( ver fig. 11 ).

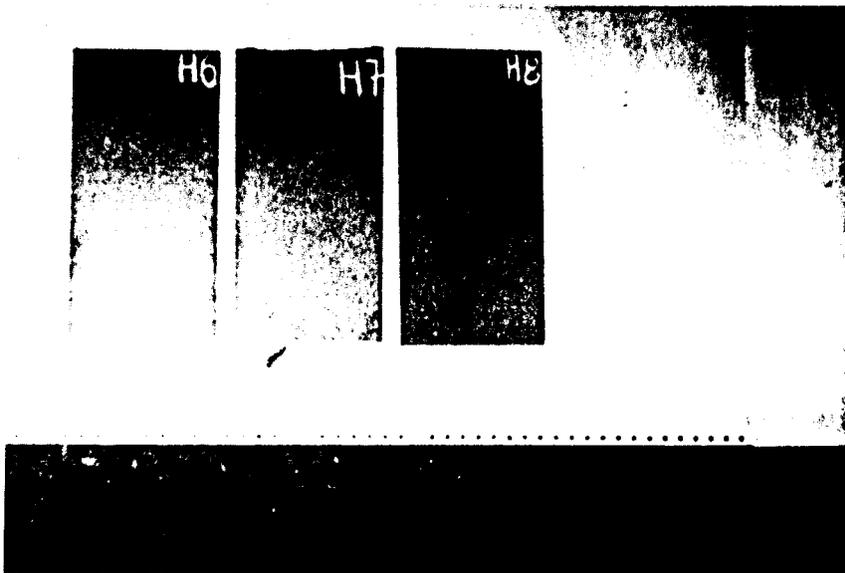


Fig. Nº 11.- Acabados superficiales de probetas H6, H7 y H8.

Por lo tanto , cuando se trabaja con arena de cuarzo fino en el rango de diámetros antes nombrado, se obtienen los siguientes parámetros óptimos :

OPTIMIZACION :

PROBETA = H6

TIEMPO DE ATAQUE = 20 seg.

DISTANCIA BOQ-SUPERF = 10 cm.

ANGULO DE IMPACTO = 60° a 65°

AREA ATACADA = 98% .

ACABADO SUPERFICIAL = metal blanco (SSP5)

## PRUEBA PARA ESCOGER RANGO DE TIEMPO

Para escoger el rango de tiempo utilizado para éste ensayo , se hizo previamente una prueba con arena de rio más cuarzo grueso es decir con el tipo de arena con que se trabaja en ASTINAVE . Primero se hizo la prueba sobre una plancha nueva , es decir que contiene solo calamina. El tiempo que se tardó en arenar las probetas de ensayo (240cm<sup>2</sup>) fué de 5 segundos. Estas probetas fueron restos de plancha nueva. Luego se arenó sobre una plancha vieja (casco del buque) que contenía herrumbre, varias capas de pintura, incrustaciones marinas, etc. Igualmente se toma una muestra de ésta probeta de las mismas condiciones que la anterior. El resultado fué que el tiempo para arenar dichas probetas fué de 22 segundos.

Como se puede ver, el rango de tiempo que se usó , cae entre estos dos tiempos ya que las probetas del ensayo realizado corresponden a probetas con herrumbre tipo B mientras que en ésta prueba de tiempos se usó herrumbres del tipo A y D respectivamente.

La limitación que tiene ésta prueba de tiempo, es que solo se la pudo realizar con éste tipo de arena debido

a que la empresa no prestó los servicios por falta de tiempo, lo cual les representaba pérdidas de tipo económico, sin embargo esta prueba si permite asegurar un alto grado de confiabilidad para la obtención de buenos resultados.

## 2.4 MEDICION DEL PERFIL DE ANCLAJE

### ARENA DE RIO MAS CUARZO GRUESO

Por inspección y tacto se obtuvo que la rugosidad se mantuvo constante para todas las probetas en un valor de 4 mils cuando se utilizó el tipo de arena de río más cuarzo grueso.

En términos generales, este valor de rugosidad no es el más adecuado a nivel industrial pero esto es causa de la limitación que ofrece esta mezcla.

### ARENA DE CUARZO GRUESO

La rugosidad dió como resultado un valor de 4 mils para todas las probetas, lo que indica que si se trabaja con este tipo de arena siempre se llegará a un mismo perfil de anclaje, independiente del tiempo, de la distancia de la superficie a la boquilla y del ángulo de ataque.

## ARENA DE CUARZO FINO

El valor de la rugosidad en este tipo de arena fué menor que las anteriores y esto se debe al tipo de arena más óptimo utilizado. El valor de 3 mils se mantuvo casi constante en todas las probetas excepto en las tres últimas en las que se obtuvo un valor promedio de 2.5 mils que equivale a cumplir con los resultados óptimos de anclaje a nivel industrial.

### 2.5 PINTADO DE PROBETAS METALICAS Y PRUEBA DE ADHERENCIA

El mecanismo de pintado contra la corrosión en la atmósfera es diferente sobre aquellas superficies que van a estar sumergidas en agua. Muchas veces este argumento no es tomado en cuenta, generando problemas y riesgos en este tipo de operaciones.

El método de pintado sobre un acero expuesto al medio ambiente consiste en una capa de imprimación que contiene productos químicos antioxidantes y un cierto número de capas de acabado. Cada una de estas capas cumple su función específica.

Las capas de acabado actúan como defensa contra el agua y el oxígeno. Si las pinturas son de aceite incluídas las de resina alquídica, las capas de

acabado bajo ciertas condiciones de humedad permitirán la penetración del agua a través de la estructura por lo que la película se hincha posteriormente, el agua abandonará la película de pintura.

Durante un periodo de elevada humedad gran cantidad de agua será absorbida a través de las capas de acabado y posteriormente llegará a alcanzar a la imprimación, penetrando hasta la superficie del acero.

Estando ya en la capa de imprimación, el agua disolverá parte de las sustancias químicas activas presentes. Este hecho contrarresta la agresividad del agua y sirve para mantener el acero protegido durante la infiltración de la humedad. Mientras mayor sea el poder inhibidor del pigmento mayor y más eficaz será esta capacidad protectora.

Llegará un momento que la reserva de productos químicos anticorrosivos de la imprimación se agotará. Cuando esto sucede la protección se basará únicamente en el efecto de barrera producido por las capas de acabado, las cuales también llegarán a disgregarse y entonces será necesario la total eliminación de todos los residuos de pintura para volver a aplicar otro sistema de pintado anticorrosivo.

Cuando la superficie del acero va estar sujeta a condiciones de inmersión, se la debe proteger mediante un mecanismo conocido como efecto de barrera por lo que debemos de disponer de breas y asfaltos como ligantes por la baja permeabilidad que presentan y la poca tendencia al hinchamiento. Si bien es cierto la resistencia contra las radiaciones ultravioletas es muy baja, esto no presenta mayores problemas debido a que la superficie no se hallará expuesta a los rayos solares.

#### Prueba de adherencia.-

Se procedió a pintar las probetas metálicas de acero naval con bajo contenido de carbono despues de haber sometido a limpieza por arenado con cada una de los tres tipos de arena utilizado, mediante el uso de un medidor de rueda, obteniendo los siguientes resultados:

- Probeta A arenada con arena de río más cuarzo: 175 um.
- Probeta M arenada con arena de cuarzo grueso: 175 um.
- Probeta H arenada con arena de cuarzo fino: 150 um.

Generalmente los pigmentos refuerzan los recubrimientos, y aquellos que son escamosos lo hacen

de una mejor forma. Las imprimaciones a base de aceite y la mayor parte de las alquídicas no son recomendables para el uso en inmersión, debido a que el contacto permanente con el agua es causa de su hinchamiento y posterior degradación.

Se acostumbra a menudo , confundir los fenómenos de rugosidad y adherencia como fenómenos que varían directamente en forma proporcional, es decir, a mayor rugosidad mayor adherencia, pero esto es erróneo ya que por el contrario la adherencia es mejor sobre superficies de acero con un perfil suave (no muy rugoso).

La adherencia sobre superficies granalladas es mejor que sobre superficies atacada con perdigones, pero en una pequeña proporción por lo que no tiene consecuencia significativa excepto para pintura, cuyo comportamiento es muy crítico con respecto a la textura superficial con el único objetivo de asegurar una buena adherencia.

Es muy difícil determinar con toda certeza cual es el espesor real de película que se encuentra aplicada sobre una superficie rugosa. El espesor de la película promedio medido no ofrece mucha información acerca de la protección a dar, ya que esta depende directamente

del espesor de pintura que recubre las crestas.

Para medir el espesor de la película de pintura sobre superficies lisas, existen dos tipos de aparatos, de los cuales el medidor de rueda se considera en general menos preciso que el medidor de peine. El medidor de rueda está constituido por una rueda cuyo perímetro tiene tres rebordes, de los cuales los dos laterales equidistan del central, el cual es excéntrico y más pequeño que los exteriores. Cuando el medidor se hace rodar una película húmeda, el reborde central excéntrico mostrará una posición en la cual empieza a tocar la superficie de la pintura.

El medidor de peine es más confiable y consiste en un peine cuyos dientes exteriores están a un mismo nivel. Los dientes interiores son cada vez más cortos, presentando una cierta distancia entre la punta y el nivel marcado por los dos laterales. Cuando el peine se aplica sobre una superficie recién pintada, el diente del peine que está tocando la superficie de la pintura, dá el espesor de la película.

Se debe de tener mucho cuidado cuando se efectua la medida ya que una partè de los disolventes se ha evaporado, por lo que el espesor de película recién

aplicada que corresponde a un espesor determinado de película seca, es menor, del que se puede calcular a partir de la proporción de sólidos en volumen.

## CAPITULO III

### EVALUACION DE RESULTADOS

En las tablas III, IV y V se describen todos los resultados que se obtuvieron a partir de la prueba experimental desarrollada en el capítulo II y de los cuales se deduce que si se utiliza arena de cuarzo fina se logra conseguir metal blanco en conjunto con los otros parámetros tanto constantes como variables.

La razón por la que se aumentó en 5 segundos cada tiempo de las pruebas en las arenas de cuarzo grueso y de cuarzo fino con respecto a la de la mezcla de río más cuarzo grueso fué simplemente porque el área de las probetas eran un poco mayores.

Se dice entonces, que ya se pueden sacar conclusiones definitivas sobre cuales son los parámetros óptimos para un buen arenado y poder llegar a un determinado acabado superficial dependiendo de los requerimientos

que en forma directa los recomiendan las pinturas.

Ha quedado claro que la única arena que se puede utilizar para poder llegar a un acabado superficial como el metal blanco es la arena de cuarzo fino, entendiéndose por cuarzo fino a aquel que ha sido tamizado con las mallas # 16 y # 30.

Un aspecto importante que se dió , es que mejores resultados se obtuvieron con la arena de río más cuarzo grueso en comparación con la arena de cuarzo grueso , ya que la probeta A8 obtuvo metal casi blanco en un 98% de la superficie atacada mientras que la probeta M8 que fué la mejor para la arena de cuarzo grueso solo cubrió un 92 % ; inclusive si se toma en cuenta el tiempo , pues la de tipo mezcla demoró 10 segundos mientras que la otra 15 segundos.

Esto es debido a que cuando se trabaja con mezcla las partículas de río que son redondeadas en su forma, actúan por impacto sobre la superficie , mientras que las partículas angulares propias de la arena de cuarzo actúan en forma de corte despegando la calamina y demás partículas extrañas existentes en la superficie.

Por lo tanto siempre se recomienda trabajar con mezclas de arena para obtener mejores resultados.

Es por eso que nace otra limitación del proceso y es debido a que no se pudo trabajar con mezcla de arena fina de río con arena de cuarzo fino tamizado con las mallas antes mencionadas que hubiera sido lo ideal.

En cuanto a la prueba de adherencia y de acuerdo a los resultados que se obtienen, se comprueba que a mejor acabado superficial, menor es el espesor de película requerida, así pues se tiene que para superficies de metal blanco se necesita menor cantidad de pintura que para una superficie arenada comercial o ligera.

### 3.1 EFICIENCIA DEL PROCESO EN EL SITIO

La eficiencia del proceso se la realiza mediante un análisis energético como se puede apreciar en la tabla VI.

En dicha tabla se obtiene la limpieza de la plancha de acero con un volumen determinado de abrasivo y en un tiempo determinado ( plancha vieja ).

TABLA VI

LIMPIEZA DE PLANCHA VIEJA CON RESPECTO AL  
VOLUMEN Y AL TIEMPO

VOLUMEN [mt <sup>3</sup> ]	RENDIMIENTO [mt <sup>2</sup> ]	TIEMPO [min]
0.69	8	103
0.46	5.20	68
0.23	2.50	34.5
2.48*10 <sup>-3</sup>	0.0288	0.383
2.17*10 <sup>-3</sup>	0.0252	0.350

Así mismo la tabla VII dá la misma información pero con respecto a planchas de acero nueva.

TABLA VII

LIMPIEZA DE PLANCHA NUEVA CON RESPECTO AL VOLUMEN Y  
AL TIEMPO

VOLUMEN [mt <sup>3</sup> ]	RENDIMIENTO [mt <sup>2</sup> ]	TIEMPO [min]
0.23	9.3	33.6
0.115	4.6	16.9
0.0575	2.31	8.61
7.16*10 <sup>-4</sup>	0.0288	0.108
6.27*10 <sup>-4</sup>	0.0252	0.093

## CALCULO DEL CONSUMO DE ABRASIVO

67

$$Q = \text{VOLUMEN/TIEMPO}$$

$$Q_1 = 0.69 \text{ mt}^3/1.7 \text{ h}$$

$$Q_1 = 0.4058 \text{ mt}^3/\text{h}$$

$$Q_2 = 0.46 \text{ mt}^3/1.13 \text{ h}$$

$$Q_2 = 0.4070 \text{ mt}^3/\text{h}$$

$$Q_3 = 0.23 \text{ mt}^3/0.575 \text{ h}$$

$$Q_3 = 0.40 \text{ mt}^3/\text{h}$$

$$Q_4 = 0.115 \text{ mt}^3/0.281 \text{ h}$$

$$Q_4 = 0.4092 \text{ mt}^3/\text{h}$$

$$Q = \frac{0.4058 + 0.4070 + 0.40 + 0.4092}{4}$$

$$Q = 0.4055 \text{ mt}^3/\text{h}$$

## CALCULO PARA LA DENSIDAD DE LAS ARENAS

Para efectos de cálculos de la densidad y tomando como muestra un  $\text{dm}^3$  de arena, se encontró que :

$$d = 1.8 \text{ gr/cm}^3 \quad \text{para arena húmeda y}$$

$$d = 1.6 \text{ g/cm}^3 \quad \text{para arena seca}$$

### CALCULO DE LA MASA PARA UNA MAQUINA DE ARENADO

$$d = \text{masa/volumen}$$

$$m = \text{masa}$$

$$v = \text{volumen}$$

$$m = d * v$$

$$m = 1600 \text{ Kg/mt}^3 * 0.23 \text{ mt}^3 * 2.2 \text{ lbs/Kg}$$

$$m = 810 \text{ lbs.}$$

### CALCULO DEL FLUJO MASICO

$$M = \text{flujo másico}$$

$$\dot{M} = \text{masa/tiempo}$$

$$v = Q*t$$

$$d = \text{masa/volumen}$$

$$\text{volumen} = \text{masa/densidad}$$

$$m/d = Q*t$$

$$m/t = Q*d$$

$$\dot{M} = Q*d$$

$$\dot{M} = 0.4 \text{ mt}^3/\text{h} * 1600 \text{ Kg/mt}^3 * 2.2 \text{ lbs/1 Kg}$$

$$\dot{M} = 1408 \text{ lbs/h}$$

## CALCULO DE LA VELOCIDAD DE SALIDA DEL AIRE

Condiciones de estancamiento :

$$P_o = 90 \text{ psi ( } 0.0633 \text{ Kg/mm}^2 \text{ )}$$

$$T_o = 30^\circ\text{C ( } 303^\circ\text{K )}$$

Parámetros asumidos :

- \* Número de Mach en la garganta igual a uno ( $M^*=1$ )
- \* Haciendo uso de la tabla de flujo isentrópico unidimensional para un gas perfecto. (3)
- \* Utilizando la siguiente ecuacion :

$$V = M \cdot C = M \cdot (K \cdot R \cdot T)^{1/2}$$

donde :

V = velocidad del aire a la salida

M = número de Mach

C = velocidad del sonido

K = coeficiente politrópico

R = constante de los gases

T = temperatura absoluta

P = presión

TABLA III

VARIACION DE PARAMETROS, PERDIDAS DE MASA, ACABADO SUPERFICIAL Y RUGOSIDAD DE ARENA DE RIO CON CUARZO GRUESO

PROBITAS	tiempo (seg)	Masa Original (gr)	Masa final (gr)	Pérdida de masa (gr)	Distancia de la boquilla a la superficie (cm)	Angulo de impacto (grados)	Acabado superficial	Rugosidad (mils)	Area atacada (%)
A1	5	919.7	919.65	0.05	10	75	BSa2 (SP6)	4.0	60
A2 *	10	892.0	891.9	0.10	10	75	BSa2 (SP6)	4.0	85
A3	15	870.1	869.95	0.15	10	75	BSa2 (SP6)	4.0	85
A4	10	904.3	904.2	0.10	10	75	BSa2 (SP6)	4.0	70
A5 **	10	926.5	926.28	0.22	15	75	BSa2 (SP6)	4.0	95
A6	10	897.2	896.95	0.25	20	75	BSa2 (SP6)	4.0	80
A7	10	897.2	897.05	0.15	15	60 a 65	BSa2 (SP6)	4.0	70
A8 ***	10	928.2	928.07	0.13	15	75 a 80	BSa2 1/2 (SP10)	4.0	98
A9	10	924.5	924.40	0.10	15	85 a 90	BSa2 1/2 (SP10)	4.0	95

\* Aceptable

\*\* Buena

\*\*\* Muy buena

TABLA IV

VARIACION DE PARAMETROS, PERDIDA DE MASA, ACABADO SUPERFICIAL, Y RUGOSIDAD DE ARENA DE CUARZO GRUESO

PROBETAS	Tiempo de ataque (seg)	Masa original (gr)	Masa final (gr)	Pérdida de masa (gr)	Distancia boq-superf (cm)	Angulo de impacto (grados)	Grado superficial (metal)	Rugosidad (mils)	Area atacada (%)
M1	10	552.3	552.16	0.14	10	75 a 80	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	40
M2 *	15	537.6	537.40	0.20	10	75 a 80	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	80
M3	20	546.4	546.15	0.25	10	75 a 80	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	65
M4	15	817.9	817.71	0.19	10	75 a 80	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	70
M5	15	950.3	950.0	0.30	15	75 a 80	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	80
M6 **	15	887.0	886.67	0.32	20	75 a 80	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	90
M7	15	969.9	969.62	0.28	20	60 a 65	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	75
M8***	15	887.9	887.61	0.29	20	75 a 80	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	92
M9	15	948.5	948.22	0.28	20	85 a 90	BSa 2 1/2 SP10 casi blanco	4.0	85

\* Aceptable

\*\* Buena

\*\*\* Muy buena

TABLA V

VARIACION DE PARAMETROS, PERDIDA DE MASA, ACABADO SUPERFICIAL Y RUGOSIDAD DE ARENA DE CUARZO FINO

PROBETAS	Tiempo de ataque (seg)	Masa original (gr)	Masa final (gr)	Pérdida de masa (gr)	Distancia boq-superf (cm)	Angulo de impacto (grados)	Grado superficial (metal)	Rugosidad (mils)	Area atacada (%)
H0	10	1122.3	1122.14	0.16	10	75	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	3.0	60
H1	15	1426.5	1426.25	0.25	10	75	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	3.0	65
H2 *	20	1380.4	1380.08	0.32	10	75	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	3.0	90
H3 **	20	1294.6	1294.27	0.33	10	75	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	3.0	95
H4	20	1389.7	1389.20	0.50	15	75	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	3.0	85
H5	20	1289.4	1288.87	0.53	20	75	BSa2 1/2 SP10 casi blanco	3.0	75
H6 ***	20	1307.9	1305.56	0.34	10	60 a 65	BSa3 SP5 blanco	2.0 a 3.0	98
H7	20	1342.3	1341.99	0.31	10	75 a 80	BSa3 SP5 blanco	2.0 a 3.0	90
H8	20	1363.3	1363.0	0.30	10	85 a 90	BSa3 SP5 blanco	2.0 a 3.0	97

\* Aceptable

\*\* Buena

\*\*\* Muy buena

\* = condiciones en la garganta de la boquilla

o = condiciones de estancamiento

con  $M = 1$  ( en la garganta ) :

$$P_g/P_o = 0.528$$

$$P_g = 0.528 * 0.0633 \text{ Kg/mm}^2$$

$$P_g = 0.03342 \text{ Kg/mm}^2 \text{ (47.5 psi )}$$

$$T_g/T_o = 0.833$$

$$T_g = 0.833 * 303^\circ\text{K}$$

$$T_g = 252.4 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$V_g = 1 * (1.4 * 287 \text{ Joule/Kg-}^\circ\text{K} * 252.4 \text{ }^\circ\text{K})^{1/2}$$

$$V_g = 318.456 \text{ mt/s}$$

$$A_{sal}/A_g = \frac{3.14159 * D_{sal}^2/4}{3.14159 * D_g^2/4}$$

$$A_{sal}/A_g = ( 16\text{mm}/11.11\text{mm} )^2$$

$A_{sal}/A_g = 2.07$  ; con este valor en tablas :

$$M = 2.26$$

$$P_{sal}/P_o = 0.07753$$

$$P_{sa1} = 0.07753 * 6.33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_{sa1} = 0.49 \text{ Kg/cm}^2 \text{ ( 6.97 psi )}$$

$$T_{sa1}/T_o = 0.49164$$

$$T_{sa1} = 0.49104 * 303^\circ\text{K}$$

$$T_{sa1} = 148.96^\circ\text{K}$$

$$V_{sa1} = 2.26 * ( 1.4 * 287 * 148.96 )^{1/2}$$

$$V_{sa1} = 553 \text{ mt/seg}$$

En base a los resultados que se obtuvieron, se presentan una serie de gráficos comparativos de los tres tipos de arena, así se tiene que en los gráficos N° 12, 13 y 14 se presentan los efectos de la distancia de la boquilla a la superficie sobre la pérdida de masa por separados, y otro en el cual se reúnen las tres curvas para visualizar mejor el resultado.

La información que se obtuvo es que la arena de cuarzo fino es la que más rápido y en mayor cantidad de material arranca, y por ende logra una mejor limpieza en el menor tiempo posible.

En los gráficos N° 16 y 17 se observa la influencia

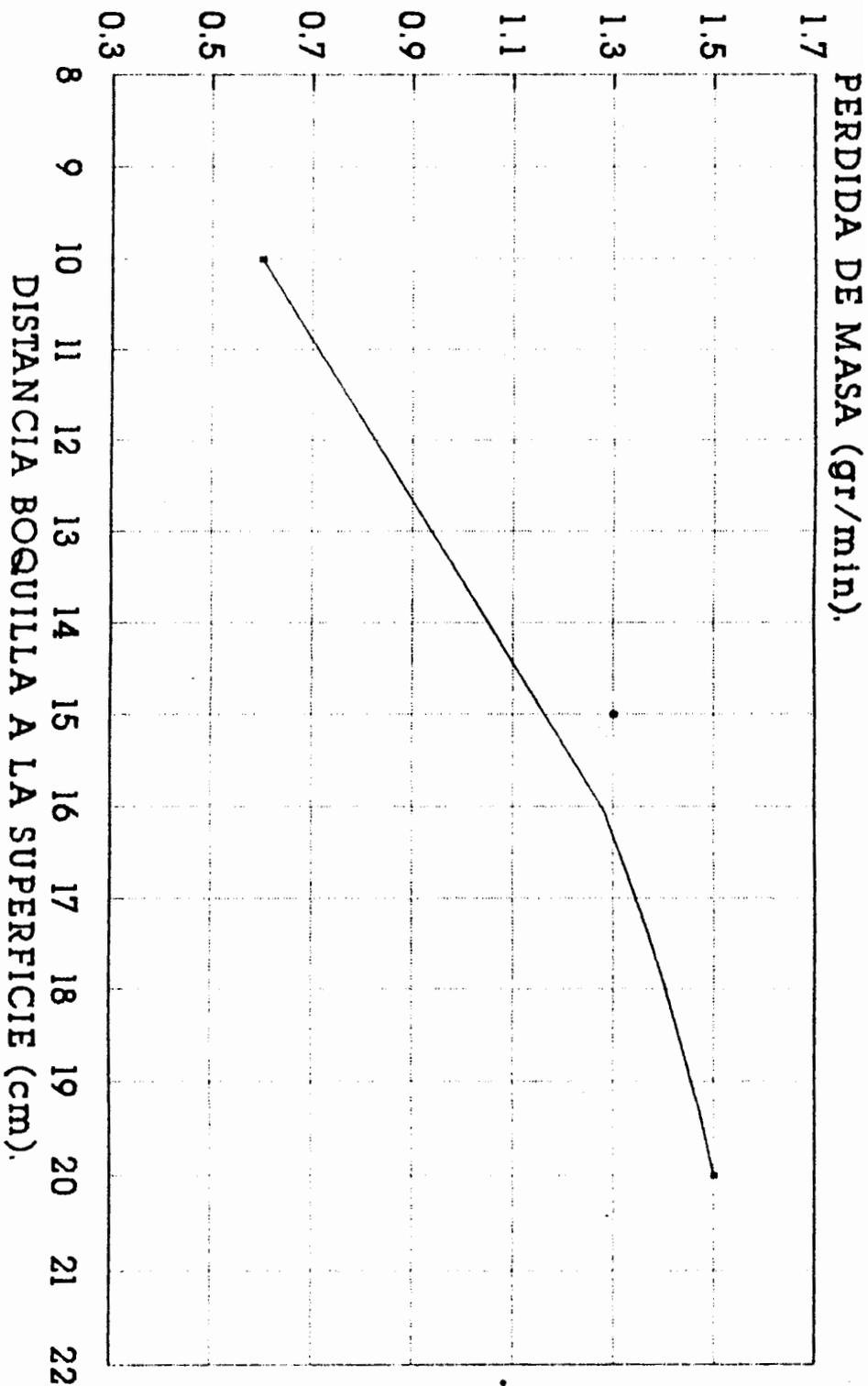


Fig. 3 Curva mostrando pérdida de masa para varias distancias con arena de tipo río + cuarzo grueso.

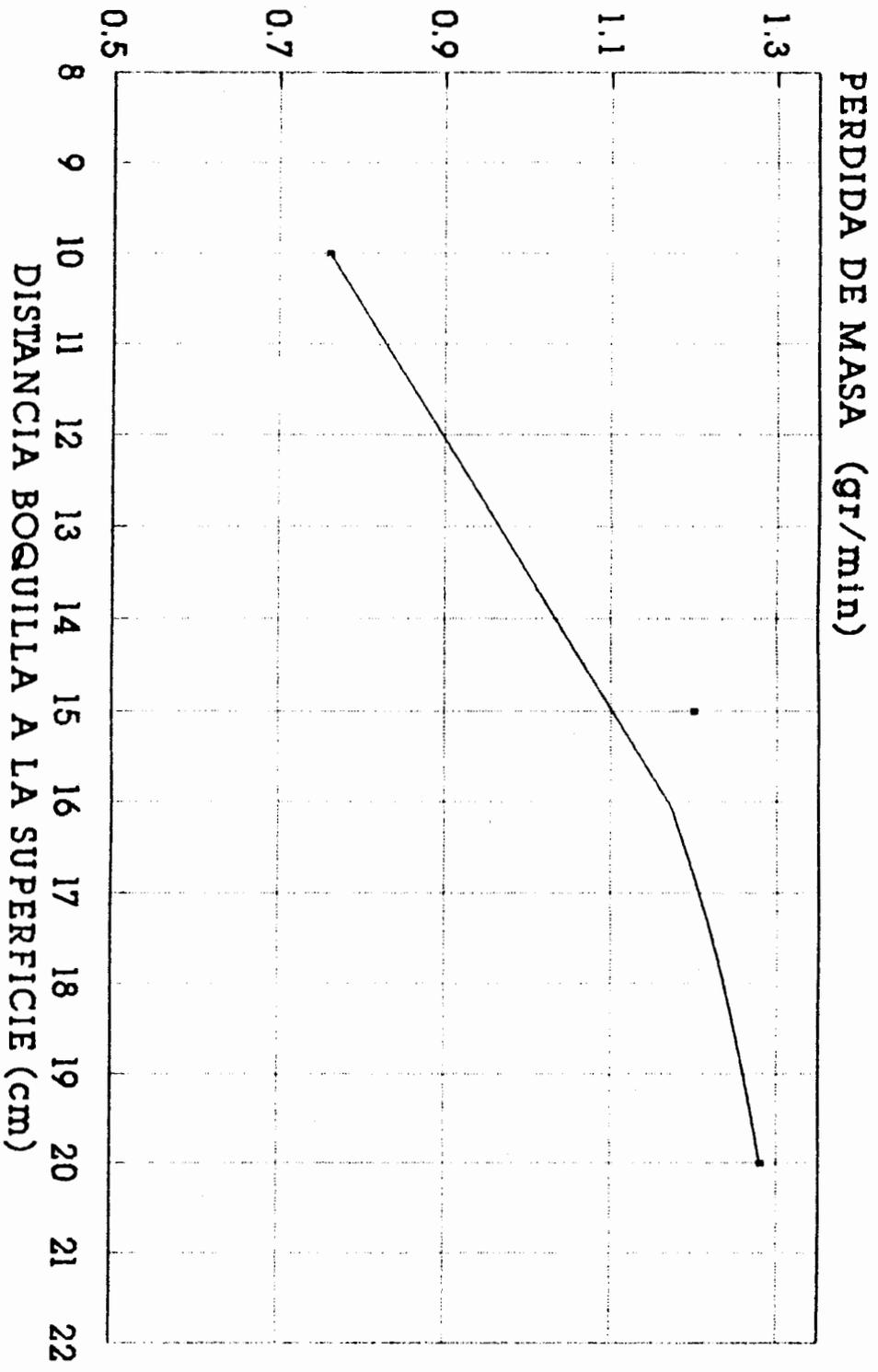


Fig. 4 Efecto de la pérdida de masa con  
 variación de distancia de boquilla  
 a la superficie con cuarzo grueso

PERDIDA DE MASA (gr/min).

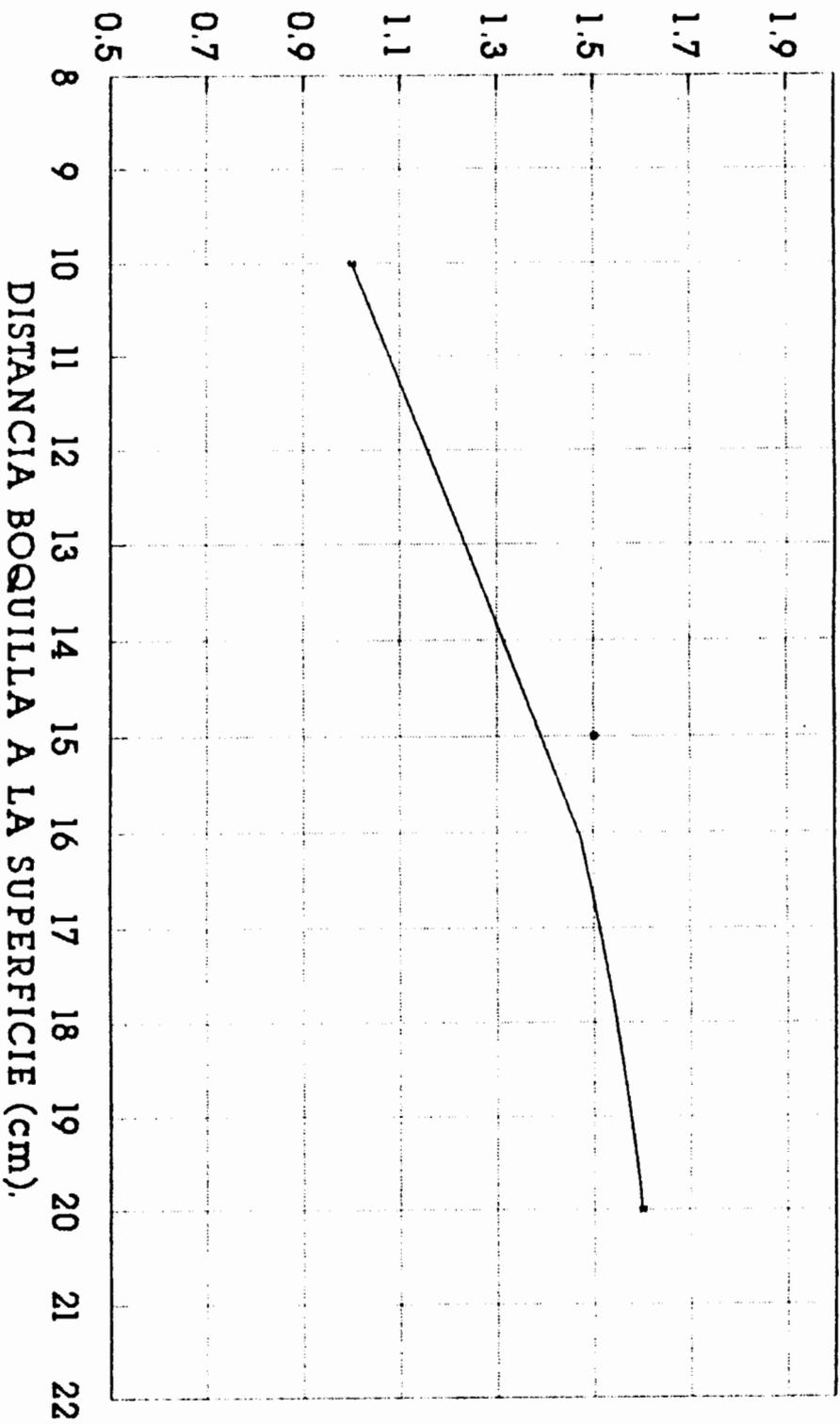


Fig. 5 Influencia de distancia de boquilla a la superficie sobre pérdida de masa con arena de cuarzo fino

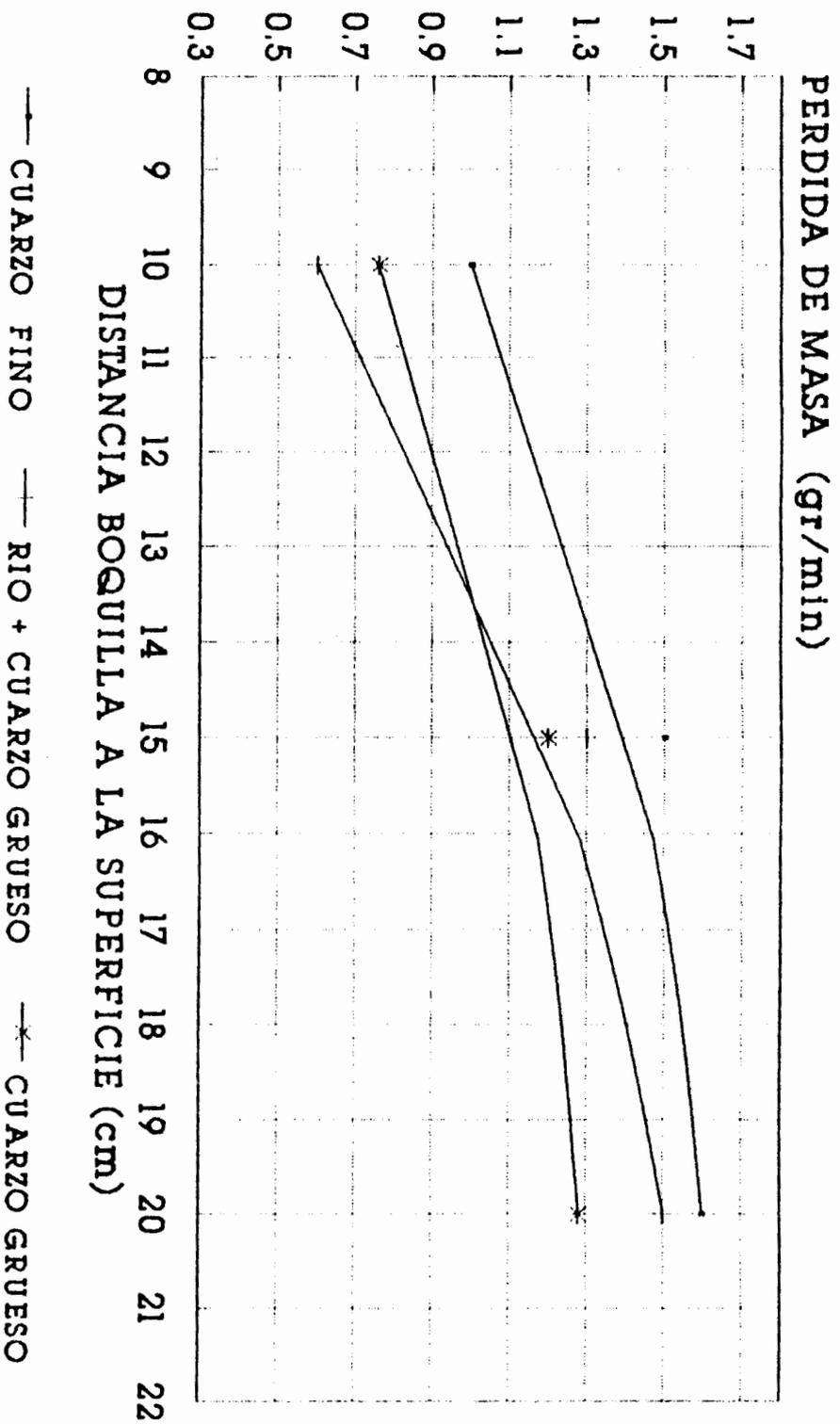


Fig. 6 Superposición de los tres tipos de arena del efecto de la distancia para la pérdida de masa.

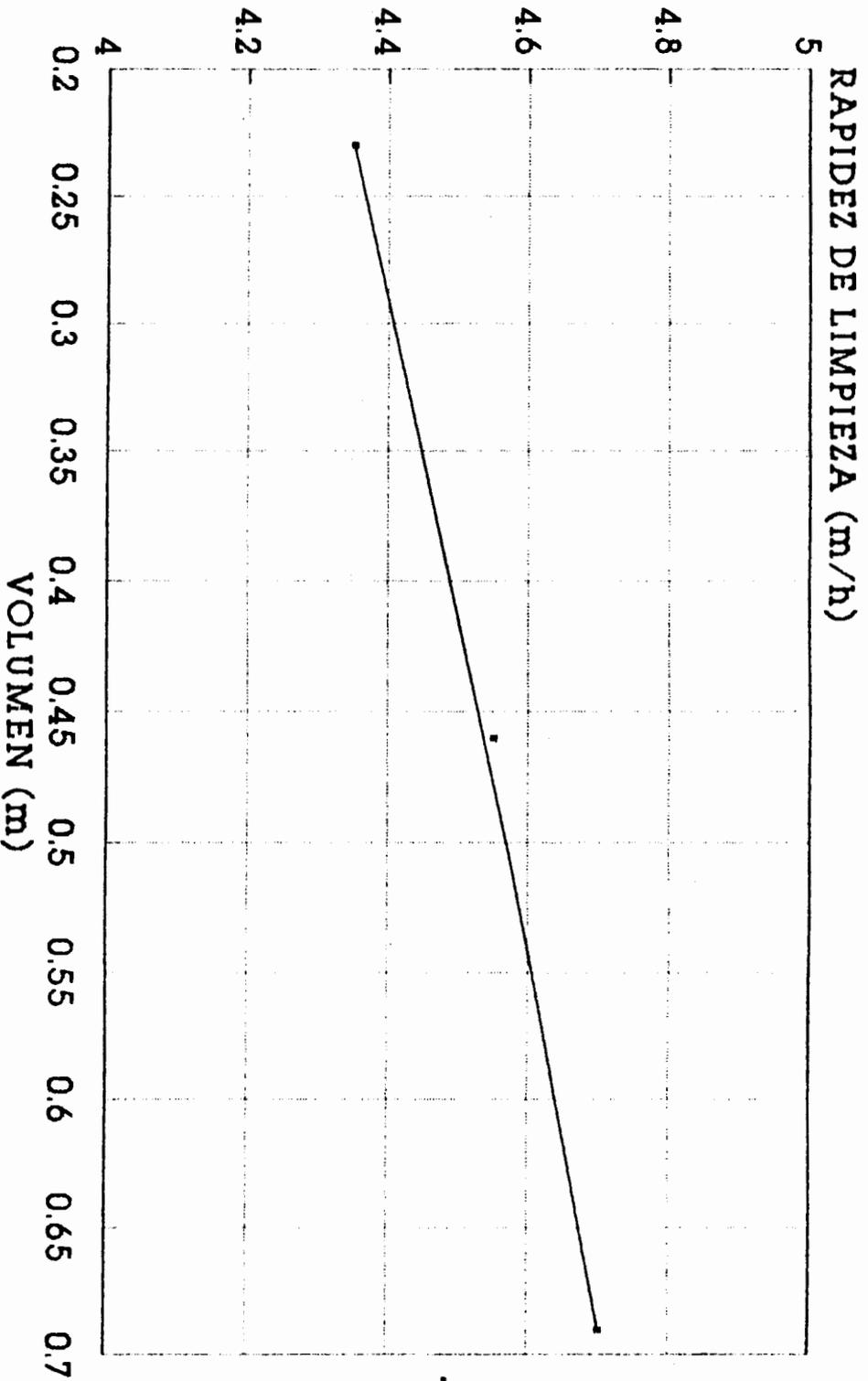


Fig. 7 Volumen del abrasivo vs. rapidez de limpieza con arena de cuarzo+ río sobre una plancha vieja.

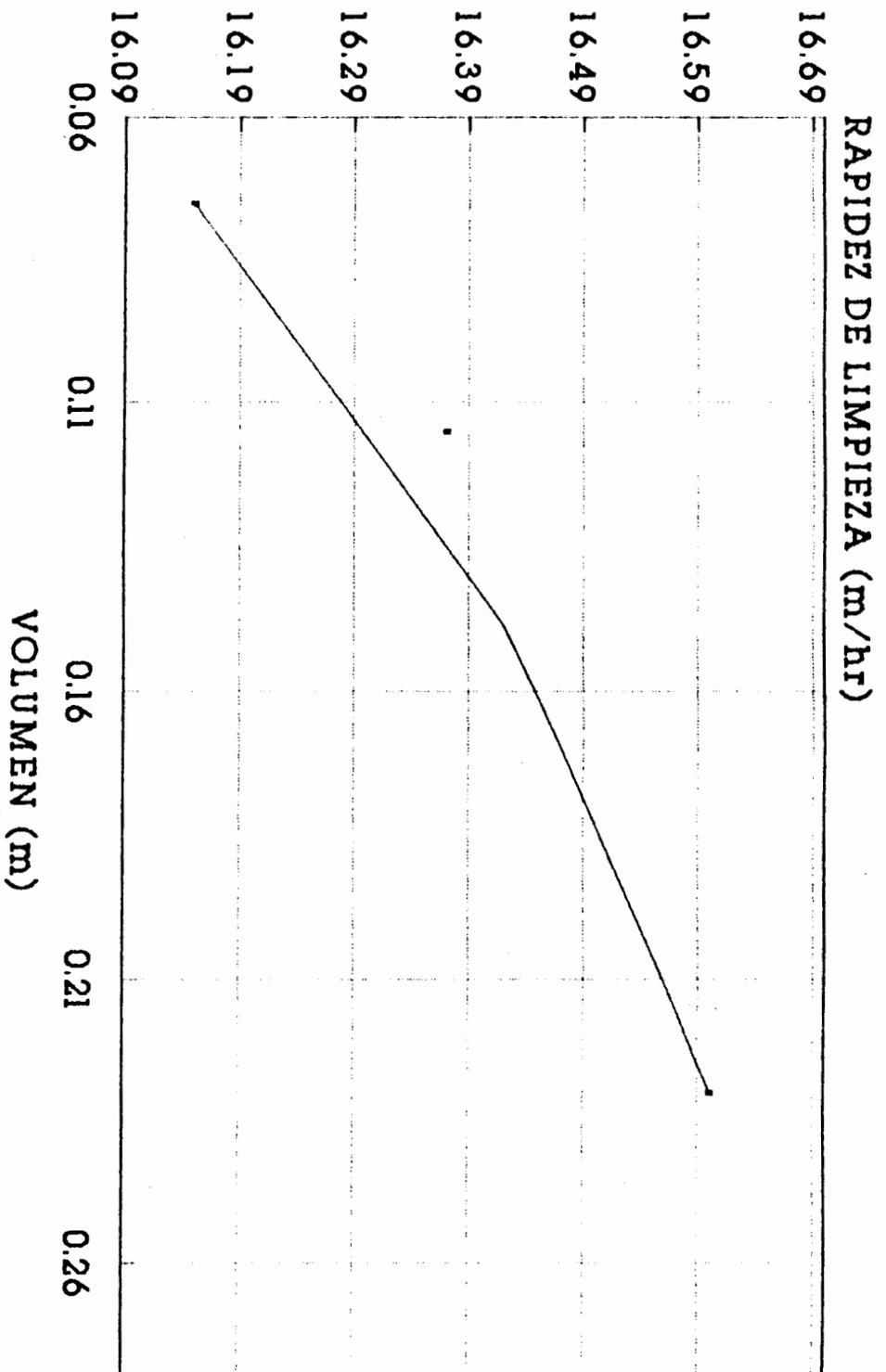


Fig. 8 Volumen del abrasivo vs. rapidez de limpieza con arena de cuarzo+ río sobre una plancha nueva.

RAPIDEZ DE PERDIDA DE MASA (gr/min)

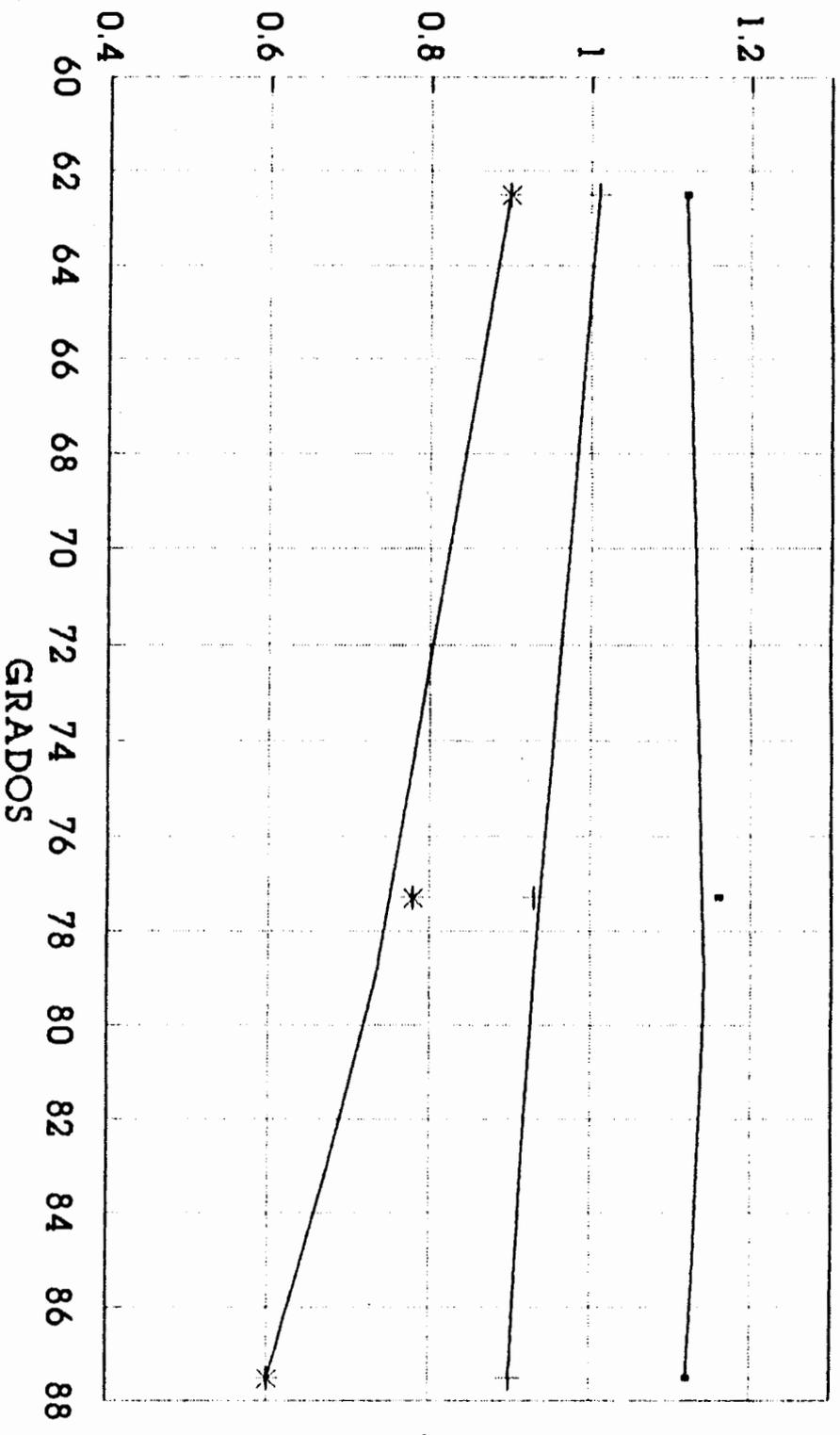


Fig. 9 Efecto del angulo de ataque sobre la rapidez de pérdida de masa para los tres tipos de arena.

del volumen del abrasivo (arena de río más cuarzo grueso) en la rapidez de limpieza sobre una plancha vieja y una nueva respectivamente. Se puede apreciar que con un mismo volumen para las dos, la plancha nueva tiene un rendimiento 4 veces mayor que la vieja, lo cual era de esperarse ya que la plancha vieja está llena de pintura, incrustaciones marinas, etc. lo que impide una limpieza rápida en comparación con una nueva que solo viene con calamina.

Finalmente se observa la influencia del ángulo de ataque sobre la rapidez de pérdida de masa para los tres tipos de arena. Se obtuvo como resultado que la arena de cuarzo grueso fué la que más rápido limpió la superficie y en especial a un ángulo de  $75^\circ$  a  $80^\circ$ . Pero la influencia de la distancia de la boquilla a la superficie influye más que el ángulo de impacto, si se observa la cantidad de pérdida de masa para ambos casos, por lo que en definitiva la importancia recae en la distancia y por lo tanto se toma a la arena de cuarzo fino como la mejor para todos los casos.

### 3.2 COSTO DE OPERACION

En base al consumo energético desarrollado por el equipo de Astinave ( el cual se trabajó a una presión aproximada de  $7 \text{ Kg/cm}^2$  con un compresor de 75 HP, y

con el dato obtenido de la tabla VII en la cual el rendimiento de limpieza es de 9.3 mt<sup>2</sup> en 33.6 minutos lo que se dá como resultado que por cada metro cuadrado de área el equipo tarda 3.61 minutos) se puede lograr el costo de operación del mismo.

Así se tiene que :

$75 \text{ HP} * 746 \text{ vat} / 1 \text{ HP} * 1 \text{ Kvat} / 1000 \text{ vat} * 3.61 \text{ min.}$

$* 1 \text{ h} / 60 \text{ min} = 3.366 \text{ Kvat} - \text{ hora.}$

Actualmente, el kilovatio - hora vale aproximadamente S/. 20 lo que quiere decir que el costo final de operación es de:

S/. 67.32

### 3.3 CONTROL CON PATRONES NORMALIZADOS

El control de las superficies arenadas se la realiza mediante comparación con patrones normalizados (fotos visuales ) tal como se observa en las figuras NO 19, 20, 21 y 22.

Cada una de estas fotos representan los patrones a los que se debe de llegar con las superficies que son arenadas. En base a estos patrones se llegó a los resultados ya anotados en el capítulo II ( prueba experimental ) para cada una de las probetas ensayadas con los tres tipos de arena en cuestión.

### 3.4 EVALUACION DEL PARAMETRO MAS IMPORTANTE PARA OBTENCION DEL PATRON

De acuerdo a los resultados que se obtuvo en la prueba experimental, en la cual se varió parámetros tales como el tiempo de ataque, distancia de la boquilla a la superficie, ángulo de impacto y el tipo de arena , se llega a verificar que fué éste último el que más influyó en la obtención de acabados superficiales óptimos ya que con la arena de tipo cuarzo fino con diámetros de partículas en el rango de 0.8 mm. a 1.5 mm. se llegó a obtener metal blanco que es el grado superficial más importante debido a que cumple con todas las exigencias recomendadas por los fabricantes de pinturas para lograr una perfecta adherencia de la pintura a la superficie.

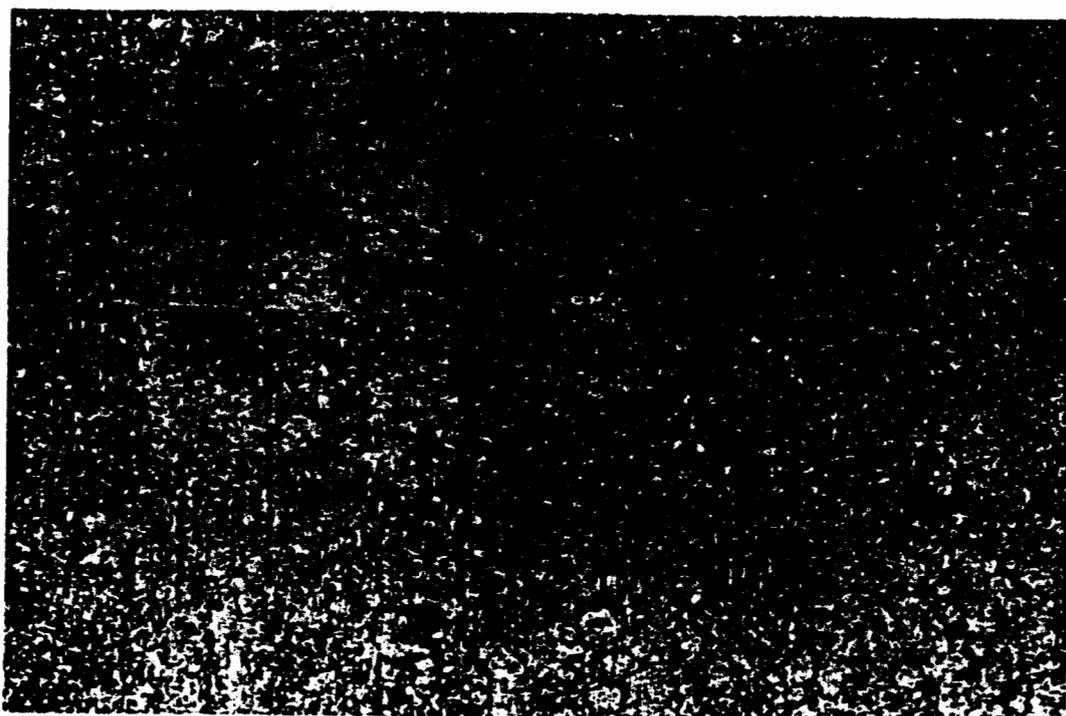


Fig. Nº 19.- Patrón normalizado BSa1.



Fig. Nº 20.- Patrón normalizado BSa2.

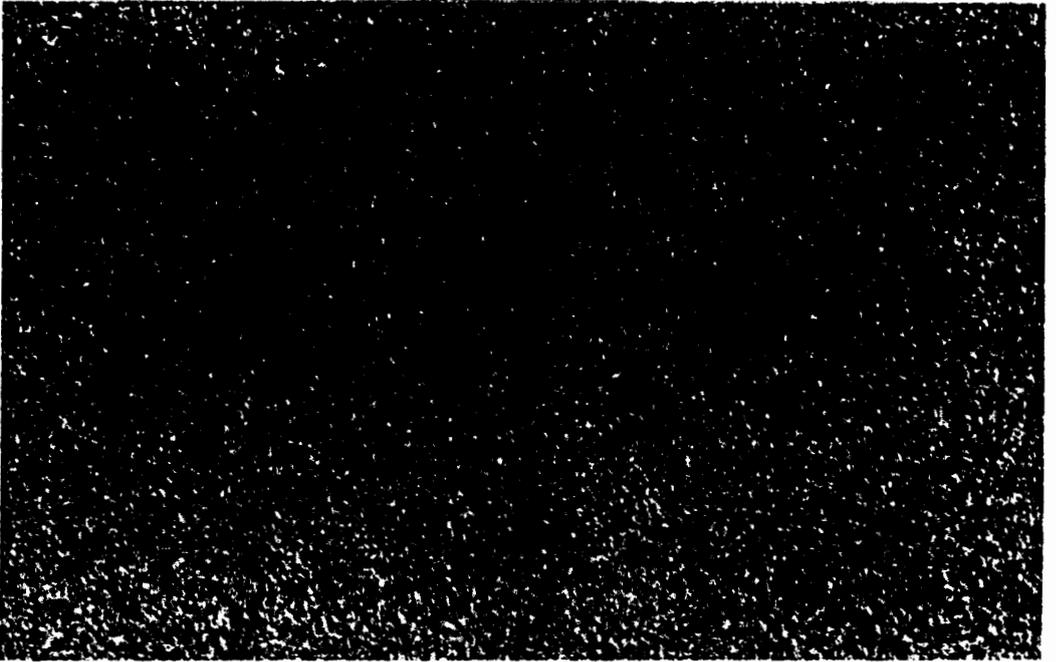


Fig. Nº 21.- Patrón normalizado BSa2 1/2.

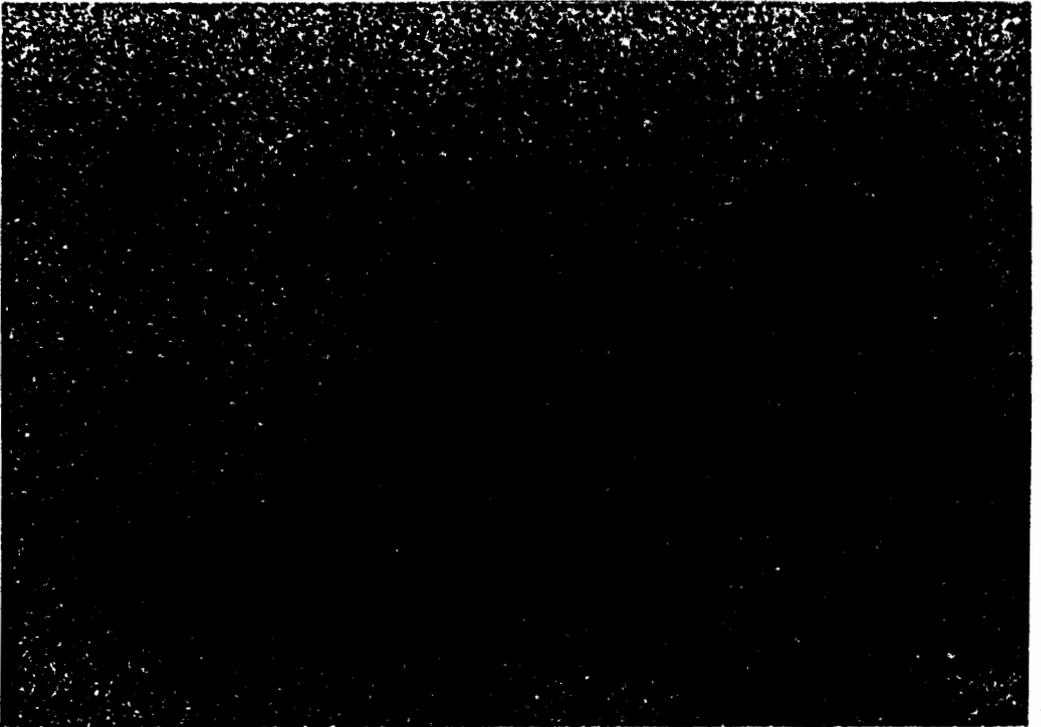


Fig. Nº 22.- Patrón normalizado BSa3.

### 3.5 COMPARACION DE CALIDAD, FACILIDAD Y COSTOS ENTRE EL CHORREADO POR ARENA Y EL GRANALLADO

Vale la pena presentar una comparación entre estos dos mecanismos que tienen la misma finalidad valiéndose de datos obtenidos por la granalladora centrífuga de la ESPOL y el equipo de arenado de ASTINAVE, para tener una idea sobre las ventajas y desventajas que existen entre ellas.

En cuanto a la calidad, ambas alcanzan metal blanco cuando se trabaja de la mejor manera y con los parámetros óptimos, aunque el tiempo en alcanzar el SSP5 (metal blanco) es menor cuando se utiliza la granalladora centrífuga.

Hay una ligera ventaja en cuanto a granallado en lo que se refiere al proceso de reciclamiento ya que sí es factible hacerlo, lo que generalmente no ocurre con la arena ya que esta se convierte en polvo en su gran mayoría.

En lo que se refiere a la facilidad, el equipo de granallado es fijo lo que representa una limitación en el proceso, lo que no ocurre en un equipo de arenado que es móvil y por ende es más utilizado en lugares

como los astilleros navales, sitios en los cuales la máquina de arenado puede trasladarse de un lado a otro sin ningún problema.

Para la comparación de los costos, se han tomado valores obtenidos del proyecto de grado de Norman Reyes que realizó el estudio de la granalladora centrífuga. Para el proceso de arenado, se obtuvo que el costo final de operación fue de \$ 67.32 lo que resulta más oneroso con relación al proceso de granallado en el cual se gasta \$ 53.8 para limpiar un metro cuadrado de superficie.

## CONCLUSIONRS

- 1.- La mejor clase de arena para la obtención del acabado superficial a metal blanco es aquella del tipo mezcla de arena de río más cuarzo tamizado bajo las mallas # 16 y # 30 ( con las cuales se obtiene un tamaño de diámetro en el rango de 0.8 mm a 1.5 mm ), ya que mientras la arena de río cuyas partículas son esféricas limpian por impacto , la arena de cuarzo que son partículas angulares limpian por corte, dando ésta mezcla óptimas condiciones para lograr una excelente limpieza superficial.
- 2.- Si no se trabaja con éste tipo de mezcla, no se llegará a obtener SSP5 por más que se aumente el tiempo de impacto, se disminuya la distancia de la boquilla a la superficie o se varíe el ángulo de impacto sobre la superficie, tal como sucede en las instalaciones de ASTINAVE, razón por la cual se alcanza solamente a "metal casi blanco".
- 3.- Así mismo, el beneficio logrado con el tipo de arena antes descrito se extiende hacia la rugosidad que se logra al trabajar con ella, evitando un desperdicio de pintura en unos casos y la falta de recubrimientos en otros.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda utilizar un casco de seguridad para suministro de aire con purificador para evitar el contacto con el sílice contenido en la arena ya que es un material altamente nocivo. Junto con el casco hay otros elementos adicionales tales como gafas, tapones, guantes , caretas protectoras de plástico transparentes, etc.
  
- 2.- Antes de arenar, debe eliminarse la humedad, el aceite y la grasa. Después de arenar debe eliminarse todo residuo de abrasivo , ya sea con un cepillo, con aire a presión o por aspiración a vacío.
  
- 3.- Se debe de trabajar siempre con equipos altamente confiables tales como el compresor en buen estado de tal forma que nos genere una presión de salida entre 95 y 110 psi, para evitar problemas que tienden a ocurrir por éste motivo; una boquilla con las dimensiones adecuadas, es decir guardando siempre la relación que se debe tener entre los diámetros de entrada, salida y garganta y también la longitud de la misma. Se prefieren a aquellas de tipo convergente-divergente construidas de material

cerámico. Hay otros elementos también importantes tales como un tanque de almacenamiento de aire suficientemente grande, máquinas de arenado portátiles, mangueras gruesas y con acoplamientos externos, filtros de aceite y humedad etc.

- 4.- Para evitar la obstrucción de la arena al paso por la boquilla, se recomienda trabajar con arena totalmente seca. En caso de utilizar el arenado húmedo para evitar polvos, se debe agregar inhibidores al agua para evitar la corrosión.

## BIBLIOGRAFIA

1. H.J. Plaster, Blast Cleanning and Allied Processes, Vol. 1 (Great Britain, 1972).
2. SSPC (steel structures painting council), Surface Preparation Specification, (2da. Edición, Pittsburg USA 1971).
3. R. Dueñas, Diseño y Construcción de un Equipo de Arenado Industrial, (Tópico de Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, 1989).
4. G.E. Weismantel, Paint Handbook; (New York, Mc. Graw Hill, 1981)
5. Annual Book of ASTM STANDARS, Vol. 27, (Philadelphia Annual Book, 1979)
6. HEMPHEL DENMARK; Manual de Pinturas Marinas; 1980
7. NACE (NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS) Grades of Surface Preparation, HOUSTON, TEXAS; 1975
8. AISC (AMERICAM INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC); Manual of Steel Construction; quinta edición
9. S. Feliu y M. Morcillo, Corrosión y Protección de los Metales en la Atmósfera, 1982
10. N. Reyes, Obtención de Patrones Superficiales mediante Granallado Centrifugo, (Tópico de Facultad de Ingeniería Mecánica, ESPOL, 1970)