

7-UES
1503
A9732
2000
Ej. 2

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**



**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA
PROCESOS DE LIMPIEZA MECANICA DE SUPERFICIES,
CON CHORRO DE ABRASIVO”**

PRESENTADO POR :

RODOLFO DE LA PAZ AYALA MONTES *dobaracito*
JOSE MAXIMILIANO MORALES ORANTES

**PARA OPTAR AL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO**

15100771



4733

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DEL 2000

Recibido el 21 de febrero 2000

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA

:

Dra. MARIA ISABEL RODRIGUEZ

SECRETARIA GENERAL:

Licda. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

Ing. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

SECRETARIO

:

Ing. SAUL ALFONSO GRANADOS

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



DIRECTOR

:

Ing. JOSE FRANCISCO ZULETA MORATAYA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**



**Trabajo de graduación previo a la opción de:
INGENIERO MECANICO**

Título :

**“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA
PROCESOS DE LIMPIEZA MECANICA DE SUPERFICIES,
CON CHORRO DE ABRASIVO”**

Presentado por :

**RODOLFO DE LA PAZ AYALA MONTES
JOSE MAXIMILIANO MORALES ORANTES**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Coordinador :

ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

Asesor :

ING. RIGOBERTO VELASQUEZ PAZ

San Salvador, Febrero del 2000



Trabajo de graduación aprobado por:



Coordinador

:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Alvaro Orantes", written over a horizontal line.

ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

Asesor

:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Rigoberto Velasquez Paz", written over a horizontal line.

ING. RIGOBERTO VELASQUEZ PAZ

INDICE

	Pág.	
Introducción	i	
Objetivos	1	
CAPITULO I		
Procesos de manufactura, con chorro de abrasivo y elementos del equipo de sandblasting.....		3
1.1 Maquinado con chorro de abrasivo	4	
1.2 Limpieza con chorro de abrasivo	10	
1.3 Componentes del equipo de sandblasting	14	
1.3.1 Cámara de disparo	14	
1.3.2 Tolva para coleccionar el abrasivo	14	
1.3.3 Abrasivos	17	
1.3.4 Sistema de iluminación	21	
1.3.5 Pistola para lanzar el abrasivo	23	
1.3.6 Colector de polvo	23	
1.4 Materiales de fabricación del equipo de sandblasting	25	
1.4.1 Materiales de fabricación para la cámara de disparo	25	
1.4.2 Materiales de fabricación para la tolva para coleccionar el abrasivo	26	
1.4.3 Materiales de fabricación para la pistola para lanzar el abrasivo	26	

CAPITULO II

Diseño de los elementos del equipo de sandblasting	28
2.1 Diseño de la cámara de disparo	28
2.2 Diseño de la tolva para coleccionar el abrasivo	40
2.3 Diseño de la pistola para lanzar el abrasivo	45
2.4 Parámetros para la selección del colector de polvo	60
2.5 Selección de materiales y cálculo del peso de la estructura del equipo	63
2.5.1 Selección de materiales y cálculo del peso de la estructura de la cámara de disparo	64
2.5.2 Selección de materiales y cálculo del peso de la estructura de la tolva	77

CAPITULO III

Cálculo del sistema de suministro de aire	82
3.1 Selección de la capacidad del compresor	82
3.2 Determinación del tamaño del acumulador	83
3.3 La calidad del aire	84
3.4 Selección del diámetro de la tubería para el suministro de aire	85
3.5 Selección de los accesorios del sistema de suministro de aire	86

CAPITULO IV

Selección de los accesorios del equipo de sandblasting	89
4.1 Listado de los accesorios constitutivos del equipo	90

CAPITULO V

Investigación y selección de arenas de origen

local para usos en procesos de sandblasting	91
5.1 Origen y características generales de las arenas locales	91
5.2 Selección y listado de las arenas obtenidas	93
5.3 Características fisicoquímicas a determinar en las arenas obtenidas	94
5.4 Resultados del análisis del tamaño de los granos de las arenas obtenidas	100
5.5 Resultados del análisis de la forma de los granos de las arenas obtenidas	103
5.6 Resultados del análisis químico de las arenas obtenidas	105

CAPITULO VI

Procesos de fabricación de los elementos diseñados y costo

del equipo de sandblasting	113
6.1 Proceso de fabricación de los elementos del equipo	113
6.2 Determinación de costos de fabricación del equipo	133

CAPITULO VII

Pruebas del equipo de sandblasting	139
7.1 Pruebas de funcionamiento del equipo	139
7.2 Pruebas de la acción abrasiva de las arenas obtenidas	140

CAPITULO VIII

Elaboración de manuales de operación y mantenimiento del equipo

de sandblasting	143
8.1 Manual de operación del equipo	143
8.2 Manual de mantenimiento del equipo	145
8.3 Precauciones y normas de seguridad	149
Conclusiones	150
Recomendaciones y Observaciones	151
Bibliografía	153
Anexos	156

INTRODUCCION

El avance de la tecnología lleva a la fabricación de nuevos equipos que utilizan como fuente de energía el aire comprimido, por lo tanto, es necesario conocer las aplicaciones que tiene el aire comprimido en la industria nacional y es de suma importancia que todo Ingeniero Mecánico pueda utilizar adecuadamente el principio de generación de aire comprimido a aplicarlo como una herramienta adicional en la solución de problemas.

En nuestro país, el sector industrial frecuentemente se enfrenta a un problema muy común, el cual consiste en limpiar piezas para eliminar o remover cualquier cuerpo extraño adherido a la superficie. El presente trabajo de graduación, plantea una solución a este problema, a través del diseño y construcción de un prototipo para limpieza con chorro de abrasivo, de costo relativamente bajo, planteándose a la vez la utilización de arenas locales como material abrasivo.

En el capítulo I se presentan los principios y conceptos que respaldan científica y técnicamente el trabajo. En el capítulo II se presenta el diseño del equipo.

En el capítulo III se establecen todos los componentes del sistema de suministro de aire. En capítulo IV se presenta el listado de los accesorios constitutivos del equipo. El capítulo V comprende la investigación sobre las arenas de nuestro país para usos en procesos de sandblasting.

El capítulo VI incluye el proceso de fabricación y el costo del equipo. En el capítulo VII se presentan las pruebas realizadas con el equipo. En el capítulo

VIII se presentan los manuales de operación y mantenimiento del equipo y finalmente, las respectivas conclusiones y las recomendaciones y observaciones del estudio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar y construir un equipo para procesos de limpieza mecánica de superficies, con chorro de abrasivo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Investigar y determinar los fundamentos teóricos básicos que permitan realizar el diseño del equipo.
- Identificar y conocer el funcionamiento de los elementos del equipo.
- Aplicar conocimientos de materiales de ingeniería, diseño de sistemas fluidomecánicos, procesos de fabricación y otros, a este caso particular.
- Realizar un diseño sencillo, factible de fabricar con la tecnología existente a nivel nacional.
- Establecer un listado de los accesorios constitutivos del equipo.
- Investigar y determinar los tipos de abrasivos existentes que puedan ser utilizados por el equipo.

- Investigar y analizar la factibilidad de usar las arenas de origen local como medio abrasivo en procesos de sandblasting.
- Establecer el proceso de fabricación del equipo.
- Establecer el costo total de fabricación del equipo.
- Realizar las pruebas del equipo.
- Establecer y recomendar las arenas que ofrecen mejores resultados en procesos de sandblasting.
- Elaborar los manuales de operación y mantenimiento del equipo.
- Ubicar un manual de operación y mantenimiento en un costado del equipo para que sirva a los usuarios del mismo.

CAPITULO I

PROCESOS DE MANUFACTURA, CON CHORRO DE ABRASIVO Y ELEMENTOS DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

La tendencia general en la manufactura, ha sido hacia el perfeccionamiento de procesos sin virutas para maquinar y limpiar superficies difíciles de trabajar con los procesos convencionales. Se han creado procesos nuevos y están en uso industrial con máquinas disponibles en el mercado. Otros procesos todavía están en la etapa de desarrollo. Los procesos en uso actual son el maquinado con chorro de abrasivo y la limpieza con chorro de abrasivo. Estos procesos se llaman también sin desprendimiento de virutas, porque no hay contacto entre la herramienta de corte y la superficie y no se forman virutas como en los métodos convencionales.

Con respecto a los elementos básicos que forman parte del equipo, podemos mencionar los siguientes: la cámara de disparo, que es el medio donde se ejecuta el proceso; la boquilla que es el medio de disparo y el abrasivo que es lo que impacta con la pieza de trabajo. Además, es de tener en consideración los materiales de que están hechos estos componentes, principalmente de la boquilla, que es la zona dentro del equipo, donde se da la primera acción abrasiva.

1.1 MAQUINADO CON CHORRO DE ABRASIVO

El maquinado con chorro de abrasivo es similar, en muchos aspectos, a la limpieza con chorro de abrasivo. Pero la diferencia está en el abrasivo utilizado, en los controles de la acción abrasiva y en que este proceso puede ser realizado con velocidades comprendidas en el rango establecido para la limpieza con chorro de abrasivo y también, con velocidades mucho menores a éstas. La remoción de material se basa en la acción erosiva o abrasiva del producto abrasivo. El proceso es sencillo. Los granos de abrasivo de tamaño, forma y tipo predeterminados, se impulsan con una corriente de aire comprimido a alta velocidad (de 900 a 18,000 m/min) a través de una boquilla contra la superficie de trabajo. Cuando el abrasivo hace contacto con la superficie, se producen el desprendimiento y arrastre de partículas de la pieza de trabajo (Fig. 1.1).

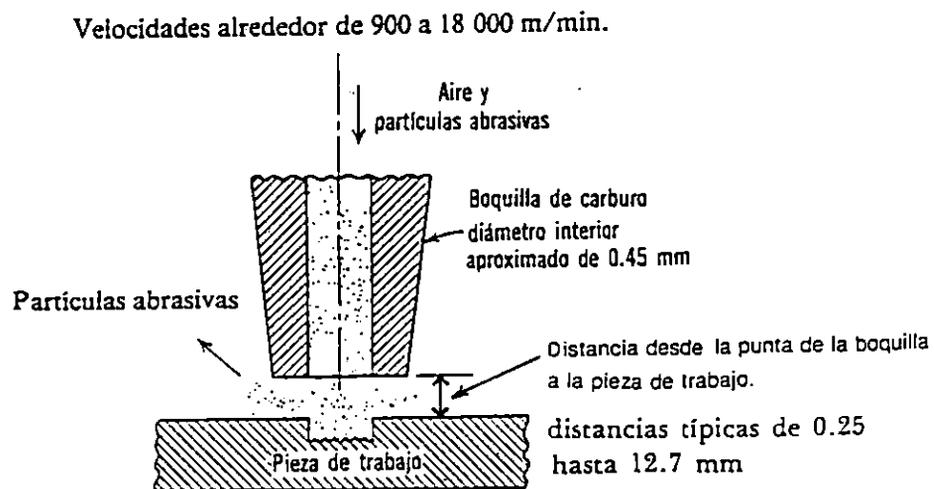


Figura 1.1 Proceso de corte con chorro de abrasivo.

Esto produce el maquinado básico del material. El único contacto entre la pieza de trabajo y la herramienta (abrasivo) es entre los granos de abrasivo y la

superficie. Por tanto, cuando se remueve material, no se producen virutas sino partículas de polvo a las cuales arrastra el aire comprimido.

La composición, tamaño, forma y dureza así como el volumen de abrasivo son variables críticas en el proceso. Los dos abrasivos más utilizados son el óxido de aluminio y el carburo de silicio; también se usan otros abrasivos para limpieza y pulimento, como la dolomita y el carbonato de sodio. El tamaño de los granos de abrasivo varía entre 15 y 40 micras, que se considera como polvo. Los granos de abrasivo deben ser con aristas y no redondos. El volumen de circulación de abrasivo está relacionado con la presión del aire y la rapidez de remoción de material. En la figura 1.2 se ilustra la relación entre el volumen de abrasivo, tamaño de los granos, composición y velocidad de remoción del material.

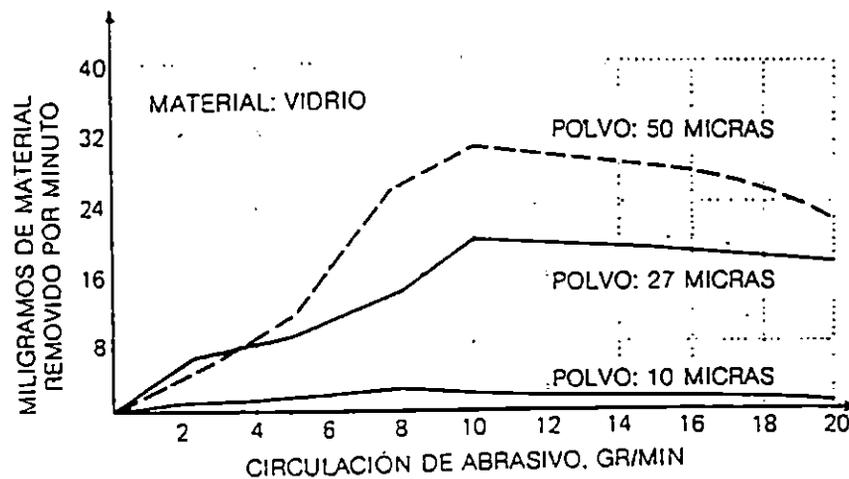


Figura 1.2 Relación entre el volumen de circulación, tamaño de grano de abrasivos y velocidad de remoción en el vidrio.

El material, tamaño, geometría y distancia desde la punta de la boquilla también son factores críticos. Las boquillas, casi siempre, se hacen con carburo de tungsteno o zafiro. El orificio de la boquilla puede ser redondo o rectangular, con

diámetros desde 0.177 hasta 0.182 mm (0.007 a 0.032 pulg); los rectangulares pueden medir entre 0.076 x 0.508 mm (0.003 x 0.020 pulg) y 0.508 x 0.660 mm (0.020 x 0.026 pulg). Las boquillas están montadas en cabezas en ángulo o rectas (Figura 1.3). La duración promedio de la boquilla de carburo de tungsteno es entre 12 y 30 horas y hasta 300 horas para las de zafiro.

ORIFICIO REDONDO (Pulg)	MATERIAL	ORIFICIO RECTANGULAR (Pulg)	MATERIAL
.007 DIÁMETRO	CARBURO	.003 X .020	CARBURO
.008 DIÁMETRO	ZAFIRO	.006 X .020	CARBURO
.011 DIÁMETRO	CARBURO	.006 X .060	CARBURO
.018 DIÁMETRO	CARBURO	.006 X .075	CARBURO
.018 DIÁMETRO	ZAFIRO	.006 X .100	CARBURO
.026 DIÁMETRO	CARBURO	.007 X .125	CARBURO
.026 DIÁMETRO	ZAFIRO	.010 X .030	CARBURO
.032 DIÁMETRO	CARBID	.026 X .026	CARBURO

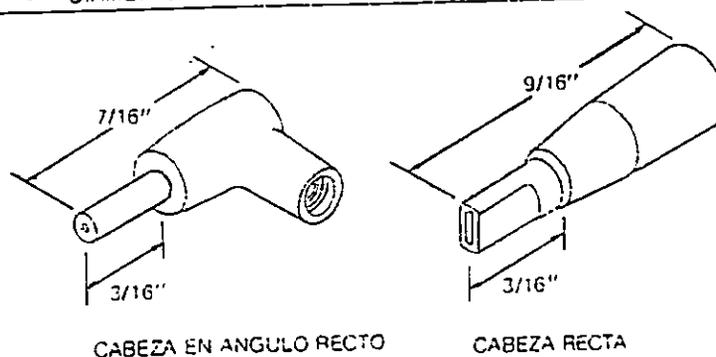


Figura 1.3 Tipos, tamaños y materiales para las boquillas utilizadas en el maquinado con chorro de abrasivo.

La distancia desde la punta de la boquilla hasta la pieza de trabajo influye en la rapidez de remoción de material y el diámetro de corte. El chorro de abrasivo, al salir de la boquilla y hasta 1.52 mm (0.060 pulg) de la punta, es cilíndrico, pero después se abre en abanico si la distancia es más grande. Se emplean distancias típicas de 0.25 hasta 12.7 mm (0.010 a 0.500 pulg). En la figura 1.4 se ilustra la relación entre el diámetro del corte y la distancia desde la punta de la boquilla.

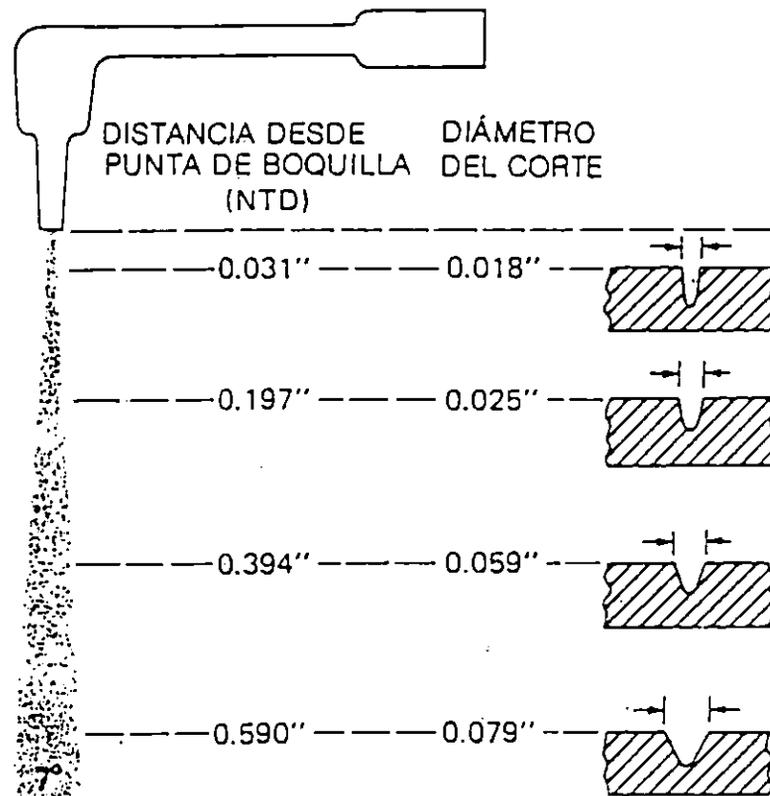


Figura 1.4 Relación entre el diámetro de corte y distancia desde la punta de la boquilla a la pieza de trabajo.

La remoción de material con chorro de abrasivo se efectúa con la máquina ilustrada en la figura 1.5. La máquina es del tipo de banco, que consta de la unidad para abrasivo, colector de polvo, cámara de escape, compresor de aire y filtro de aire.

El maquinado con chorro de abrasivo se utiliza para cortar y conformar materiales duros como vidrio, cuarzo, zafiro y mica (Fig. 1.6a). Puede utilizarse para taladrar y cortar secciones delgadas de materiales difíciles de trabajar con herramientas convencionales (Fig. 1.6b). También se utiliza el proceso para tallar y esmerilar vidrio grabado, pulimento y limpieza de materiales metálicos y no metálicos.

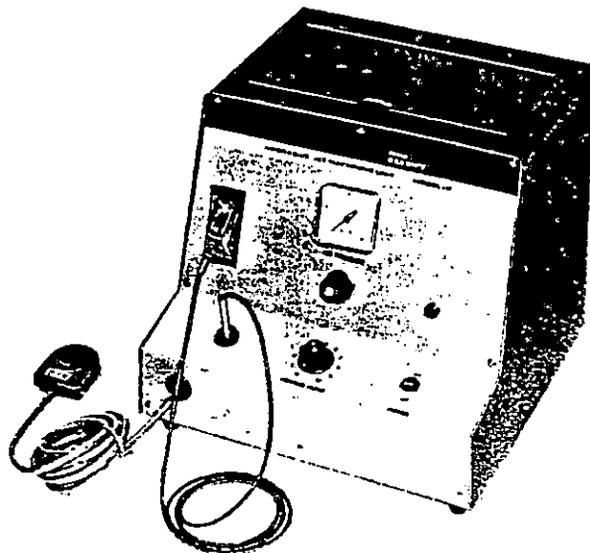
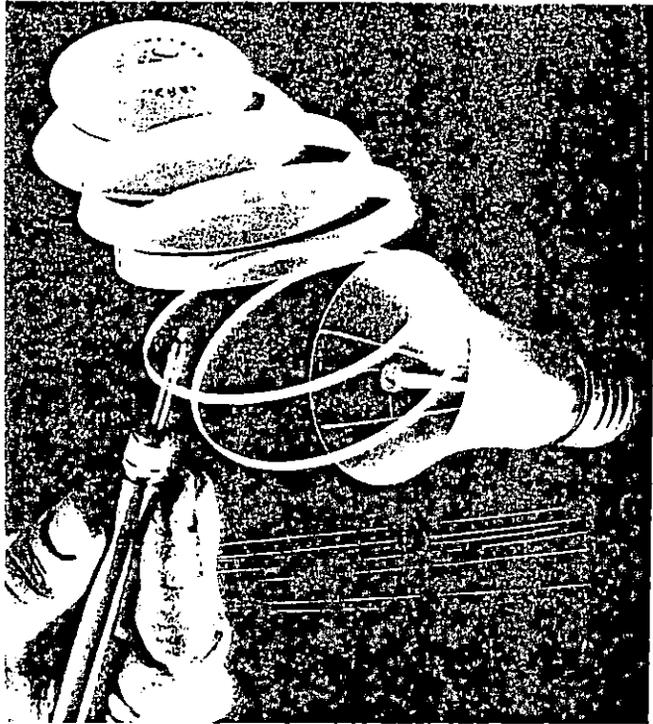


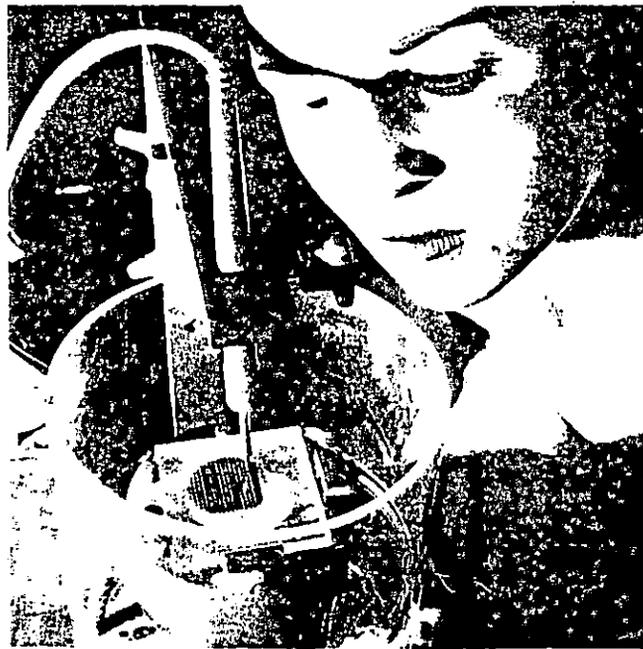
Figura 1.5 Unidad Air-brasive típica de un sistema para maquinado con chorro de abrasivo.

Las limitaciones básicas del proceso son:

- 1) Poca cantidad de remoción de material, que solo justifica el proceso para materiales difíciles o imposibles de trabajar por otros métodos;
- 2) El enclavamiento de los granos de abrasivo en el material, lo cual requiere limpieza cuidadosa al final del trabajo;
- 3) Corte de gran conicidad en material grueso o en agujeros profundos.



(a)



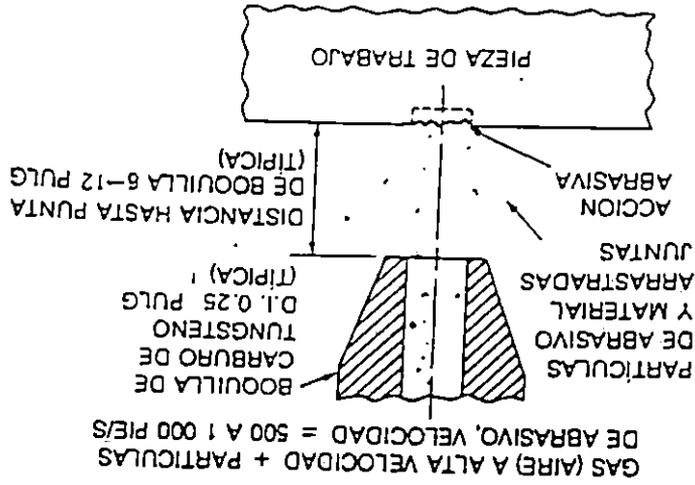
(b)

Figura 1.6. Dos aplicaciones típicas del maquinado con chorro de abrasivo, con boquilla de cabeza recta. (a) corte de vidrio; (b) maquinado de una rejilla en material delgado, quebradizo.

1.2 LIMPIEZA CON CHORRO DE ABRASIVO

La limpieza con chorro de abrasivo es uno de los procesos de limpieza mecánica más importante, ya que es un método rápido y efectivo que permite limpiar superficies, difíciles de trabajar con los procesos convencionales. Este proceso de limpieza tiene muchos usos en la industria, por ejemplo para eliminar la arena de las piezas de fundición, las costras de las piezas con tratamiento térmico, la herrumbre, pinturas viejas, depósitos de carbón y otros cuerpos extraños. Se emplea también como acabado para dejar superficies ásperas para aplicar pintura o material protector y pegamentos; también para eliminar irregularidades en la superficie y producir acabados mates, en especial en materiales blandos. La limpieza con chorro de abrasivo se efectúa al lanzar las partículas de abrasivo seco, con una corriente de aire comprimido a presión y alta velocidad (de 500 a 1000 pies/s) a través de una boquilla contra la superficie de la pieza de trabajo. Luego el abrasivo impacta con la superficie de la pieza, sea para limpiarla o darle el acabado (fig. 1-7). Cuando se realiza este proceso, se producen partículas de polvo, las cuales son succionadas por el colector de polvo.

Figura 1.7 Boquilla y proceso de limpieza con chorro de abrasivo.



El abrasivo puede lanzarse sea por fuerza centrífuga o con aire comprimido. La fuerza centrífuga puede producirse con una rueda de aspas motorizada (Fig. 1.8); este proceso se ha vuelto más popular porque puede ser semiautomático o automático para grandes volúmenes de producción. La limpieza con aire comprimido es manual o semiautomático y se emplea más en talleres de reparación o para producción limitada; es ideal para piezas pequeñas y medianas con formas complejas (fig. 1-9).

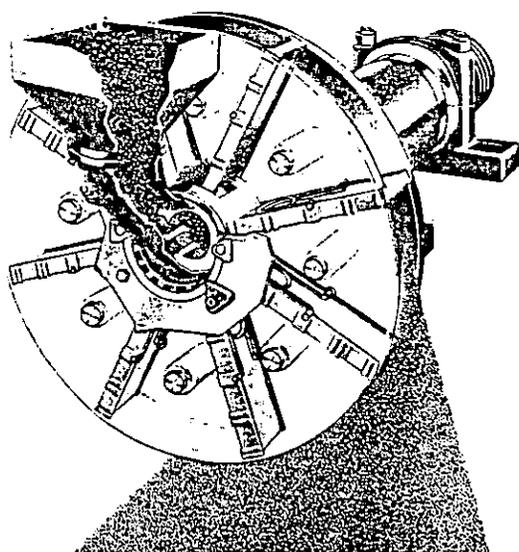


Figura 1.8 Abrasivos secos lanzados por una rueda centrífuga de aspas.



Figura 1.9 Limpieza manual con chorro de abrasivo seco, en una cámara especial. El operario necesita equipo protector.

En general, la limpieza con chorro de abrasivo es un proceso económico en términos de reducción de horas de trabajo, de inversión en equipo y por la recuperación del abrasivo. Se utilizan muchos abrasivos naturales y sintéticos.

Entre los tipos más comunes están perdigones de acero, escoria, óxido de aluminio, carburo de silicio, cuentas de vidrio y arena. Con cualquiera de estos abrasivos que se utilice debe considerarse la seguridad del operador, sin embargo, la arena o cualquier otro abrasivo puede usarse sin riesgo para el operador, cuando las partes son suficientemente pequeñas para manipularse en el interior de una cámara diseñada apropiadamente para este propósito, provista con un colector de polvo.

A continuación se presentan ciertos factores que es importante tenerlos en cuenta a la hora de realizar este proceso y que también, pueden ser la base principal para realizar el diseño de estos equipos. La presión de aire para aplicación es entre 2.8 y 5.6 Kg/cm² (40 y 80 lb/pulg²). La distancia desde la boquilla hasta la superficie de la pieza debe ser entre 15 y 30 cm (6 y 12 pulg); la velocidad de limpieza del chorro de abrasivo puede variar con el ajuste de la distancia desde la punta de la boquilla, el volumen de abrasivo y la presión de aire; pero para su aplicación es entre 500 y 1000 pie/s. El ángulo del chorro varía entre 30° y 90°, y los caudales para trabajo normal varían entre 12 y 25 pie³/min y para trabajo pesado varían entre 100 y 900 pie³/min. La cantidad de abrasivo queda a opción del usuario. En ocasiones pueden ocurrir daños en la superficie de las piezas por el chorro de abrasivo; por ello se debe tener cuidado de usar el equipo y procedimientos, velocidad y dirección del chorro de abrasivo especificados. Por la posibilidad de daños con el chorro de abrasivo, no siempre es el proceso ideal para piezas con exigencias críticas de acabado de superficie y tolerancias dimensionales. No se debe usar en engranajes o piezas roscadas o en piezas que tienen rebajos profundos, cavidades e interiores ciegas, en secciones tubulares ni en secciones delgadas.

La limpieza con chorro de abrasivo se efectúa con el equipo ilustrado en la figura 1-10. El equipo es del tipo de piso, que consta de la cámara de disparo, que a su vez contiene la unidad para abrasivo; el regulador de presión de aire, el colector de polvo y en el interior de la cámara, se aloja la pistola que se usa para lanzar el abrasivo. A este equipo habría que agregar el compresor de aire, que es la fuente de energía que se necesita para que el equipo funcione.

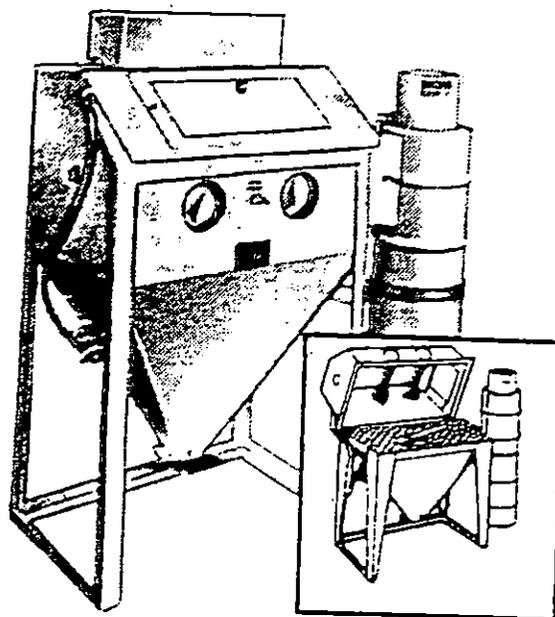


Figura 1.10 Equipo típico para limpieza con chorro de abrasivo.

Las boquillas utilizadas para este proceso, casi siempre se fabrican con carburo de tungsteno, carburo de boro o de acero al carbono que sea resistente al desgaste y abrasión. El orificio de la boquilla normalmente es redondo; con diámetro desde 6.35 hasta 11.1125 mm (0.25 a 0.4375 pulg). Las boquillas están montadas en el cuerpo de la pistola con la cual se lanza el abrasivo (fig. 1.11). La duración promedio de la boquilla depende del tipo de abrasivo utilizado y del material de que está fabricada; pero normalmente las de carburo de tungsteno duran unas 200 horas, las de carburo de boro unas 350 horas y hasta unas 50

horas para un acero al carbono resistente al desgaste. Estos promedios de duración de las boquillas pueden ser mayores cuando se utiliza como medio abrasivo la cáscara de nuez y también en alguna medida, cuando se usan arenas naturales.

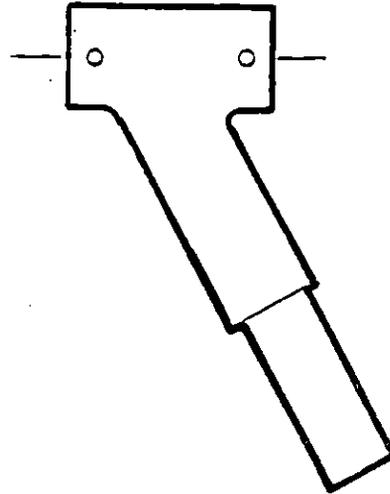


Figura 1.11 Cuerpo de pistola para limpieza con chorro de abrasivo.

1.3 COMPONENTES DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

Cuando hablamos de los componentes del equipo, nos referimos básicamente a los elementos constitutivos de dicho equipo; es decir, los componentes propios del equipo, siendo estos, la cámara de disparo, la tolva colectora de abrasivo, el sistema de iluminación para el interior de la cámara, la pistola para lanzar el abrasivo y el colector de polvo. A fin de tener un idea más clara y un mayor conocimiento sobre estos equipos, pasamos a continuación a describir cada uno de estos componentes.

1.3.1 CAMARA DE DISPARO

La cámara de disparo es básicamente el banco de trabajo, donde se realiza el proceso de limpieza. En su interior tiene una mesa de trabajo (parrilla), que permite que el abrasivo pase y se deposite en la tolva. Además, cuenta con un tornamesa para apoyar la pieza de trabajo. También posee un par de guantes de manga larga, que sirven para aislar de la acción abrasiva las manos y antebrazos del usuario, permitiendo así sujetar tanto la pistola como la pieza de trabajo y poder realizar los movimientos necesarios dentro de la cámara de disparo. La introducción de la pieza de trabajo es a través de una compuerta frontal. En la parte superior tiene una lámpara para su iluminación interna y contiguo a la lámpara en la parte frontal, la cámara está provista de una ventana con un pliego de vidrio, que permite el control visual del proceso. En la figura 1.12 se muestra un modelo de cámara de disparo con compuerta lateral, en el cual, se pueden observar los elementos que la conforman.

1.3.2 TOLVA PARA COLECTAR EL ABRASIVO

La tolva es un depósito que se encuentra ubicado por debajo de la cámara de disparo con el objeto de contener y coleccionar el abrasivo utilizado. En la parte interna contiene un tubo sifón, que junto con la manguera que conecta a este tubo con la pistola, se vuelven en el medio de conducción para el abrasivo, hasta que impacta con la pieza de trabajo. En la figura 1.13 se muestra un modelo de tolva coleccionadora de abrasivo.

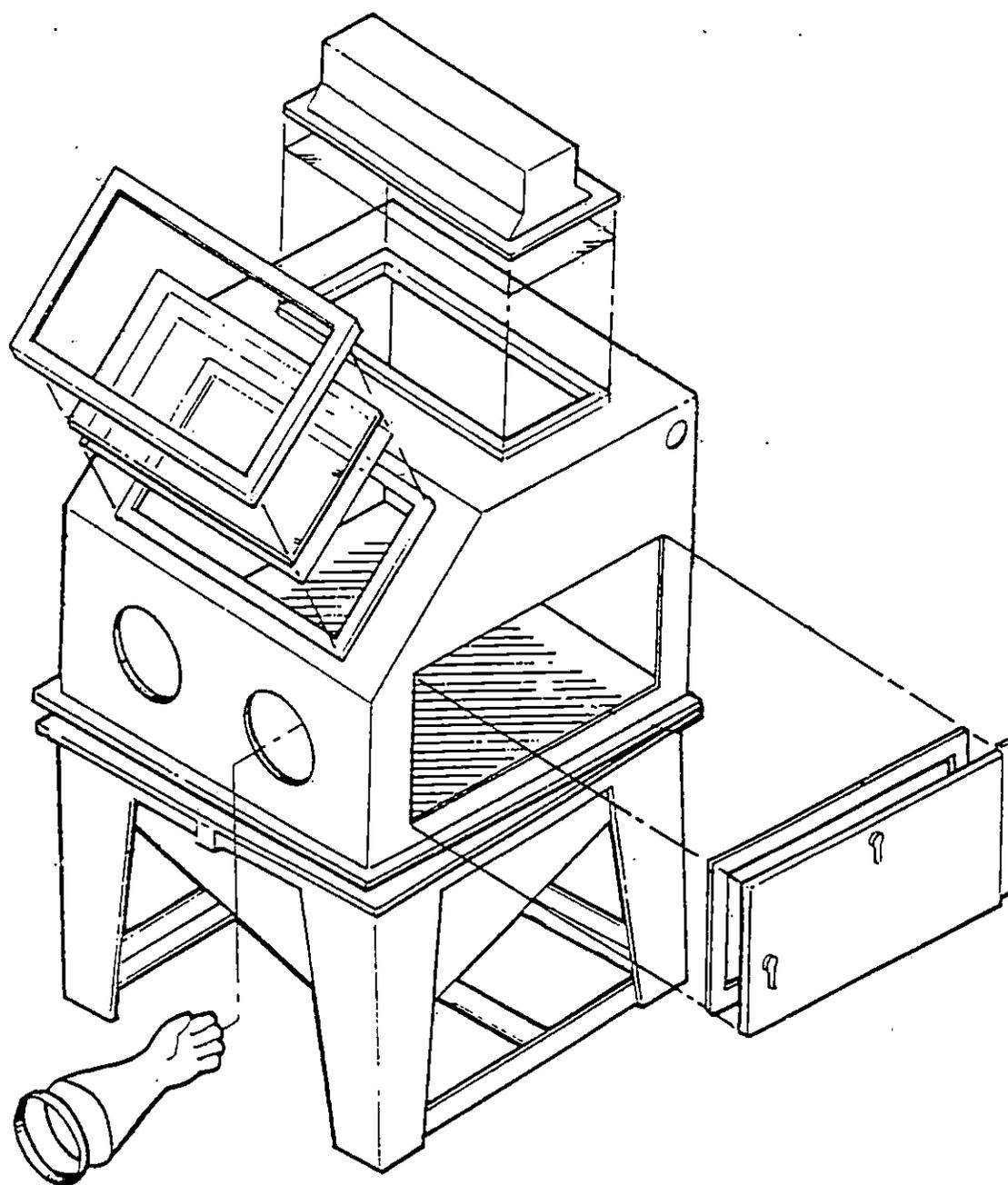


Figura 1.12 Cámara de disparo (Parte superior).

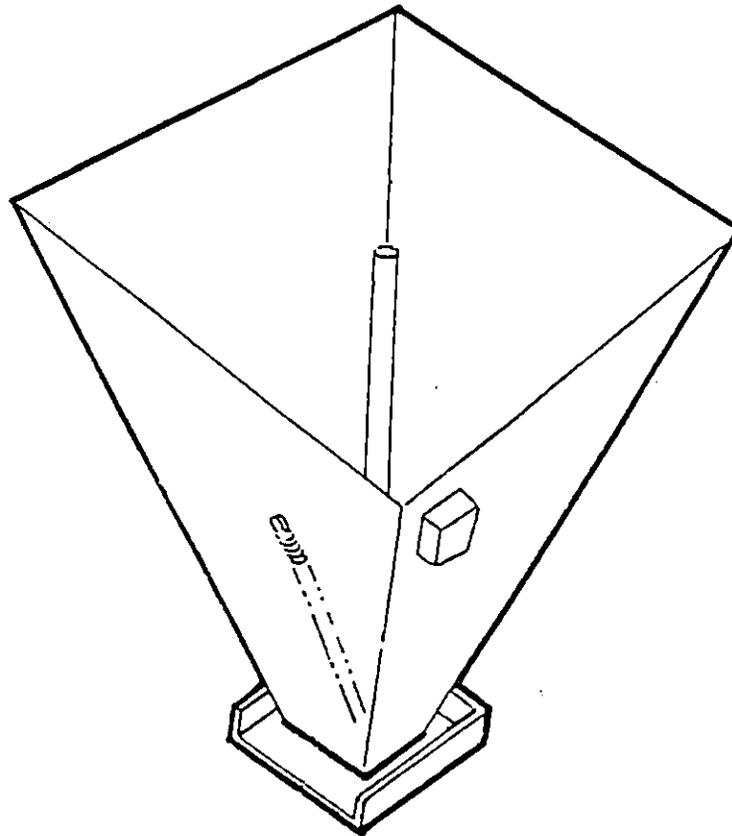


Figura 1.13 Tolva para coleccionar el abrasivo.

1.3.3 ABRASIVOS

El abrasivo es el material que se utiliza como herramienta para efectuar el proceso de limpieza, con chorro de abrasivo; ya que son los granos de abrasivo, los que contactan con la pieza de trabajo. A continuación se presenta una variedad de medios abrasivos que pueden ser usados para limpiezas con chorro a presión.

Oxido de Aluminio

Este abrasivo es ampliamente usado como medio de corte. Se utiliza para realizar grabados sobre superficies que posteriormente serán pegadas. Es excelente para remover materiales pesados, quitar rebabas, escarchas de vidrio y rótulos en

pedra. Es extremadamente rápido para cortar, es reciclable y viene clasificado en varios tamaños para una amplia selección en acabados. Es un medio inerte a los álcalis y a los ácidos y no contiene sílice.

Arenas Vítreas

Este abrasivo es generalmente el medio más comúnmente usado en los procesos de limpieza por los equipos actuales. Es un abrasivo para todo propósito, usado en el rectificado fino, repujado, abrillantado; remoción de rebabas, acabados con tolerancia y limpieza de materiales ligeros tales como el carbón y otros residuos en la superficie de pistones y válvulas. Además, con su base no metálica es capaz de remover o cambiar las dimensiones de la pieza de trabajo, también las fallas o grietas en soldaduras pueden llegar a detectarse por ésta vía. Es un medio químicamente inerte, no contiene sílice, no deja residuos, es reciclable y está disponible en un amplio rango de tamaños.

Arenas Sílicas

Es un medio abrasivo de origen natural y reciclable. Las arenas sílicas se usan para limpiezas rápidas, en aplicaciones donde la remoción de metal y la contaminación de la superficie no es un problema. En nuestro medio, este tipo de abrasivo tiene mucha utilidad, ya que presenta las ventajas de ser de bajo costo y de fácil consecución.

Carburo de Silicio

Es un abrasivo artificial preparado por fusión de coque, arena, sal y aserrín de madera; en hornos eléctricos, es ideal para uso en materiales duros y quebradizos

como la sílice, la cerámica, el cuarzo y carburos cementados. También se usa para decoración en vidrio y para acabados mate (opacos).

Plástico

Este abrasivo es un medio libre de polvo que se prepara con una formulación especial de materiales plásticos que son flexibles, de alta resistencia a la tensión y compresión y tienen una dureza relativamente baja. Se usa en partes plásticas inflamables y limpieza de moldes, carcazas, conexiones electrónicas y tarjetas de circuitos. Este medio puede efectivamente arrancar rebordes en piezas moldeadas, tornillos y piezas no ferrosas de maquinaria.

En la tabla 1-1 se presenta una serie de características de los abrasivos antes mencionados.

Abrasivos	Oxido de Aluminio	Arenas Vítreas	Arenas Sílicas	Carburo de Silicio	Plástico
Características					
Acabado	Alto	Alto	Medio	Medio-alto	Muy-bajo
Limpieza/Remoción	Muy-alta	Baja	Alta	Muy-alta	Baja
Tratamiento superficial	-	-	-	-	-
Limpieza rápida	Alta	Medio	Muy-alta	Muy-alta	Medio-alta
Reusable/Reciclable	Medio-alto	Alto	Alto	Medio-bajo	Medio
Nivel de polvo	Alto	Bajo	Alto	Medio-bajo	Medio
Probabilidad de remoción de metal	Medio-alta	Muy-baja	Medio-alta	Medio-alto	Muy-bajo
Dureza (Escala MOH)*	8-9	5.5	5	9	3-4
Presión Típica del chorro (psi)	20-90	20-55	20-90	20-90	20-60
Tipo de grano (angular o esférico)	Angular	Esférico	Ambos	Angular	Ambos

Tabla 1.1 Características de abrasivos utilizados para limpieza con chorro de abrasivo.

* MOH: Prueba de ralladura ideada por Friedrich Mohs para examinar la dureza de los minerales. La escala consta de 10 minerales estándar, arreglados siguiendo un orden de incremento de dureza, o sea que, el valor de dureza se cuantifica en una escala del 0 al 10.

Además de los abrasivos que se han descrito, existen otros tres tipos de abrasivos que se usan con propósitos especiales.

Arenilla de acero

Con este abrasivo se preparan las superficies de los aceros y de otros productos de las fundiciones para poderlos soldar o unir. Este material abrasivo angular, también es bueno para la limpieza en general de superficies rugosas.

Perdigones de acero

Este abrasivo redondo es perfecto para arrancar costras, pequeñas rebabas y para limpieza en general.

Cáscara de nuez

Limpia y quita rebabas sin rayar o cambiar las dimensiones precisas de las piezas. Este abrasivo es un medio desengrasante que limpia las partes eléctricas, quitándoles herrumbre, asfalto y barnices.

En la figura 1.14 se muestran algunos tipos de abrasivos naturales y sintéticos, preformados y sin formar, utilizados para limpieza con chorro de abrasivo.

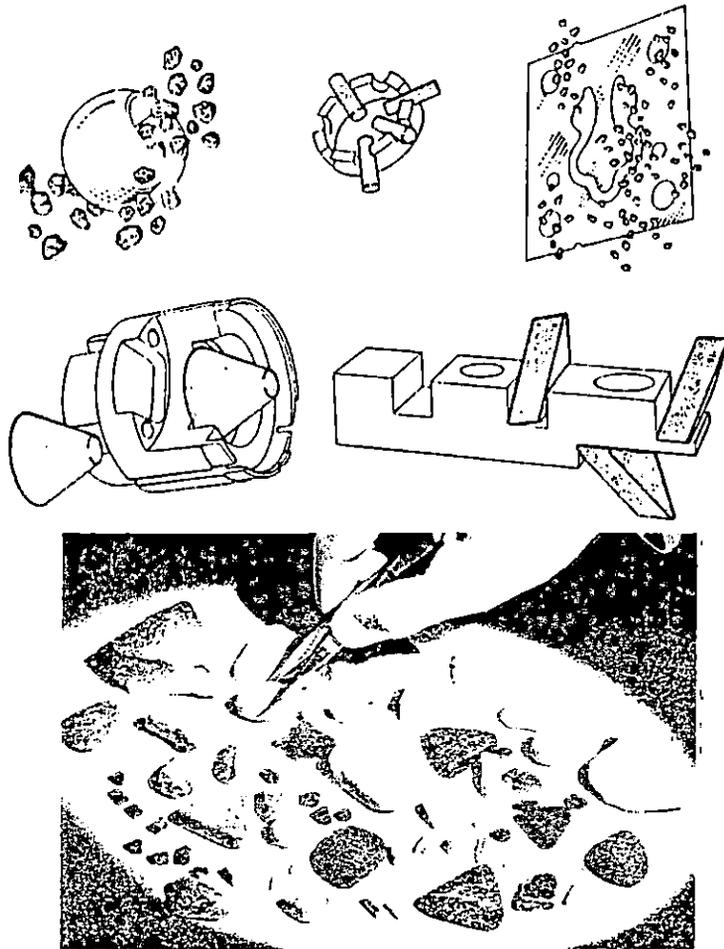


Figura 1.14 Diversos tipos de abrasivos usados para limpieza con chorro de abrasivo.

1.3.4 SISTEMA DE ILUMINACION

El sistema de iluminación no es más que un par de tubos o lámparas fluorescentes pequeñas (24") a 110 voltios, el cual se vuelve necesario para la iluminación interna de la cámara de disparo, a fin de poder ver y controlar el proceso de limpieza que se esté ejecutando. El sistema deberá estar protegido por una placa de plástico rígido transparente, para evitar ser dañado por las partículas de abrasivo que saltan cuando se realiza el proceso. En la figura 1.15 se muestra un diagrama completo del sistema de iluminación del equipo.

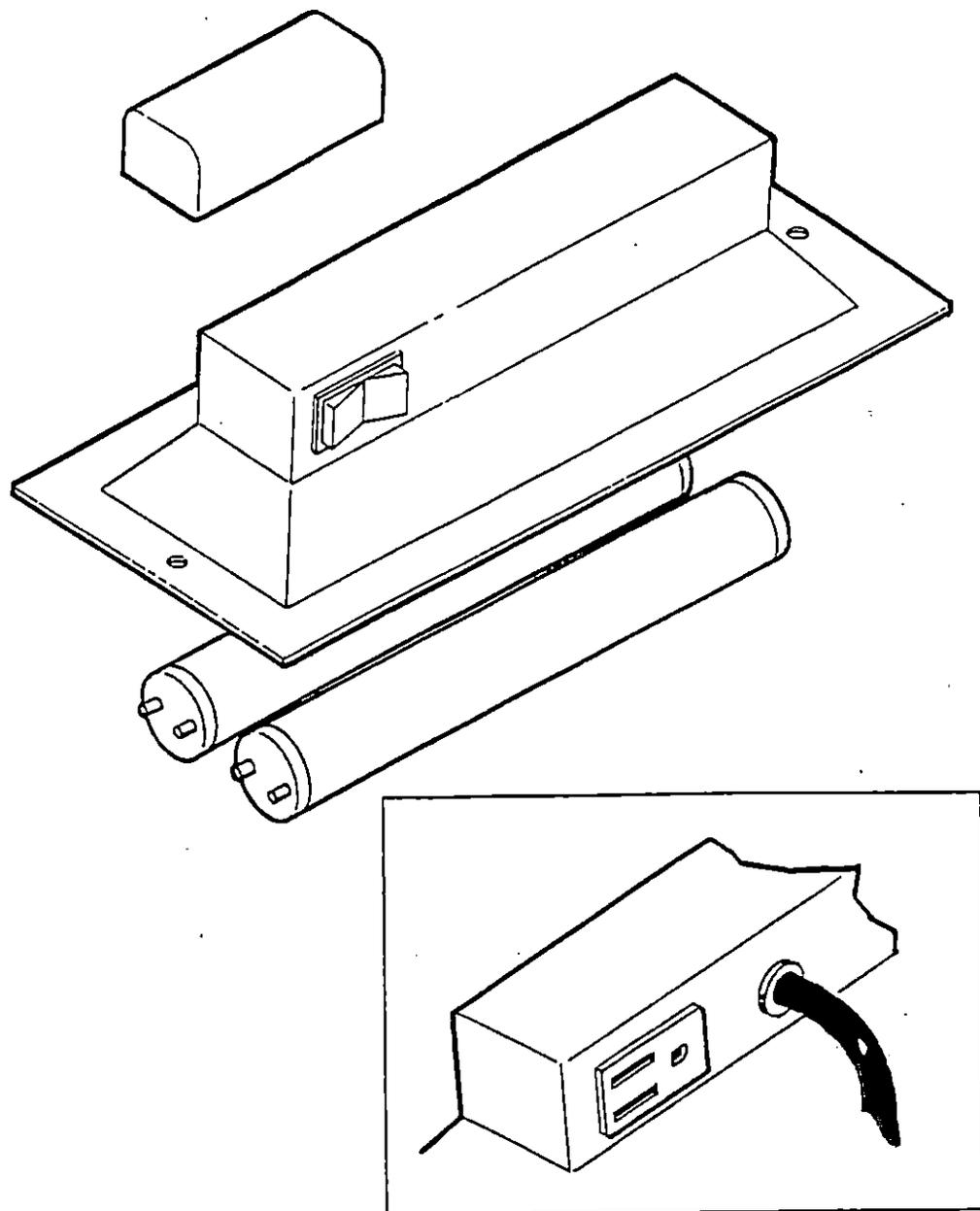


Figura 1.15 Sistema de iluminación.

1.3.5 PISTOLA PARA LANZAR ABRASIVO

La pistola para lanzar el abrasivo es el medio utilizado para proyectar el abrasivo, contra la pieza de trabajo. La pistola consta de tres partes principales que son: *el cuerpo de la pistola, la tobera y el inyector de aire*. En el cuerpo de la pistola se ensamblan las otras partes y el tubo para la entrada de abrasivo. Esta pistola tienen que ser diseñada para producir un vacío estático y alta velocidad a la salida de la tobera; a fin de poder succionar el abrasivo desde el fondo de la tolva y lanzarlo a alta velocidad a través de la tobera, hacia la pieza de trabajo. Así mismo, deberá ser fácilmente desmontable, para fines de limpieza y mantenimiento. En la figura 1.16 se muestra un diagrama de la pistola, en el cual se pueden ver las partes que la conforman y el ensamble de las mismas.

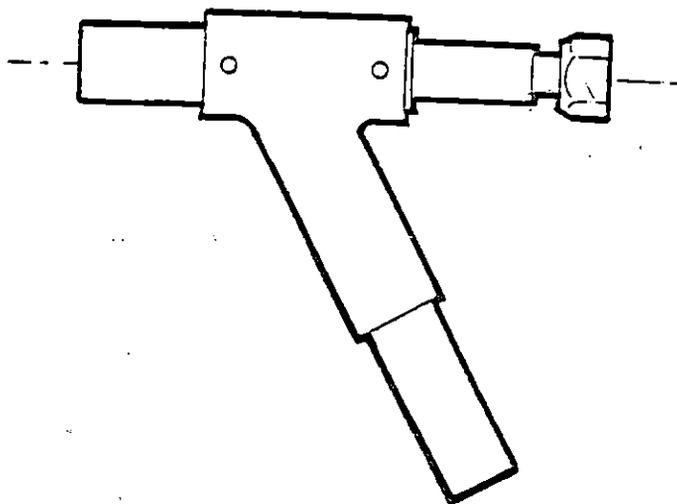


Figura 1.16 Pistola para lanzar el abrasivo.

1.3.6 COLECTOR DE POLVO

El colector de polvo, es el medio que se utiliza para separar el polvo que se genera al interior de la cámara de disparo, con el objeto de mejorar la visibilidad. La

separación del polvo se lleva a cabo, a través de una acción centrífuga de aire dentro del colector, la cual succiona el polvo mediante una manguera, luego lo pasa por un filtro y finalmente cae en un depósito que se encuentra en la parte inferior del colector. Este material fino recuperado no puede volverse a utilizar en otro proceso de limpieza.

Para poder generar ésta acción ciclónica de aire, el colector de polvo debe contar con un motor de vacío capaz de entregar suficiente presión negativa, arriba de 60 pulgadas de columna de agua. En la figura 1.17 se puede observar un modelo de colector de polvo.

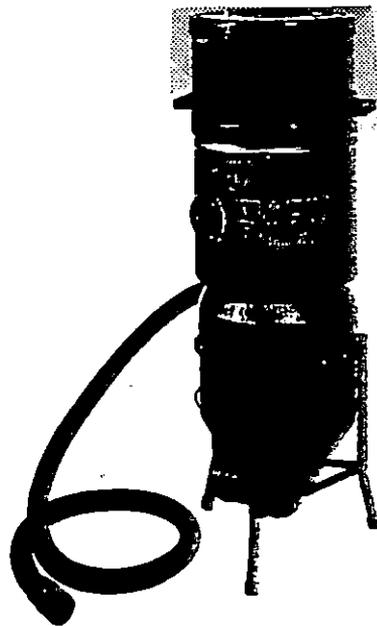


Figura 1.17 Colector de Polvo.

1.4 MATERIALES DE FABRICACION DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

Los materiales que se usan para la fabricación de estos equipos, juegan un papel muy importante para los propósitos de costos y manufactura; por lo tanto, es necesario tener un buen conocimiento sobre ellos, a fin de poder seleccionar los materiales más adecuados para cada elemento que compone el equipo. Además cabe mencionar que los materiales a tratar, son los que la mayoría de las casas fabricantes utilizan y recomiendan para la fabricación de los equipos de sandblasting.

1.4.1 MATERIALES DE FABRICACION PARA LA CAMARA DE DISPARO

La cámara de disparo, generalmente se fabrica de hierro dulce; debido a que este material es barato y soldable; además de que tienen propiedades bastante buenas de dureza, resistencia mecánica, manufactura y cualidades de acabado superficial.

Este material también se caracteriza porque tiene una resistencia a la tensión de cerca de 350 MPa (50 KPSI) y buena ductilidad, aunque es bastante anisotrópico (propiedades que varían con la orientación o dirección de la prueba) debido a la escoria que posee. Se usa principalmente para estructuras de maquinaria, puentes, edificios, camiones, componentes de maquinaria para carga moderna y otras aplicaciones. También con el hierro dulce se tiene la ventaja de que se procesa en formas estructurales tales como tubos, láminas, placas, barras, hojas, cintas, alambre y otros tipos de secciones; y se puede seleccionar la forma más adecuada, para cada aplicación en particular. A parte del hierro dulce, en la

fabricación de la cámara de disparo se usan otros materiales que son el vidrio y el plástico, pero que no tienen mayor relevancia, debido a que solo se usan como medio de observación y protección respectivamente, durante el proceso de limpieza.

1.4.2 MATERIALES DE FABRICACION PARA LA TOLVA PARA COLECTAR EL ABRASIVO

La tolva que colecta el abrasivo, en la mayoría de los casos, también se fabrica de hierro dulce, tanto lo que es el depósito, como el tubo sifón; por lo tanto, como el material utilizado para la fabricación de este componente es el hierro dulce, entonces, puede referirse a la sección 1.4.1 para conocer las características y propiedades más importantes de este material.

1.4.3 MATERIALES DE FABRICACION PARA LA PISTOLA PARA LANZAR EL ABRASIVO

La pistola para lanzar el abrasivo está compuesta por tres partes que son el inyector de aire, el cuerpo de la pistola y la tobera. Las dos primeras partes, generalmente se fabrican de bronce en cambio la tobera, se fabrica con carburos cementados o con aceros al carbono resistentes al desgaste y a la abrasión.

El material que se utilizará para la fabricación del cuerpo de la pistola y del inyector de aire es el bronce, ya que este material presenta buenas propiedades mecánicas, tales como: facilidad de maquinado, alta resistencia a la corrosión, excelente resistencia a la tensión de cerca de 337.86 MPa (49 KPSI),

compresión, fatiga, desgaste y corte. Además este material posee una apariencia o color atractiva y es de bajo costo. Las aplicaciones típicas incluyen bujes, acoplamiento de tubería y componentes de máquinas.

Los carburos cementados constan de partículas duras en una matriz suave. Estos materiales son muy duros, frágiles, tenaces y una ductilidad relativamente baja. En general estos materiales se usan para insertos desechables y corte de otros materiales. Estos materiales se descartan para la fabricación de la tobera, ya que su costo es demasiado alto y que son materiales que no se obtienen fácilmente en el país. Por lo tanto, se elige un material que sea fácil de maquinar, resistente al desgaste, que posea propiedades buenas de dureza, resistencia mecánica y que sea resistente a la abrasión; de lo anterior, podemos decir que los aceros al carbono representan normalmente la mejor y más económica opción. Esto significa que el material que se utilizará para la fabricación de la tobera será un acero al carbono AISI 1085, ya que este material cumple con la mayoría de las características antes mencionadas.

CAPITULO II

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

El diseño de los elementos del equipo, comprende específicamente el de la cámara de disparo, la tolva colectora de abrasivo y la pistola con la cual se lanza el abrasivo. Para realizar y justificar el diseño de cada uno de ellos, se seleccionan una serie de parámetros tales como: volúmenes, tamaños, caudales, velocidades y otros conceptos que ya fueron detallados en el capítulo anterior. A continuación, se pasa a realizar el diseño de éstos elementos, estableciendo los parámetros de diseño necesarios para cada uno de ellos.

2.1 DISEÑO DE LA CAMARA DE DISPARO

Para el diseño de la cámara de disparo, es necesario establecer los siguientes parámetros:

1. Deberá ser un espacio cerrado, que permita maniobrar piezas de un tamaño máximo de 0.30m x 0.30m x 0.30 m de ancho, largo y alto respectivamente.
2. Deberá ofrecer una buena visibilidad al usuario, para lo cual deberá estar provista de :
 - Una buena iluminación.

- Una ventana-visor
 - Un medio para la extracción de la nubosidad de polvo
3. Deberá ofrecer protección y movilidad a las manos y antebrazos del usuario, ya que estos estarán expuestos al chorro de abrasivo del medio.
 4. Deberá tener una mesa de trabajo, que permita apoyar y rotar la pieza de trabajo y que además, permita el acceso directo del abrasivo a la tolva para ser nuevamente usado.
 5. Deberá tener una compuerta frontal, que permita el acceso a la pieza de trabajo y también facilite las operaciones de limpieza y mantenimiento.

Tomando en consideración los parámetros antes mencionados, ahora se procede a calcular el volumen de la cámara de disparo y a presentar un diseño de la misma.

Como el tamaño máximo de la pieza de trabajo es de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m, entonces, éstas dimensiones serán la base principal para determinar las dimensiones y el volumen de la cámara de disparo.

Para determinar el diámetro del tornamesa, se toma de referencia la longitud de 0.3 m, de la pieza de trabajo; entonces, el tornamesa debe ser capaz de poder alojar la pieza (pero no en su totalidad) y que exista un espacio faltante de unos 0.05 m, entre los extremos de la pieza de trabajo y la periferia del tornamesa; de lo anterior, se calcula el diámetro del tornamesa como sigue a continuación:

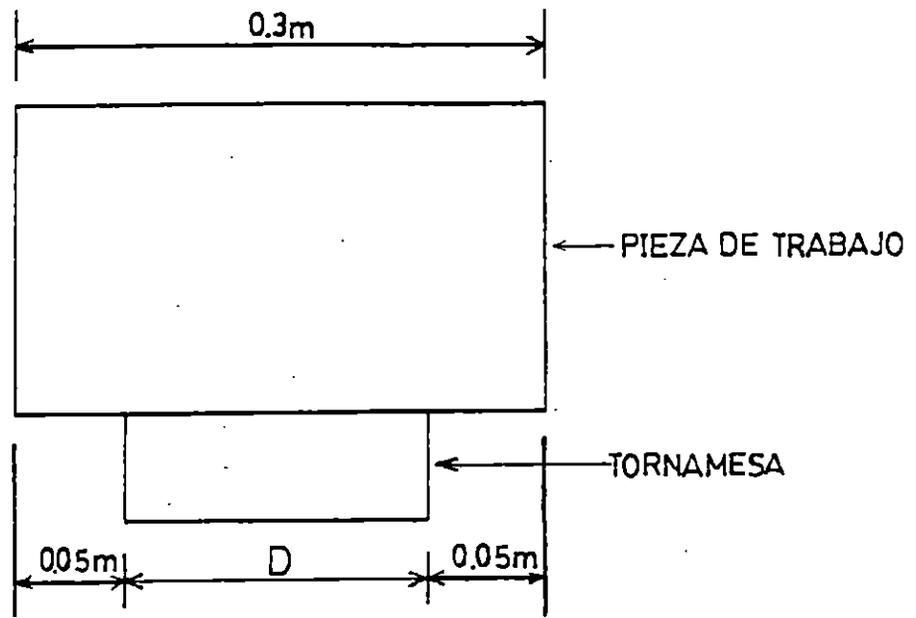


Figura 2.1 Vista frontal del tornamesa y la pieza de trabajo.

Donde:

D: Diámetro del tornamesa.

De la figura 2.1 notamos que $D = \text{longitud de la pieza de trabajo} - 2(0.05\text{m})$; entonces:

$$D = 0.3 \text{ m} - 2(0.05\text{m})$$

$$D = 0.20 \text{ m}$$

Como las dimensiones máximas de la pieza de trabajo son: $0.3\text{m} \times 0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$, entonces, las dimensiones mínimas que se necesitan en el interior de la cámara para fines de maniobra o movilidad se calcula haciendo uso de la figura 2.2, como sigue a continuación :

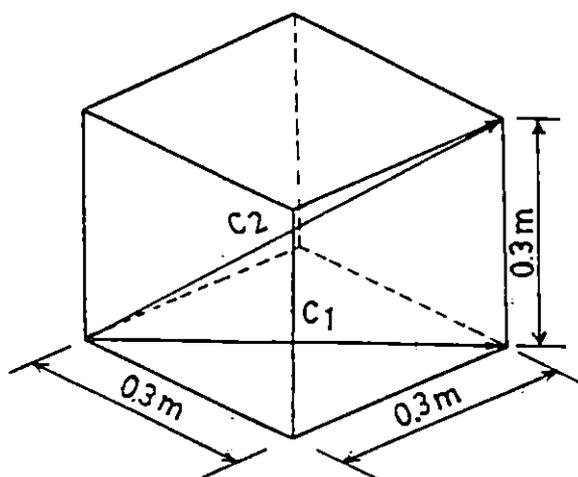
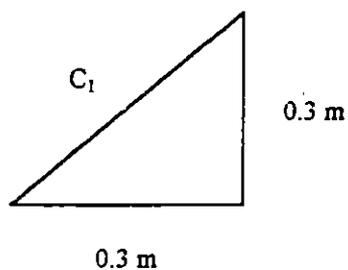


Figura 2.2 Volumen de la pieza de trabajo.

Donde:

C_1 y C_2 son las longitudes máximas que se pueden generar con el movimiento de la pieza de trabajo.

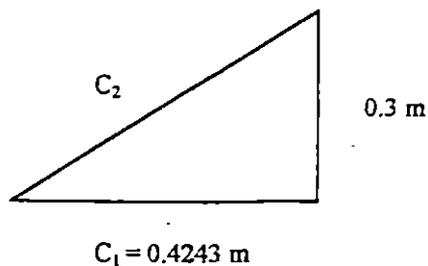
De la figura 2.2 se nota que:



$$C_1 = \sqrt{(0.3 \text{ m})^2 + (0.3 \text{ m})^2}$$

$$C_1 = 0.4243 \text{ m}$$

Ahora se calcula el valor de C_2 así :



$$C_2 = \sqrt{(0.4243 \text{ m})^2 + (0.3 \text{ m})^2}$$

$$C_2 = 0.52 \text{ m.}$$

Esta , es la longitud máxima que se podrá generar con el movimiento de la pieza, en cualquier plano en el interior de la cámara de disparo. Para determinar el ancho de la cámara, se toma de referencia ésta longitud (C_2) y también que exista un espacio adicional de unos 0.20 m en cada extremo de la cámara, entonces el ancho se calcula como sigue a continuación:

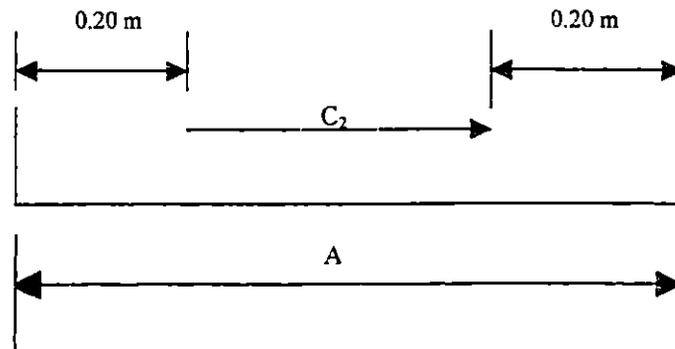


Figura. 2.3 Sección transversal de la cámara de disparo.

Donde:

A : Ancho de la cámara de disparo

De la figura 2.3 se sabe que $C_2 = 0.52$ m, entonces:

$$A = C_2 + 2(0.20 \text{ m}) = 0.52 \text{ m} + 0.40 \text{ m}$$

$$A = 0.92 \text{ m}$$

Esto significa que la cámara de disparo tendrá 0.92 de ancho.

Para determinar el largo de la cámara, se toma de referencia la longitud del brazo del usuario, desde el codo hasta la mano apuñada, teniendo en cuenta que con ésta distancia, se podrá sujetar y maniobrar cómodamente la pieza de trabajo y también se podrá realizar el disparo del abrasivo, desde la tapa frontal

de la cámara. Entonces, como la longitud del brazo del usuario es de 0.3 m y a ésta distancia se podrá sujetar la longitud máxima de la pieza de trabajo en un 40%; esto implica que de la longitud de C_2 se podrá abarcar hasta 0.21 m, por lo tanto, el apoyo del tornamesa estará ubicado a 0.35 m desde la tapa frontal de la cámara de disparo. Además, se contará con un espacio adicional de 0.3 m para maniobras de la pieza en el fondo de la cámara, entonces el largo se calcula como sigue a continuación:

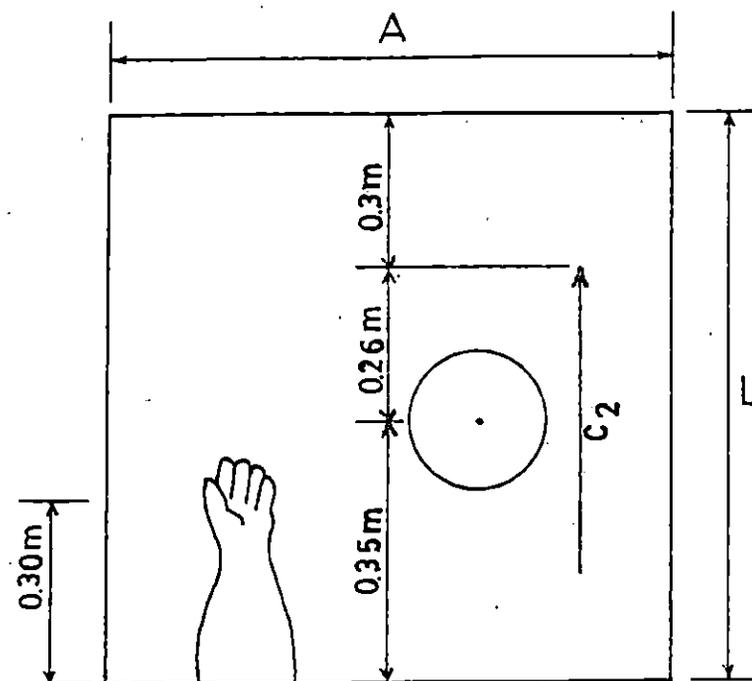


Figura 2.4 Vista de planta de la cámara de disparo.

Donde:

L : Largo de la cámara de disparo.

De la figura 2.4 se determina el valor de L así:

$$L = 0.35 \text{ m} + 0.26 \text{ m} + 0.3 \text{ m}$$

$$L = 0.91 \text{ m}$$

Esto significa que la cámara de disparo tendrá 0.92 m de ancho y 0.91 m de largo en la parte inferior de la misma.

Para determinar la altura de la cámara, es necesario considerar también la altura a la cual estará ubicado el tornamesa, siendo esta altura de 0.05 m, sobre la base del tornamesa. Además, se considerará que exista un espacio adicional de 0.1 m entre la superficie del tornamesa y la diagonal máxima de la pieza de trabajo (C_2) y un espacio de 0.15 m en la parte superior de la cámara, para sujetar y maniobrar libremente la pieza; para ello, se hace uso de la siguiente figura:

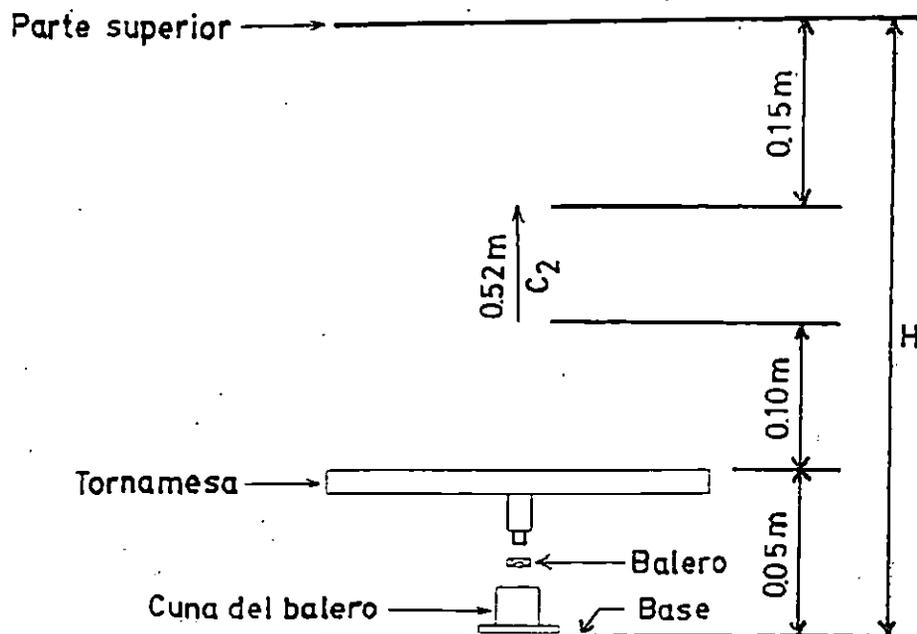


Figura 2.5 Vista frontal interna de la cámara de disparo.

Donde:

H : Altura de la cámara de disparo.

De la figura 2.5 notamos que $H = 0.05 \text{ m} + 0.1 \text{ m} + 0.52 \text{ m} + 0.15 \text{ m}$; entonces:

$H = 0.82\text{m}$; por lo tanto, las dimensiones de la cámara de disparo son las siguientes:

Dc.d : Dimensiones de la cámara de disparo.

$$Dc.d = 0.92 \text{ m} \times 0.91 \text{ m} \times 0.82 \text{ m}$$

Esto significa que la cámara de disparo tendrá 0.92 m. de ancho, 0.91 m de largo y 0.82 m de alto.

En la figura 2.6 se puede ver el diagrama de ensamble del sistema del tornamesa en el interior de la cámara.

El dimensionamiento de las piezas para el mecanismo del tornamesa, puede verse en el plano No. 1.

El espacio para la compuerta frontal deberá permitir el acceso libre de la pieza de trabajo; en base a esto, el espacio para la altura "h" de la compuerta se calcula haciendo uso de la figura 2.7.

El espacio para la ventana-visor deberá permitir que se instale un vidrio de 0.53 m x 0.23 m, entonces el espacio será de 0.55 m x 0.25 m; permitiendo que el vidrio se instale en un empaque de hule, el cual irá apoyado en las orillas del mismo espacio. Además, el vidrio se instalará sobre un plano inclinado de 40°, para poder tener un buen ángulo de visibilidad por parte del operario, de 0.4 m de longitud. Con estos dos parámetros se puede dimensionar la parte superior de la cámara, como sigue a continuación.

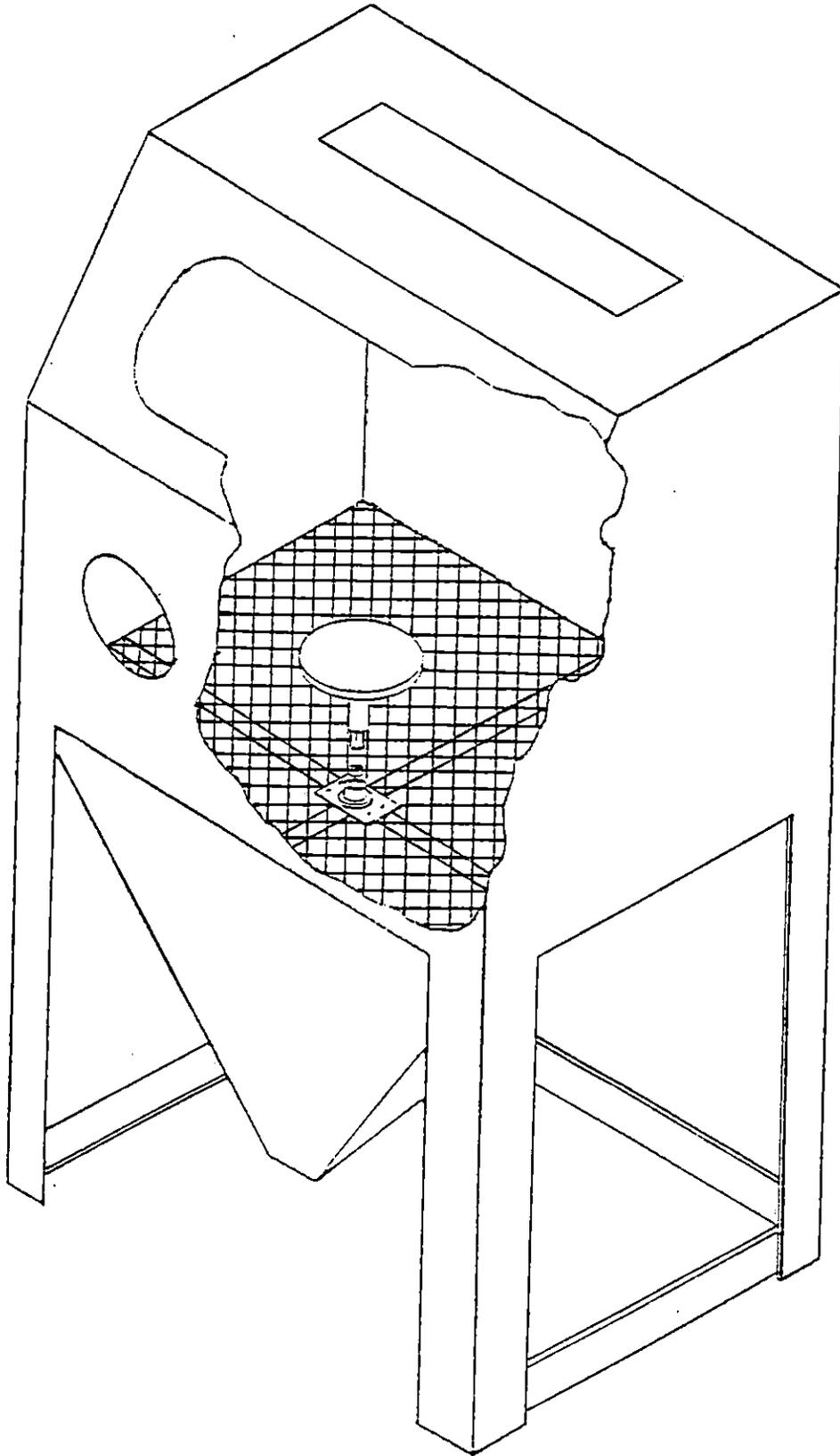


Figura 2.6 Diagrama de ensamble del tornamesa.

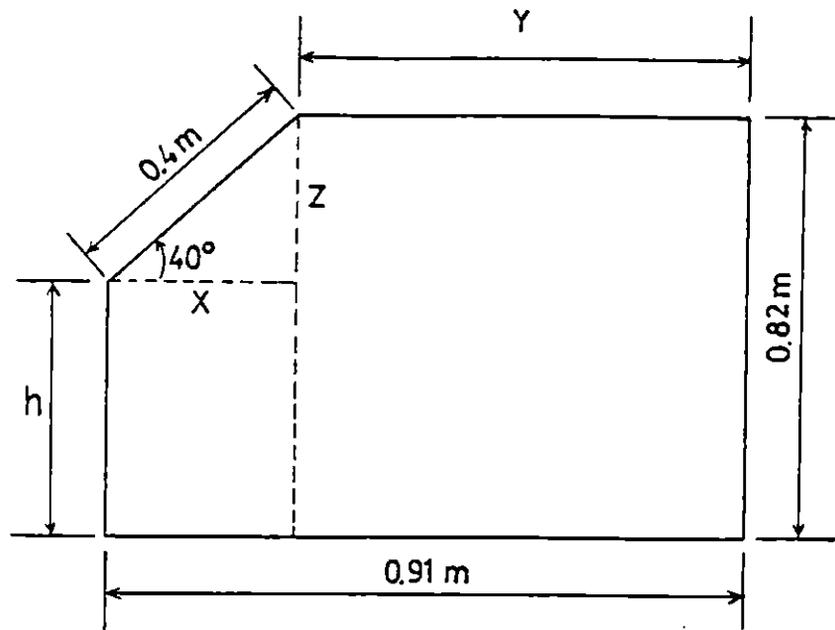


Figura 2.7 Vista lateral de la cámara de disparo.

De la figura 2.7 por trigonometría tenemos que:

$$\cos 40^\circ = x / 0.4 \text{ m}; \quad x = 0.4 \text{ m} (\cos 40^\circ)$$

$$x = 0.306 \text{ m} \cong 0.31 \text{ m};$$

entonces:

$$y = 0.91 \text{ m} - 0.31 \text{ m}$$

$$y = 0.60 \text{ m}$$

Donde:

y : es la longitud para el plano donde estará instalada la lámpara .

$$\sin 40^\circ = z / 0.4 \text{ m}; \quad z = 0.4 \text{ m} (\sin 40^\circ)$$

$$z = 0.257 \text{ m} \cong 0.26;$$

entonces:

La altura de la compuerta frontal donde van instalados los guantes será de:

$$h = 0.82 \text{ m} - 0.26 \text{ m.}$$

$$h = 0.56 \text{ m.}$$

El espacio para la lámpara se dimensiona en base al tamaño de la misma y las dimensiones de ésta son: 0.61 m x 0.12 m, entonces el espacio será de 0.66 m x 0.17 m; para que facilite el montaje y mantenimiento de la lámpara. El dimensionamiento completo de la caja donde va montada la lámpara, se puede ver en el plano No. 2.

Los agujeros donde van los guantes, se dimensionan en base al diámetro de sus mangas; donde este diámetro es de: ϕ 0.15 m. Además la separación entre ellos de centro a centro, se dimensiona en base a la separación promedio normal de los brazos del ser humano; la cual es de 0.40 m y para la altura, también se considera una altura promedio normal desde el piso hasta los codos del usuario, de 1.05 m.

Luego de haber dimensionado toda la cavidad de la cámara de disparo, ahora se procede a establecer la altura de las patas o base de la cámara, para ello, se hace uso de la figura 2.8.

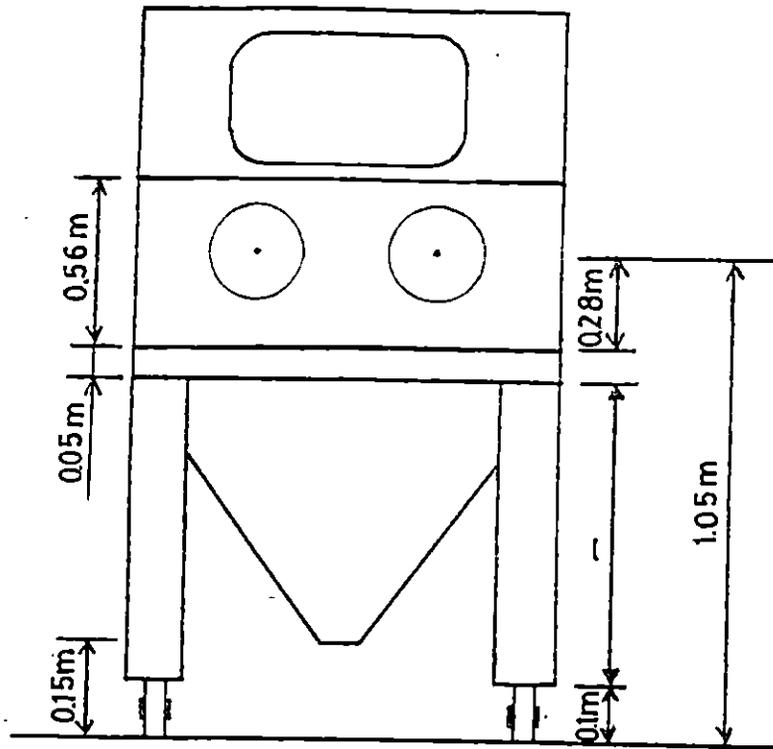


Figura 2.8 Vista frontal de la cámara de disparo.

Donde:

l : longitud de las patas

$$l = 1.05 \text{ m} - 0.28 \text{ m} - 0.1 \text{ m} - 0.05 \text{ m}$$

$$l = 0.62 \text{ m.}$$

Esto significa que las patas de la cámara de disparo, tendrán una longitud de 0.62m, y con todo y rodos estarán a una altura de 0.72m sobre el nivel del piso donde se ubique el equipo. El dimensionamiento completo de la cámara de disparo puede verse en el plano No. 3. También en el plano No. 4, se puede observar el diagrama de ensamble de la cámara de disparo.

2.2 DISEÑO DE LA TOLVA PARA COLECTAR EL ABRASIVO

Para diseñar la tolva colectora de abrasivo, también es necesario establecer los siguientes parámetros:

1. El volumen a almacenar de abrasivo no deberá exceder el 75% de la capacidad o volumen de la tolva, teniendo en cuenta, que la cantidad de abrasivo para cargar el sistema es de 25 a 50 libras.
2. Deberá tener un tubo sifón que permita el ingreso del abrasivo que se ha de succionar.
3. Deberá contar con un ángulo de inclinación de las paredes de la tolva para que permita que el abrasivo caiga hasta el fondo de la misma; o sea que, tendrá forma de pirámide truncada.
4. La tolva deberá formar parte de la estructura que soportará la cámara de disparo.
5. Deberá contar con un dispositivo, que permita evacuar el abrasivo contenido en la misma. Además deberá permitir el paso de la manguera de aire, a través de ella.
6. A la tolva no deberán ingresar partículas cuyo tamaño sea mayor que el diámetro interno de la tobera. Para esto, la tolva deberá contar con una rejilla tipo colador para atrapar estas partículas.

Luego de haber plasmado los parámetros de diseño, en seguida se procede a calcular el volumen de la tolva.

Considerando que la carga del sistema se hará con 50 libras de abrasivo (arena), entonces, estas 50 libras de abrasivo ocupan un volumen de:

V_a : volumen de abrasivo.

$$V_a = 0.08 \text{ m}^3 \text{ (valor determinado experimentalmente)*}$$

Con este valor de volumen, se calcula el volumen mínimo que deberá tener la tolva para poder alojar ésta cantidad de abrasivo.

V_{mt} : volumen mínimo de la tolva

$$V_a \leq 75\% V_{mt}$$

$V_a = 75\% V_{mt}$, entonces:

$$V_{mt} = V_a / 75\%$$

Sustituyendo $V_a = 0.08 \text{ m}^3$ en la ecuación anterior, tenemos que:

$$V_{mt} = 0.08 \text{ m}^3 / 0.75 = 0.106 \text{ m}^3$$

$$V_{mt} = 0.106 \text{ m}^3$$

Este valor de volumen servirá de referencia para poder dimensionar la tolva, para ello, se hace uso de la siguiente figura (figura 2.9).

* El método empleado fue el siguiente:

Se pesaron las 50 libras de arena colada y luego se depositó en un espacio rectangular de dimensiones conocidas. Las dimensiones del espacio que se creó, son las siguientes: 0.4 m x 0.5 m x 0.4 m de ancho, largo y alto respectivamente; con un pequeño espacio libre adicional.

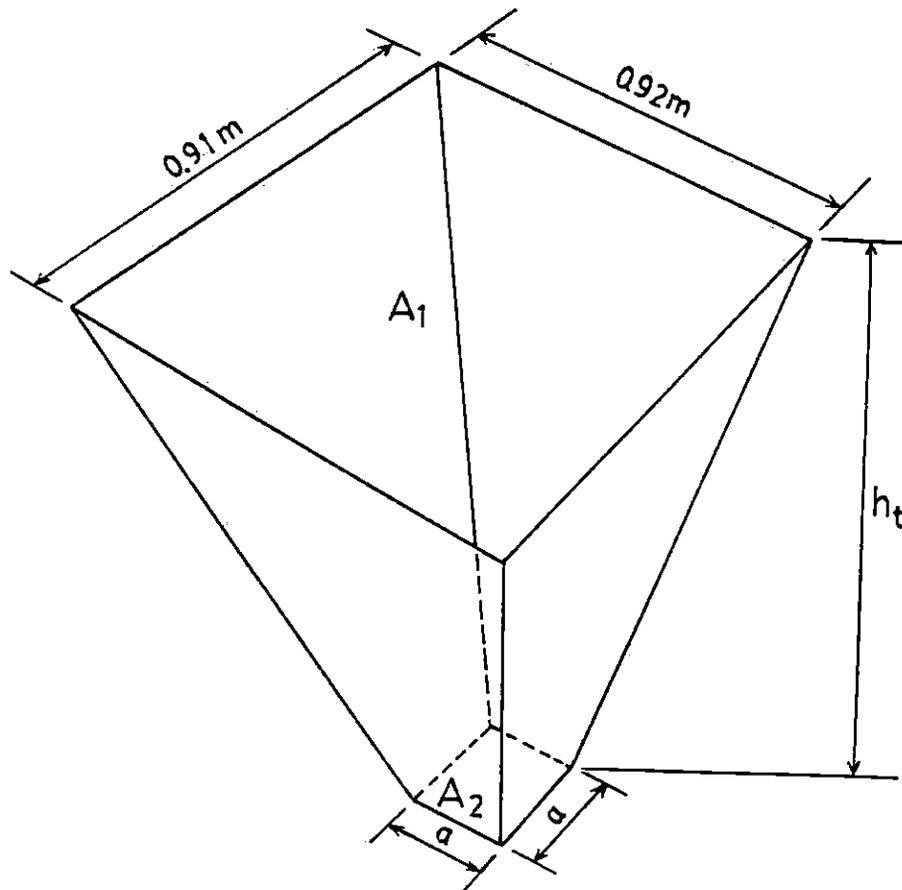


Figura 2.9 Volumen de la tolva.

La ecuación para calcular el volumen de la tolva de la figura 2.9 es la siguiente:

$$V_t = \frac{1}{3} h_t [(A_1 + A_2) + (\sqrt{A_1 * A_2})]$$

Donde:

V_t : volumen de la tolva

h_t : Altura de la tolva

A_1 : Area de la parte superior

A_2 : Area de la parte inferior

$$A_1 = 0.92 \text{ m} \times 0.91 \text{ m} = 0.84 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 0.84 \text{ m}^2$$

Este valor de área de la parte superior de la tolva se dimensiona así, para que cuando se efectúe el proceso de limpieza, el abrasivo caiga directamente en la tolva; siendo esta área igual a la de la parte inferior de la cámara de disparo.

Para lograr atrapar o retener la escoria desprendida durante el proceso de limpieza, se deberá poder insertar por debajo de A_1 una rejilla tipo colador, con el diámetro de sus agujeros menor que el diámetro interno de la tobera para evitar que la pistola se obstruya y se interrumpa el proceso de limpieza.

Para poder calcular V_t , es necesario establecer las dimensiones de a y h_t . El valor de h_t lo determinamos en base a la altura de las patas de la cámara de disparo que es 0.72 m (incluyendo la altura de los rodos) y teniendo en cuenta que la parte inferior de la tolva, deberá quedar a una altura sobre el nivel del piso de 0.15 m (ver figura 2.8), entonces:

$$h_t = 0.72 \text{ m} - 0.15 \text{ m}$$

$$h_t = 0.57 \text{ m}$$

Se recomienda que el valor de a sea de 0.1 m, entonces:

$$a = 0.1 \text{ m}$$

Ahora ya se puede calcular V_t y compararlo con V_{mt} , si $V_t > V_{mt}$, entonces la tolva podrá tener éstas dimensiones, sino; hay que establecer otros valores para h_t y a .

Primero se calcula A_2 y luego V_t .

$$A_2 = 0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m} = 0.01 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.01 \text{ m}^2$$

Este es el valor del área de la parte inferior de la tolva, entonces:

$$V_t = 1/3 (0.57 \text{ m}) [(0.84 \text{ m}^2 + 0.01 \text{ m}^2) + \sqrt{0.84 \text{ m}^2 \times 0.01 \text{ m}^2}]$$

$$V_t = 0.163 \text{ m}^3.$$

Como $V_t > V_{mt}$, entonces, con esto se garantiza que la tolva tendrá capacidad para poder alojar las 50 libras de abrasivo (arena) y contará con un espacio libre adicional para la entrada del aire al tubo sifón.

Luego de haber determinado las dimensiones de la tolva, ahora se procede a establecer las dimensiones del tubo sifón y de la compuerta para evacuar el abrasivo.

Se recomienda que la medida del tubo sifón sea de 1/2 pulgada, o sea que el tubo sifón tendrá un diámetro de 0.0127 m.

Para poder dimensionar la compuerta de la tolva, nos referimos a la figura 2.9 y tomamos de referencia el valor de $a = 0.1 \text{ m}$ y también que se permita ajustar una compuerta tipo gaveta para hacer la evacuación rápida del abrasivo; para esto es necesario que alrededor de la cara frontal del ángulo exista un espacio libre de $0.092 \text{ m} \times 0.013 \text{ m}$.

Tomando en cuenta lo antes dicho, se procede a establecer las dimensiones de la compuerta; para ello, se hace uso de la siguiente figura:

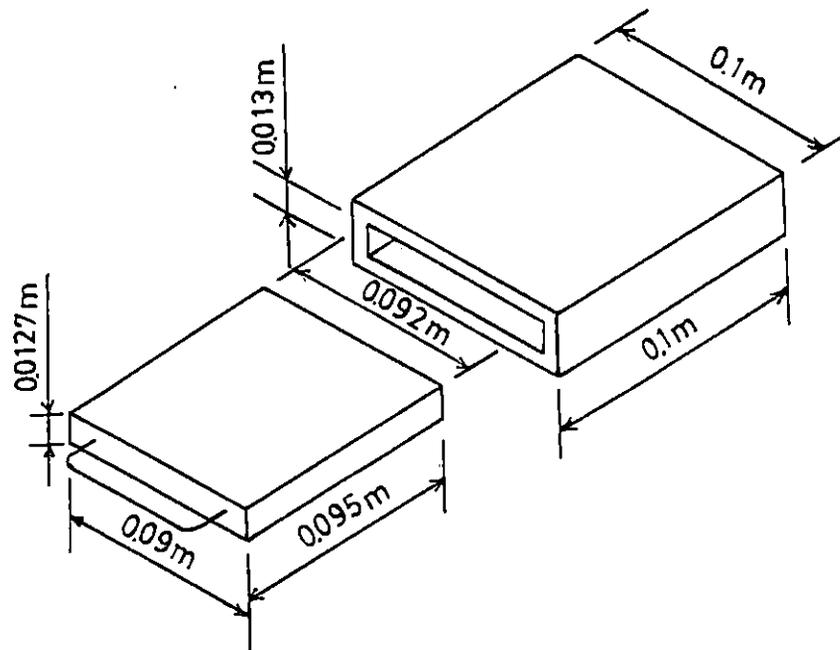


Figura 2.10 Vista lateral de la compuerta de la tolva.

De la figura 2.10 se nota que la compuerta tiene un agarradero para cerrar y abrir la parte inferior de la tolva y poder evacuar el abrasivo contenida en la misma. Las dimensiones y el diagrama de conjunto de la tolva puede verse en el plano No. 5.

2.3 DISEÑO DE LA PISTOLA PARA LANZAR EL ABRASIVO

Para el diseño de la pistola, es necesario establecer los siguientes parámetros:

1. El diseño se hará para las tres partes principales que componen la pistola, las cuales son: El inyector de aire, la tobera y el cuerpo de la pistola.
2. La pistola se diseñará para producir un vacío estático, que permita la succión del abrasivo desde la tolva hasta el cuerpo de la pistola y para un caudal

total de $15 \text{ pie}^3/\text{min}$ a la salida, del cual, el 70% es de aire y el 30% es de arena.

3. El inyector de aire y la tobera se diseñarán bajo el concepto de flujo isoentrópico en una tobera convergente divergente. Además, se asumirá que el diámetro interior de la tobera deberá ser por lo menos dos veces el diámetro interior del inyector de aire.
4. La tobera deberá estar diseñada para lanzar el abrasivo a alta velocidad (de 500 a 1000 pie/seg).
5. El cuerpo de la pistola se diseñará para soportar una presión de operación máxima de 150 psi, con un factor de seguridad de 2.5. Además, se considerará que su peso no exceda de 1.5 libras.
6. La pistola se diseñará para ser ensamblada fácilmente y facilitar las operaciones de mantenimiento.

Después de haber establecido los parámetros de diseño para la pistola, en seguida se procede a determinar los diámetros internos del inyector de aire y de la tobera, para ello, se hace uso de la figura 2.11.

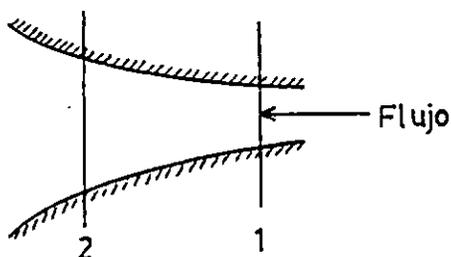


Figura 2.11 Sección típica de tobera convergente - divergente.

Donde:

Punto 1 : Salida del inyector de aire (garganta)

Punto 2 : Entrada a la tobera.

Como $Q_{total} = 15 \text{ pie}^3/\text{min} \cong 7.084 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}.$

Para determinar el caudal de aire y el caudal de arena, se hace uso de la siguiente recomendación:

Considerando que $Q_{aire} = 70\% Q_{total}$ y que $Q_{arena} = 30\% Q_{total}$ se tiene que:

$$Q_{aire} = 0.7 (15 \text{ pie}^3/\text{min}) = 10.5 \text{ pie}^3/\text{min} \cong 4.96 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}.$$

$$Q_{arena} = 0.3 (15 \text{ pie}^3/\text{min}) = 4.5 \text{ pie}^3/\text{min} \cong 2.125 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}.$$

Con la recomendación que $\phi_t \geq 2\phi_i$, tomando la igualdad se tiene que:

$$\frac{A_t}{A_i} = \frac{\pi / 4 (2\phi_i)^2}{\pi / 4 (\phi_i)^2} = 4$$

Donde:

ϕ_t : Diámetro de la tobera

ϕ_i : Diámetro del inyector de aire

A_t/A_i : Relación de áreas de la tobera e inyector.

Con ésta relación de áreas se entra a la tabla C.4 Relaciones isentropicas unidimensionales (para un gas ideal con calor específico constante: $K = 1.4$)¹, la cual se presenta en el anexo No.1 y se obtiene la siguiente información:

¹ Ref [5], Págs. No 571 y 572

M	A/A*	P/P ₀	ρ/ρ ₀	T/T ₀
0.15	4.00	0.984	0.989	0.986
2.94	4.00	0.030	0.081	0.366

De las dos filas de datos de arriba, se toman los datos de la segunda fila, donde el número de Mach es: $M=2.94$; ya que bajo estas condiciones, la tobera convergente-divergente se comportará como un venturi, con el flujo acelerándose en la parte convergente, hasta que un punto de velocidad máxima y presión mínima se alcance en la garganta, y luego se desacelere en la parte divergente hacia la salida de la tobera. En la figura 2.12² también se puede ver que para una relación de áreas de $A^*/A = A_i/A_t = 1/4 = 0.25$, los valores correspondientes al número de Mach son los mismos que se obtienen por medio de las tablas antes mencionadas

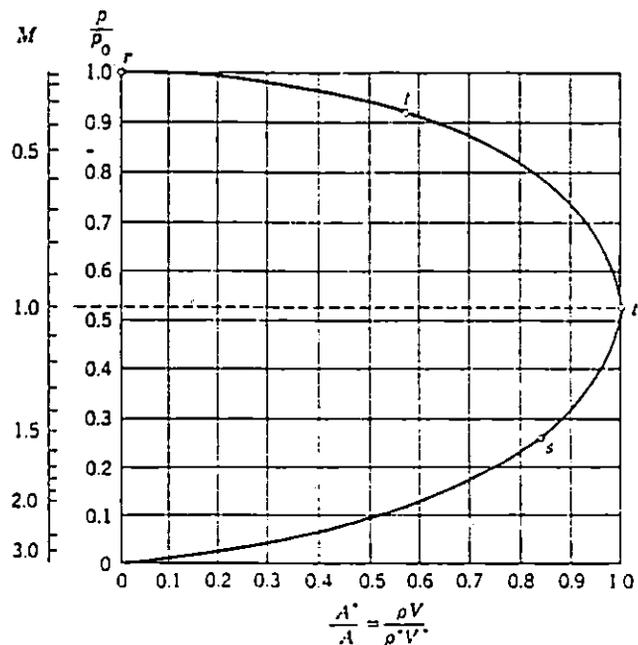


Figura 2.12 Relaciones isentrópicas para una boquilla convergente - divergente ($k = 1.4$):

² Ref [5], Pág. No. 303.

Considerando que las condiciones de estancamiento son las siguientes, se tiene que:

$$P_{o(\text{man})} = 80 \text{ psi: presión de operación (valor recomendado por la teoría)}$$

$$T_o = T_{\text{ambiente}} = 27^\circ\text{C}.$$

Con estos valores se puede determinar el valor de ρ_o , a través de la ecuación de estado para los gases ideales, sabiendo que:

$$Pv = RT \text{ y que } \rho = 1/v$$

Donde:

P : Presión absoluta en el punto de análisis ($P_{\text{abs}} = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}}$)

R = 287 m.N / kgm °K : Constante universal del aire

T : Temperatura absoluta en el punto de análisis.

V : volumen específico.

Entonces:

$$P_{o(\text{abs})} = P_{o(\text{man})} + P_{\text{atm}}; \quad P_{\text{atm}} = 14.22 \text{ psi}^*$$

$$P_{o(\text{abs})} = 80 \text{ psi} + 14.22 \text{ psi} = 94.22 \text{ psi} \equiv 649646.9 \text{ N/m}^2$$

$$T_{o(\text{abs})} \text{ } ^\circ\text{K} = T_o \text{ } ^\circ\text{C} + 273.15 = 27 + 273.15 = 300.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$\rho_o = \frac{P_{o(\text{abs})}}{RT_{o(\text{abs})}} = \frac{649646.9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{287 \frac{\text{m} \cdot \text{N}}{\text{kgm} \cdot ^\circ\text{K}} \times 300.15 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$\rho_o = 7.541 \text{ kg/m}^3$$

* Valor promedio de la presión atmosférica en la ciudad de San Salvador, proporcionada por el Centro de Análisis y Pronósticos.

Con los datos obtenidos de la tabla C.4, se pueden obtener las propiedades en la garganta o salida del inyector de aire, así:

$$P/P_o = P_1/P_{o(abs)} = 0.030$$

$$P_1 = 0.030 P_{o(abs)}$$

$$P_1 = 0.030 (649646.9 \text{ N/m}^2)$$

$$P_1 = 19489.407 \text{ N/m}^2 \cong 2.83 \text{ psi}$$

Donde:

$$P_{vacío(abs)} = P_1 = 2.83 \text{ psi}$$

$$P_{vacío(man)} = P_{vacío(abs)} - P_{atm.}$$

$$P_{vacío(man)} = 2.83 \text{ psi} - 14.22 \text{ psi}$$

$$P_{vacío(man)} = -11.39 \text{ psi} \cong -78534.05 \text{ N/m}^2$$

Esta caída de presión a la salida del inyector de aire, generará un gradiente de presión que provocará la succión del abrasivo.

$$\rho / \rho_o = \rho_1 / \rho_o = 0.081$$

$$\rho_1 = 0.081 \rho_o = 0.081(7.541 \text{ kg/m}^3)$$

$$\rho_1 = 0.611 \text{ kg/m}^3$$

$$T/T_o = T_1/T_{o(abs)} = 0.366$$

$$T_1 = 0.366 T_{o(abs)} = 0.366 (300.15 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$T_1 = 109.85 \text{ }^\circ\text{K}$$

Ahora se calcula el flujo másico de aire en la garganta o salida del inyector, así:

$$\dot{m}_{aire} = Q_{aire} \times \rho_1 = 4.96 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg} \times 0.611 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_{aire} = 3.031 \times 10^{-3} \text{ kg/seg.}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = A_i \cdot V_1 \cdot \rho_1; \quad A_i = \dot{m}_{\text{aire}} / V_1 \times \rho_1$$

$$\text{Como } M_1 = V_1 / C_1 \quad \text{y} \quad C_1 = \sqrt{kRT_1}$$

Donde:

M_1 : No. de Mach a la salida del inyector

V_1 : Velocidad a la salida del inyector

C_1 : velocidad del sonido a la salida del inyector

$$V_1 = M_1 \times C_1$$

$$C_1 = \sqrt{1.4 \times 287 \frac{\text{m.N}}{\text{kgm.}^\circ\text{K}} \times 109.85^\circ\text{K}}$$

$$C_1 = 210.089 \text{ m/seg.}$$

Entonces:

$$V_1 = 2.94 (210.089 \text{ m/seg})$$

$$V_1 = 617.66 \text{ m/seg}$$

$$A_i = \frac{3.031 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{seg}}}{617.66 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \times 0.611 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$A_1 = 8.031 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_i = (\pi/4)\phi_i^2; \quad \phi_i = \sqrt{4A_i/\pi} = \sqrt{4(8.031 \times 10^{-6} \text{ m}^2) / \pi}$$

$$\phi_i = 3.197 \times 10^{-3} \text{ m} \cong 3.197 \text{ mm.}$$

$$\phi_i = 3.197 \text{ mm.}$$

De la recomendación que $\phi_t \geq 2\phi_i$, tomando la igualdad se tiene que:

$$\phi_t = 2(3.197 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$\phi_t = 6.394 \times 10^{-3} \text{ m} \cong 6.394 \text{ mm.}$$

$$\phi_t = 6.394 \text{ mm.}$$

Ahora se pasa a analizar la tobera para verificar si la mezcla aire-arena sale con un valor de alta velocidad, comprendida entre el rango de 500 a 1000 pie/seg que es el rango que establece la teoría para la limpieza con chorro de abrasivo.

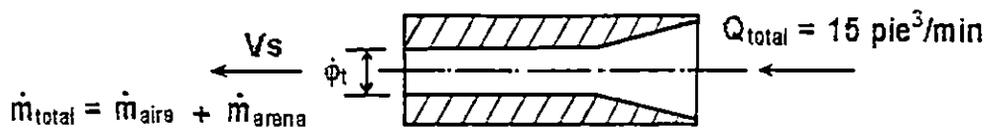


Figura 2.13 Sección típica de tobera.

Donde:

\dot{m}_{total} : Flujo másico de la mezcla aire - arena

\dot{m}_{arena} : flujo másico de la arena

V_s : Velocidad de salida de la mezcla aire-arena.

De la figura 2.13 se tiene que:

$$\dot{m}_{total} = Q_{total} \cdot \rho_{mezcla}; \quad \rho_{mezcla} : \text{densidad de la mezcla aire-arena}$$

$$\dot{m}_{arena} = Q_{arena} \cdot \rho_{arena}; \quad \rho_{arena} = 568.1 \text{ kg/m}^3 \text{ (valor recomendado por la Escuela de ingeniería Civil. U.E.S)}$$

$$\dot{m}_{arena} = 2.125 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg} \times 568.1 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_{arena} = 1.207 \text{ kg/seg.}$$

$$\dot{m}_{total} = 3.031 \times 10^{-3} \text{ kg/seg.} + 1.207 \text{ kg/seg.}$$

$$\dot{m}_{\text{total}} = 1.21 \text{ kg/seg.}$$

como:

$$\dot{m}_{\text{total}} = Q_{\text{total}} \times \rho_{\text{mezcla}}$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = \dot{m}_{\text{total}} / Q_{\text{total}} = (1.21 \text{ kg/seg}) / (7.084 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg})$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = 170.80 \text{ kg/m}^3$$

También:

$$\dot{m}_{\text{total}} = A_t \cdot V_s \cdot \rho_{\text{mezcla}}$$

$$V_s = \dot{m}_{\text{total}} / A_t \cdot \rho_{\text{mezcla}}$$

$$A_t = (\pi/4)\phi_t^2 = (\pi/4)(6.394 \times 10^{-3} \text{ m})^2$$

$$A_t = 3.21 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$V_s = \frac{1.21 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}}{3.21 \times 10^{-5} \text{ m}^2 (170.80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}$$

$$V_s = 220.69 \text{ m/seg} \cong 723.86 \text{ pie/seg}$$

En efecto, con este valor de V_s se puede asegurar que la mezcla aire-arena que sale por la tobera, es lanzada a alta velocidad contra la pieza de trabajo.

Luego de haber determinado la velocidad de salida de la mezcla aire-arena, ahora se determina la velocidad con la que sale la arena desde el fondo del tubo sifón hasta que llega a la pistola, para ello, se hace uso de la siguiente figura:

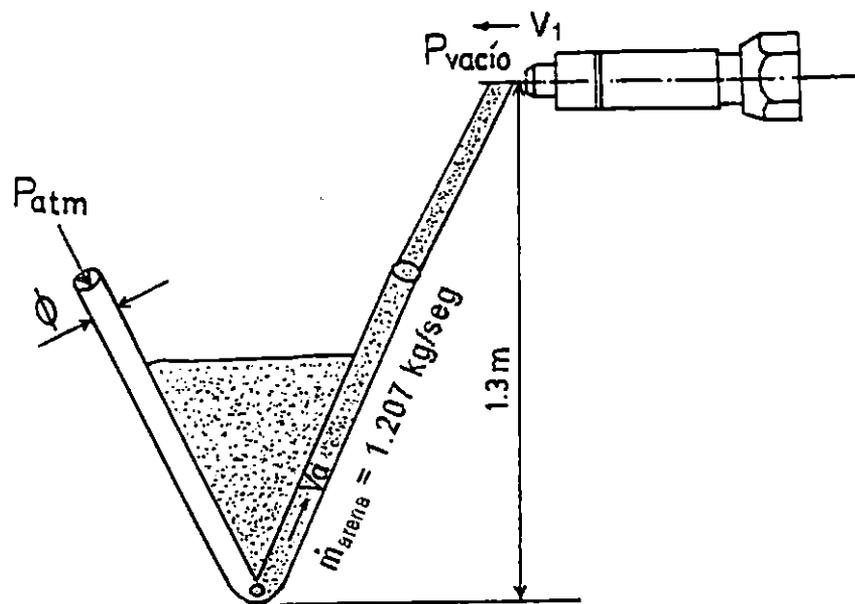


Figura 2.14 Succión del abrasivo.

Donde:

$$P_{atm} = 98046.9 \text{ N/m}^2$$

$$\phi = 0.0127 \text{ m: Es el diámetro del tubo sifón } (\phi = 1/2 \text{ pulg})$$

V_a : Velocidad de la arena.

Considerando (en la figura 2.14) que el flujo másico de aire en el tubo sifón es despreciable y que únicamente fluye arena a través de él, se puede plantear que:

$$\dot{m}_{arena} = A_{t-s} \times V_a \times \rho_{arena}$$

Donde:

A_{t-s} : Area del tubo sifón

$$A_{t-s} = \pi/4 \phi^2$$

$$A_{t-s} = \pi/4(0.0127 \text{ m})^2$$

$$A_{t-s} = 1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Entonces:

$$V_a = \dot{m}_{\text{arena}} / A_{t-s} \times \rho_{\text{arena}}$$

$$V_a = \frac{1.207 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}}{1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 568.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_a = 16.77 \text{ m/seg}$$

Con ésta velocidad se demuestra que en efecto habrá un flujo másico de arena a través del tubo sifón hacia la pistola, garantizando con esto, que la presión atmosférica actuará empujando la arena; pero también, se puede hacer una demostración más de que la arena sí va a fluir a través del tubo sifón, si se comprueba que la diferencia de presiones ($P_{\text{atm}} - P_{\text{vacío}}$) es mucho mayor que la presión estática de la columna de arena correspondiente. Entonces se tiene que:

$$W = \gamma_{\text{arena}} V_{\text{tubo}} :$$

$$\gamma_{\text{arena}} = \rho_{\text{arena}} \times g = 568.1 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 5573.061 \text{ N/m}^3$$

Además, la presión debido al peso de la columna de arena se puede determinar, por medio de la siguiente expresión:

$$P_w = W / A_{t-s}$$

Donde:

W : peso de la arena

V_{tubo} : volumen del tubo sifón

P_w : presión debido al peso de la arena.

$$V_{\text{tubo}} = A_{t-s} \times \text{long. de altura máxima}$$

Donde:

long. de altura máxima: es la altura máxima a la cual podrá estar la

pistola = 1.3 m (ver figura 2.14)

$$V_{\text{tubo}} = 1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (1.3\text{m})$$

$$V_{\text{tubo}} = 1.65 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Entonces:

$$W = 5573.061 \text{ N/m}^3 (1.65 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$W = 0.919 \text{ N}$$

$$P_w = 0.919 \text{ N} / 1.267 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P_w = 7253.35 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta P = (P_{\text{atm}} - P_{\text{vacío}}) = [0 \text{ N/m}^2 - (-78534.05 \text{ N/m}^2)]$$

$$\Delta P = 78534.05 \text{ N/m}^2$$

Como $\Delta P \gg P_w$, entonces bajo este concepto también se garantiza la succión de la arena; ya que la P_w no representa mayor oposición para el ΔP .

Después de haber justificado la succión del abrasivo, ahora se procede a diseñar el cuerpo de la pistola. Para hacer éste diseño, se toma muy en cuenta un factor de seguridad de 2.5 sobre la presión máxima de operación de 150 psi (valor de presión máxima recomendado para la operación de estos equipos). Además se debe recordar que su peso no debe sobrepasar las 1.5 libras de peso; para ello, se hace uso de la figura 2.15

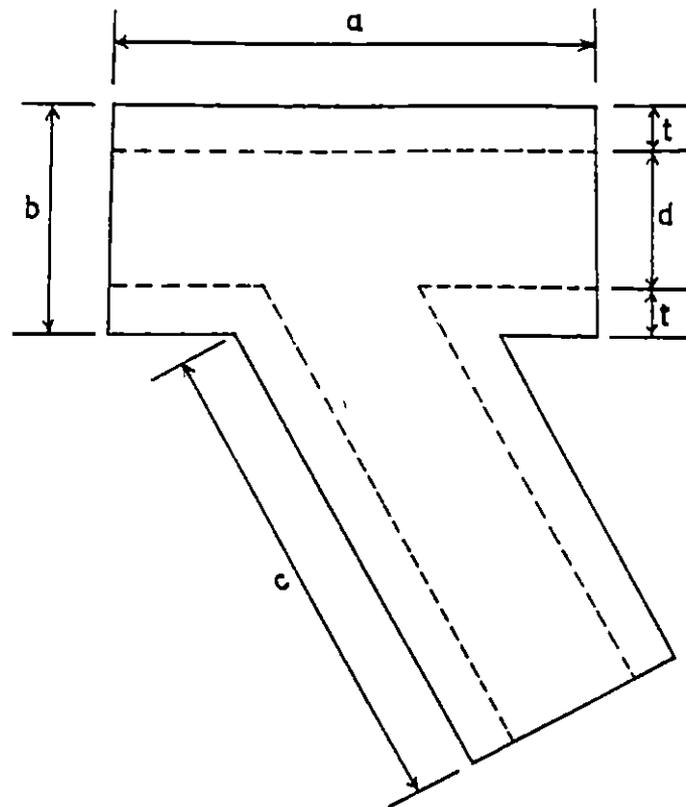


Figura 2.15 Cuerpo de la pistola

Donde:

- t : espesor de la pared
- d: diámetro interno
- a: longitud del cuerpo de la pistola
- b: diámetro externo
- c: longitud del mango de la pistola

Para poder establecer las dimensiones de la pistola, hay que determinar el valor del esfuerzo perimetral que deberá estar soportando con la presión de operación máxima y teniendo en cuenta que el material es bronce para el cual, se tiene una resistencia de fluencia de $S_y = 151.69 \text{ MPa}$ (22 kpsi), las propiedades mecánicas

de este material (bronce fosfórico) se presentan en el anexo No. 2. Entonces tenemos que el esfuerzo perimetral viene dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_H = Pd n / 2t^3$$

Donde:

P : presión de operación máxima (150 psi)

n : factor de seguridad (2.5)

Por lo tanto, para poder calcular éste valor, es necesario establecer las siguientes medidas:

$$b = 0.03 \text{ m}$$

$$d = 0.016 \text{ m}$$

De la figura 2.15 tenemos que:

$$2t + d = b$$

$$2t = b - d$$

$$t = (b - d) / 2 = (0.03 - 0.016) \text{ m} / 2$$

$$t = 0.007 \text{ m}$$

Entonces:

$$\sigma_H = 150 \text{ psi}(0.016 \text{ m}) \times 2.5 / 2(0.007 \text{ m})$$

$$\sigma_H = 428.57 \text{ psi}$$

Como $\sigma_H \ll S_y$, se garantiza que no habrá problemas de rotura.

³ Ref.[7], Pág. No.201

Para calcular el peso del cuerpo de la pistola, es necesario establecer las siguientes medidas:

$$a = 0.064 \text{ m}$$

$$c = 0.060 \text{ m}$$

Entonces:

$$W_{c.p} = V_{c.p} \times \gamma_{\text{bronce}}; \quad \gamma_{\text{bronce}} = \rho_{\text{bronce}} \times g$$

Donde:

$W_{c.p}$: peso del cuerpo de la pistola.

$V_{c.p}$: Volumen del cuerpo de la pistola.

ρ_{bronce} : 7650 Kg/ m³ (valor obtenido de tabla. Esta tabla se presenta en el anexo No. 3)

$$\gamma_{\text{bronce}} = 7650 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 75046.5 \text{ N/m}^3$$

$$V_{c.p} = A_{c.p} \times L_{c.p}$$

Donde:

$A_{c.p}$: Area del cuerpo de la pistola

$L_{c.p}$: longitud del cuerpo de la pistola

$$A_{c.p} = (\pi/4)(b^2 - d^2)$$

$$A_{c.p} = (\pi/4)[(0.03\text{m})^2 - (0.016 \text{ m})^2]$$

$$A_{c.p} = 5.058 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$L_{c.p} = a + c$$

$$L_{c.p} = 0.064 \text{ m} + 0.060 \text{ m}$$

$$L_{c.p} = 0.124\text{m}$$

Entonces:

$$V_{c.p} = 5.058 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (0.124\text{m})$$

$$V_{c.p} = 6.272 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{c.p} = V_{c.p} \gamma_{\text{bronce}}$$

$$W_{c.p} = 6.27 \times 10^{-5} \text{ m}^3 (75046.5 \text{ N/m}^3)$$

$$W_{c.p} = 4.70 \text{ N} \cong 1.05 \text{ libras.}$$

Del resultado podemos notar que $W_{c.p}$ no sobrepasará el valor de 1.5 libras. Como ya se tiene el diseño de los elementos de la pistola, en el plano No.6 se pueden ver las dimensiones completas de éstos tres elementos y en el plano No. 7 se puede observar el diagrama de ensamble de la pistola. Cabe mencionar que las dimensiones de la tobera y del inyector de aire se asignaron tomando de referencia las dimensiones del cuerpo de la pistola.

2.4 PARAMETROS PARA LA SELECCION DEL COLECTOR DE POLVO

Los parámetros a tener cuenta para la selección del colector de polvo, son básicamente dos recomendaciones de los fabricantes de estos equipos, las cuales se exponen a continuación:

1. Se requerirá una máquina aspiradora, que sea capaz de generar un vacío (presión de succión) de 60 pulg de H_2O ⁴ $\cong 14945 \text{ N/m}^2$.

⁴ Ref[8], Pág. No. 2

2. Para este tamaño de cámara de disparo ($0.92 \text{ m} \times 0.91 \text{ m} \times 0.82 \text{ m} \cong 36'' \times 36'' \times 32''$) y aún para otros tamaños más grandes, se recomiendan que se utilice un colector de polvo de 100 CFM^5 ($100 \text{ pie}^3/\text{min}$) $\cong 0.04723 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Luego de haber establecido los parámetros antes mencionados, ahora se determinará la potencia del motor, como sigue a continuación:

$$P_{OT} = \Delta P \cdot Q_{p-a}$$

Donde:

P_{OT} : Potencia del motor

$\Delta P = 60 \text{ pulg. de H}_2\text{O}$: presión de succión.

$Q_{p-a} = 100 \text{ CFM}$: caudal de la mezcla polvo-aire.

$$\Delta P = 60 \text{ pulg. H}_2\text{O} \cong 14945 \text{ N/m}^2$$

$$Q_{p-a} = 100 \text{ CFM} \cong 0.04723 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$P_{OT} = 14945 \text{ N/m}^2 (0.04723 \text{ m}^3/\text{seg})$$

$$P_{OT} = 705.85 \text{ (N - m) / seg} \cong 71.92 \text{ (Kg - m) / seg} \cong 0.95 \text{ HP}$$

A continuación se dan las especificaciones eléctricas del motor del colector de polvo.

Potencia : 1 HP

Voltaje : 120 V

Corriente : 6.5 Amp

Frecuencia : 60 Hz

No. de fases: 1 fase

⁵ Ref.[10], Pág. No.2040

Ahora bien, en la Escuela se cuenta con una aspiradora, la cual tiene las siguientes especificaciones eléctricas:

Potencia : 1 HP

Voltaje : 120 V

Corriente : 8.5 Amp

Frecuencia : 60 Hz

No. de fases: 1 fase

Además se le hizo la prueba de vacío y el vacuómetro dio una lectura de $\Delta P = 12$ cm de Hg $\cong 64.224$ pulg. de H₂O $\cong 15998.4$ N/m² (valor determinado experimentalmente).

Como se tiene la potencia (Pot = 1 HP $\cong 745.56$ (N - m)/seg) y el ΔP , entonces se puede calcular el caudal que maneja esta aspiradora como sigue a continuación:

$$Q = P_{ot} / \Delta P$$

$$Q = \frac{745.56 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{seg}}}{15998.4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$Q = 0.0466 \text{ m}^3/\text{seg} \cong 98.7 \text{ pie}^3/\text{min} (98.7 \text{ CFM})$$

De lo anterior se concluye que esta aspiradora maneja un caudal de 98.7 CFM, pero la presión de succión es ligeramente mayor que la recomendada; por lo tanto,

esta aspiradora se usará como colector de polvo, con una pequeña modificación en el filtro, al cual se le cambiará su envoltura por otra más grande.

2.5 SELECCION DE MATERIALES Y CALCULO DEL PESO DE LA ESTRUCTURA DEL EQUIPO

En esta sección, primero se hace la selección de los materiales para la estructura del equipo y luego se calcula el peso de la misma, en base a los materiales seleccionados. Para la selección adecuada de los materiales, se toma muy en cuenta los criterios generales del diseño de maquinaria, los cuales se presentan a continuación:

1. Seguridad
2. Facilidad para fabricar
3. Uso de materiales disponibles en el mercado nacional
4. El peso de la estructura del equipo
5. La estética del equipo, que su aspecto resulte atractivo
6. El aspecto económico
7. Facilidad en cuanto a operación y mantenimiento

En base a estos criterios, debe diseñarse para maximizar los beneficios y reducir al mínimo las desventajas.

La sección está dividida en dos partes, una para la cámara de disparo y la otra para la tolva. Después de esto, se presenta una lista de los materiales a utilizar para la fabricación del equipo.

2.5.1 SELECCION DE MATERIALES Y CALCULO DEL PESO DE LA ESTRUCTURA DE LA CAMARA DE DISPARO

Con el propósito de que la cámara de disparo no tenga un peso excesivo, su armazón se fabricará de ángulo de $\frac{3}{4}$ " \times $\frac{3}{4}$ " \times 1/8" y se recubrirá con lámina de 1/16" de espesor.

Para calcular el peso de la cámara de disparo, es necesario determinar la cantidad que se necesita de estos materiales; para ello, se hace uso del plano No. 3, donde se indican todas las dimensiones de la misma; por lo tanto, la cantidad de ángulo y el peso de la armazón se determinan así:

$$L = 0.56 \text{ m (5)} + 0.4 \text{ m (2)} + 0.6 \text{ m (2)} + 0.92 \text{ m (9)} + 0.82 \text{ m (5)} + 0.250 \text{ m (2)} + 0.17 \text{ m (2)}$$

$$L = 18.02 \text{ m}$$

Como este ángulo tiene un peso de 9.25 N (2.08 Lb) por metro, entonces se calcula el peso del armazón así:

$$W_{\text{armazón}} = 18.020 \text{ m} \times 9.25 \text{ N/m}$$

$$W_{\text{armazón}} = 166.68 \text{ N}$$

Como la lámina de 1/16" de espesor tiene un peso de 122.41 N (27.52 Lb) por metro cuadrado, entonces se calcula el peso de la lámina, así:

$$W_{\text{Lámina frente}} = 0.71 \text{ m}^2 \times 122.41 \text{ N/m}^2$$

$$W_{\text{Lámina frente}} = 86.91 \text{ N}$$

De igual manera se calculan los pesos de los otros lados la cámara, los cuales se presentan en la siguiente tabla :

LAMINAS	AREA (m ²)	PESO (N)
Frente	0.710	86.91
Costados	1.412	172.84
Arriba	0.440	53.86
Posterior	0.750	91.81
Total	3.310	405.42

Tabla 2.1 Tabla de pesos de las láminas de la cámara.

Por lo tanto, el peso de la cámara de disparo (sin incluir lámpara, vidrios, ni parrilla con su tornamesa) se puede calcular como sigue a continuación:

$$W_{\text{Cámara de disparo}} = W_{\text{armazón}} + W_{\text{Lámina}}$$

$$W_{\text{Cámara de disparo}} = 166.68 \text{ N} + 405.42 \text{ N}$$

$$W_{\text{Cámara de disparo}} = 572.1 \text{ N} \quad (128.62 \text{ Lb})$$

CALCULO DE CARGAS EN EL TORNAMESA

Aquí se calculan las fuerzas y los esfuerzos principales que se estarán dando en el tornamesa del equipo para luego poder decidir sobre los materiales a utilizar en la fabricación del elemento, o más bien, comprobar que dichos materiales podrán resistir los esfuerzos máximos de trabajo requeridos.

Se asumirá un peso máximo de la pieza de trabajo de 356 N (80 Lb) que estará sobre el tornamesa en la posición más crítica que se pueda dar, como lo muestra la figura 2.16.

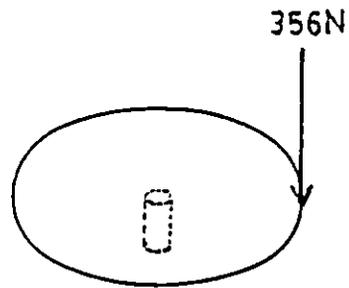
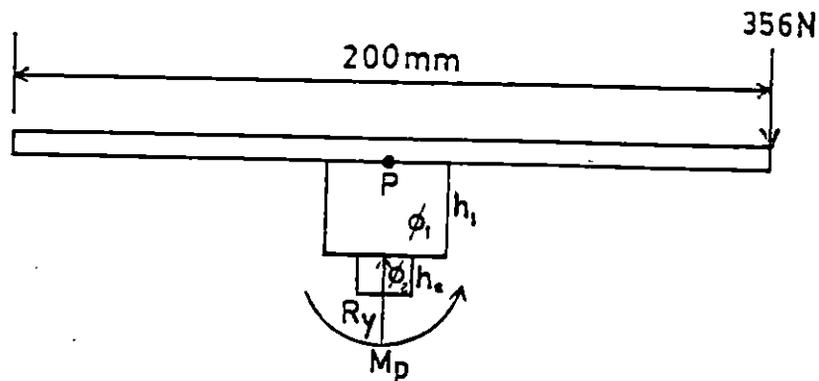


Figura 2.16 Condición crítica de carga.

Haciendo el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) del tornamesa para su equilibrio estático queda así:



Donde:

$$\phi_1 = 34.9 \text{ mm}$$

$$h_1 = 25 \text{ mm}$$

$$\phi_2 = 15 \text{ mm}$$

$$h_2 = 11 \text{ mm}$$

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$R_y - 356 = 0$$

$$R_y = 356 \text{ N.}$$

$$\sum M_p = 0$$

$$M_p - 0.1F = 0$$

$$M_p = 0.1F$$

$$M_p = 0.1 \text{ m} \times 356 \text{ N}$$

$$M_p = 35.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Dado que este momento M_p se ve reflejado en el muñón como una fuerza de reacción R_x , entonces :

$$M_p = 0.025 R_x$$

$$R_x = M_p / 0.025$$

$$R_x = 35.6 \text{ N} \cdot \text{m} / 0.025 \text{ m}$$

$$R_x = 1424 \text{ N}$$

ANALISIS DEL ESFUERZO EN LA SOLDADURA

La soldadura que une el plato del tornamesa con el muñón es una soldadura de costura acanalada simple, continua y circular hecha con electrodo E-6013 y es esta soldadura la que se verá sometida a tensión según el estado crítico de carga máxima aplicada al plato del tornamesa.

Teniendo esta soldadura un espesor aproximado de 4.76 mm (3/16 pulg) y una longitud de 109.64 mm alrededor del muñón.

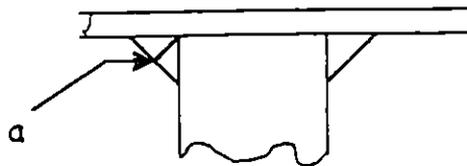


Figura 2.17 Dimensiones de la soldadura.

De la figura 2.17, se tiene:

$$a = 4.76 \text{ mm}$$

$$l = 109.64 \text{ mm}$$

Como en las costuras acanaladas laterales la tensión en la soldadura es :

$$\rho_s = \frac{P}{\Sigma (al)}$$

donde:

- P : Es la fuerza aplicada a la soldadura
- a : Es el espesor de la costura
- l : Es la longitud de la costura
- ρ_s : Tensión de cortadura en la costura.

Para calcular P, se tiene que hacer uso del equilibrio estático del plato, así :

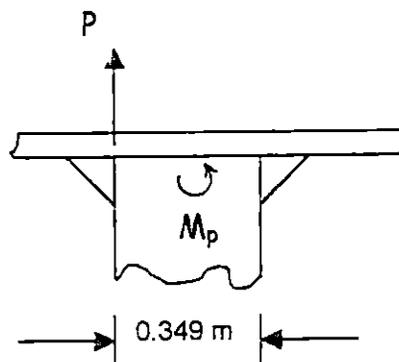


Figura 2.18 Fuerza que soporta la soldadura.

$$M_p = \frac{\phi_1}{2} \cdot P^6$$

$$P = \frac{2M_p}{\phi_1}$$

De donde, sustituyendo datos:

$$P = \frac{2 \times 35.6 \text{ N} \cdot \text{m}}{34.9 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

⁶ Ref[11], Págs. No. 66 y 67

$$P = 2040.11 \text{ N}$$

Por lo que la tensión máxima en el cordón de soldadura es:

$$\rho_s = \frac{2040.11 \text{ N}}{4.76 \times 10^{-3} \text{ m} \times 109.64 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\rho_s = 3.91 \text{ MPa}$$

Ya que éste cordón de soldadura está hecho con electrodo E-6013, lo que indica que tiene una resistencia mínima a la tensión de 60,000 psi = 401.7 MPa.

Comparando éste valor con el de la tensión máxima de la soldadura (3.91 MPa << 401.7 MPa) se concluye que la soldadura en efecto soportará esa carga de trabajo a la que será sometida.

CALCULO DEL PESO DEL TORNAMESA

Del anexo No 3 se puede ver que para el hierro dulce la densidad es de:

$$\rho_{\text{hierro dulce}} = 7800 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = \rho \times g$$

$$\gamma = 7800 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma = 76.52 \text{ kN/m}^3$$

De la figura 2.17 se tiene que:

$$V_{\text{plato}} = \pi \phi^2 h / 4 \quad (\text{volumen del plato})$$

$$= \pi (200 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times 6.35 \times 10^{-3} \text{ m} / 4$$

$$V_{\text{Plato}} = 2.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Del D.C.L del tornamesa para el muñón se tiene que :

$$V_{\text{muñón}} = \pi \phi_1^2 h_1 / 4 + \pi \phi_2^2 h_2 / 4 \quad (\text{Volumen del muñón})$$

$$V_{\text{muñón}} = \pi (34.9 \times 10^{-3} \text{ m}) \times 25 \times 10^{-3} \text{ m} / 4 + \pi (15 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times 11 \times 10^{-3} \text{ m} / 4$$

$$V_{\text{muñón}} = 2.59 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Entonces, el volumen del plato y muñón se calcula así:

$$V_{\text{Plato y muñón}} = V_{\text{Plato}} + V_{\text{muñón}}$$

$$V_{\text{Plato y muñón}} = 2.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 2.59 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Plato y muñón}} = 2.26 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Y el peso del plato y muñón se calcula con la siguiente expresión:

$$W_{\text{Plato y Muñón}} = \gamma_{\text{hierro dulce}} \times V_{\text{Plato y muñón}}$$

$$W_{\text{Plato y Muñón}} = 76.52 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \times 2.26 \times 10^{-4} \text{ m}^3.$$

$$W_{\text{Plato y Muñón}} = 17.29 \text{ N} \equiv 3.89 \text{ Lb}$$

CALCULO DEL PESO DE LA CUNA DEL BALERO

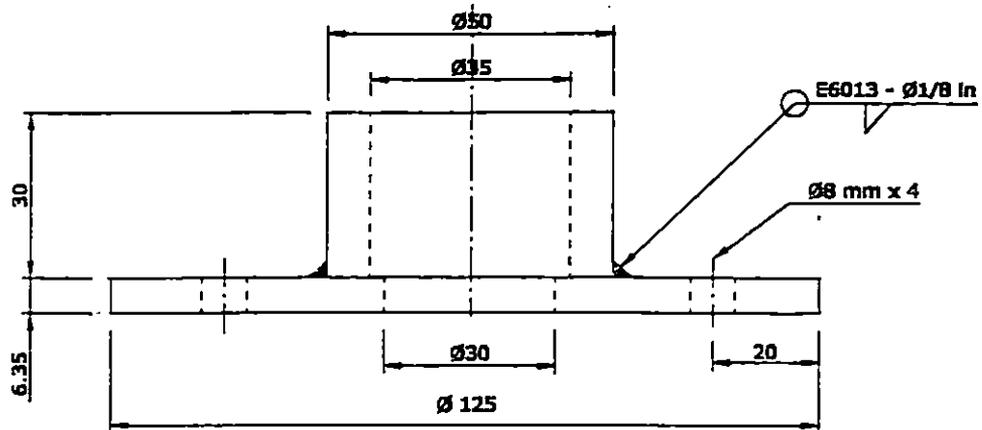


Figura 2.19 Cuna del balero.

De la figura 2.19 se tiene que el volumen de la cuna del balero se calcula así:

$$V_{\text{cuna}} = V_{\text{de la cavidad del balero}} + V_{\text{base}}$$

Sustituyendo valores se tiene que:

$$V_{\text{cuna}} = \pi(30 \times 10^{-3} \text{ m})[(50 \times 10^{-3} \text{ m})^2 - (35 \times 10^{-3} \text{ m})^2]/4 + \\ (125 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (125 \times 10^{-3} \text{ m}) \times 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$V_{\text{cuna}} = 1.29 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

El peso de la cuna del balero se calcula así:

$$W_{\text{cuna}} = \gamma_{\text{hierro dulce}} \times V_{\text{cuna}} \\ = 76.52 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \times 1.29 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ = 9.87 \text{ N} \equiv 2.22 \text{ Lb.}$$

Entonces el peso de todo el tornamesa es:

$$W_{\text{tornamesa}} = W_{\text{Plato y muñón}} + W_{\text{cuna}}$$

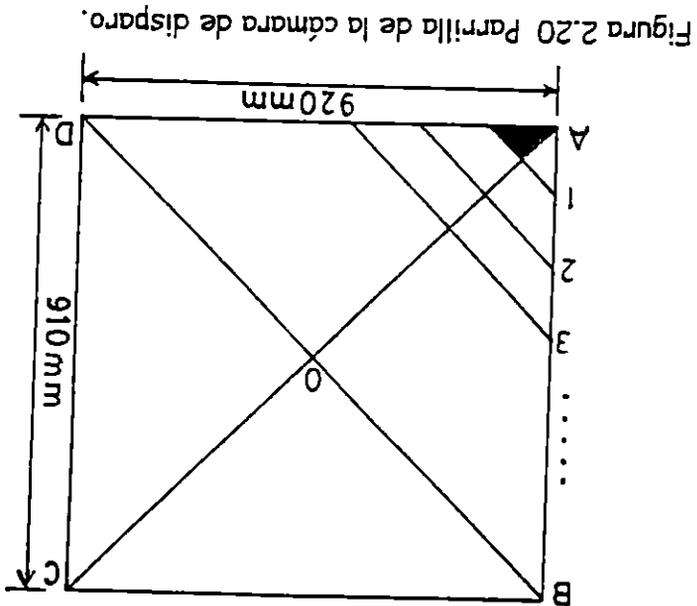
$$W_{\text{tornamesa}} = 17.29 \text{ N} + 9.87 \text{ N}$$

$$W_{\text{tornamesa}} = 27.16 \text{ N} = 6.11 \text{ Lb}$$

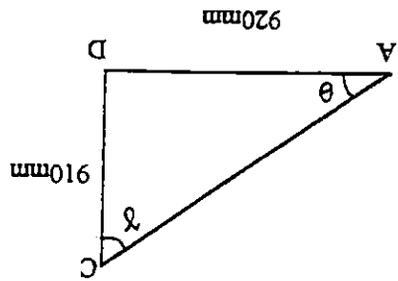
CALCULO DEL PESO DE LA PARRILLA CON LA CARGA

Primero se calculará el peso de la parrilla sola y luego se le agregará el peso del tornamesa con la carga máxima de trabajo.

Peso de la Parrilla (solamente de la varilla de $\phi \frac{1}{4}$ ")



De la figura 2.20 se tiene que:



$$\tan \theta = 910\text{mm}/920\text{mm}$$

$$\theta = 44.7^\circ$$

$$\gamma = 180^\circ - 90^\circ - 44.7^\circ$$

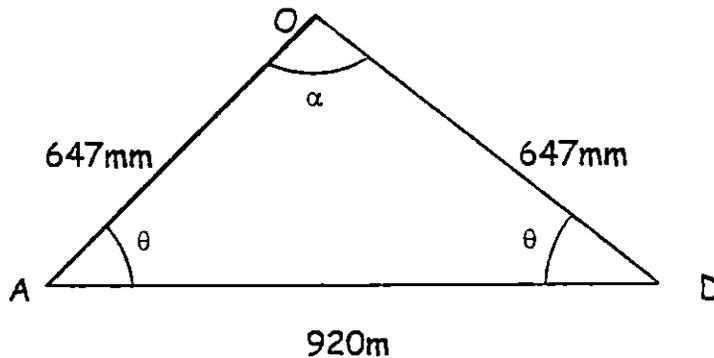
$$\gamma = 45.3^\circ$$

Por Pitágoras:

$$AC = \sqrt{(920\text{mm})^2 + (910\text{mm})^2}$$

$$AC = 1294 \text{ mm}$$

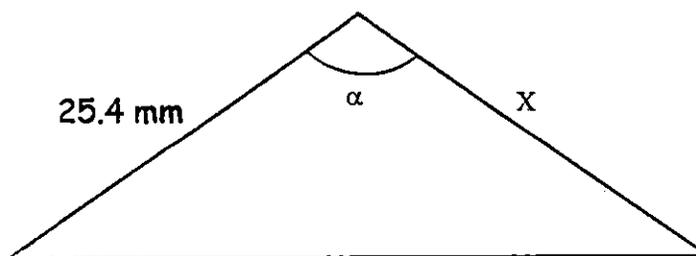
De las dos diagonales de la figura 2.20 se tiene también el siguiente triángulo isósceles:



Entonces:

$$\begin{aligned}\alpha &= 180^\circ - 2\theta \\ &= 180^\circ - 2(44.7^\circ) \\ &= 90.6^\circ\end{aligned}$$

Para calcular la longitud de las varillas de la parrilla, se hace uso del triángulo sombreado de la figura 2.20, en el cual la distancia de 25.4 mm es la separación que habrá de un extremo de una varilla respecto a la otra.



De donde se deduce que $X = 25.4\text{mm}$ por tratarse de un triángulo isósceles. Entonces la primer varilla tendrá una longitud de:

$$2X = 2(25.4\text{mm}) = 50.8 \text{ mm (como ejemplo)}$$

Este mismo proceso se realiza para las varillas siguientes y poder determinar la cantidad de varillas que se necesita para la mitad de la parrilla, y luego este valor lo multiplicamos por cuatro (4) para tener la longitud total de varillas para los dos tendidos que formaran cuadrados de 1". También se puede calcular el número de pedazos de varilla que irán por cada tendido, como se indica a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Espacio entre varillas más diámetro de la varilla} &= 25.4\text{mm} + 6.35\text{mm} \\ &= 31.75\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{No de varillas} = AC/31.75 = 1294\text{mm}/31.75\text{mm} = 40 \text{ varillas por cada tendido.}$$

Esto implica que a la mitad de la parrilla habrán 20 varillas.

No de varillas	Largo (mm)
1	50.8
2	101.6
3	152.4
4	203.2
5	254
6	304.8
7	355.6
8	406.4
9	457.2
10	508
11	558.8
12	609.6
13	660.4
14	711.2
15	762
16	812.8
17	863.6
18	914.4
19	965.2
20	1016
	<hr/>
	10,669 mm

Entonces la longitud, total se calcula así:

$$L_{\text{Total}} = 4(10,669 \text{ mm})$$

$$L_{\text{Total}} = 42676 \text{ mm} \equiv 42.676 \text{ m}$$

Y el volumen de las varillas se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{\text{varillas}} = \pi \phi_{\text{varilla}}^2 \times L_{\text{Total}} / 4$$

$$V_{\text{varillas}} = \pi (6.35 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times 42.676 \text{ m} / 4$$

$$V_{\text{varillas}} = 1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Ahora, se puede calcular el peso del enrejado de las varillas así:

$$\begin{aligned} W_{\text{enrejado de varillas}} &= \gamma_{\text{hierro dulce}} \times V_{\text{varillas}} \\ &= 76.52 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \times 1.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$W_{\text{enrejado de varillas}} = 103.42 \text{ N} \equiv 23.25 \text{ Lb}$$

La parrilla lleva una estructura de refuerzo para la colocación del tornamesa la cual es de ángulo de $\frac{3}{4}'' \times \frac{3}{4}'' \times 1/8''$ encajuelado, soldado al marco de la parrilla formando una cruz, como se muestra en la figura 2.21

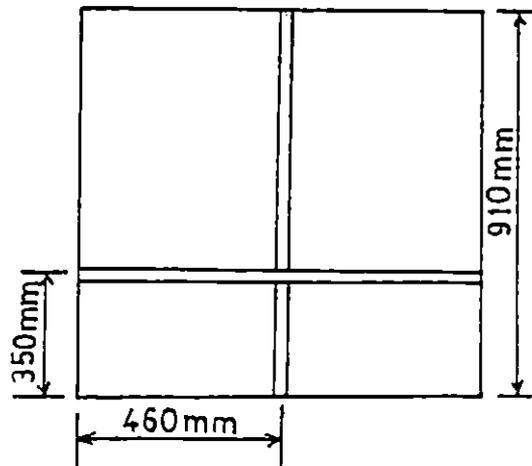


Figura 2.21 Base de la parrilla.

De la figura 2.21 se tiene que:

El largo del ángulo de $\frac{3}{4}$ " \times $\frac{3}{4}$ " \times $\frac{1}{8}$ " encajuelado es de:

$$L_{\text{refuerzo}} = [920\text{mm} + (910\text{ mm} - 19.05\text{mm})] \times 2$$

$$L_{\text{refuerzo}} = 3621.5\text{ mm} \equiv 3.6215\text{ m}$$

Como el ángulo de $\frac{3}{4}$ " \times $\frac{3}{4}$ " \times $\frac{1}{8}$ " tiene un peso de 9.25 N/m (2.08 Lb/m), entonces, el peso del refuerzo se calcula así:

$$W_{\text{refuerzo}} = 3.6215\text{ m} \times 9.25/\text{m}$$

$$W_{\text{refuerzo}} = 33.50\text{ N} \equiv 7.53\text{ Lb}$$

Ahora se calculará el peso del marco de la parrilla, el cual se fabricará del ángulo de 1" \times 1" \times $\frac{1}{8}$ "

De la figura 2.21 se tiene que:

El largo del ángulo de 1" \times 1" \times $\frac{1}{8}$ " para el marco es de:

$$L_{\text{marco}} = 2(920) + 2(910) = 3660\text{ mm} \equiv 3.66\text{ m}$$

Como el ángulo de 1" \times 1" \times $\frac{1}{8}$ " tiene un peso de 14.5 N/m, entonces, el peso del marco se calcula así:

$$W_{\text{marco}} = 3.66\text{ m} \times 14.5\text{ N/m}$$

$$W_{\text{marco}} = 53.07\text{ N} \equiv 11.93\text{ Lb}$$

Ahora se calcula el peso total de la parrilla incluyendo el tornamesa con su carga, así:

$$W_{\text{parrilla}} = W_{\text{carga}} + W_{\text{tornamesa}} + W_{\text{enrejado de varillas}} + W_{\text{refuerzo}} + W_{\text{marco}}$$

$$W_{\text{parrilla}} = 356 \text{ N} + 27.16 \text{ N} + 103.42 \text{ N} + 33.50 \text{ N} + 53.07 \text{ N}$$

$$W_{\text{parrilla}} = 573.15 \text{ N} \equiv 128.82 \text{ Lb}$$

2.5.2 SELECCION DE MATERIALES Y CALCULO DEL PESO DE LA ESTRUCTURA DE LA TOLVA

Para seleccionar el material adecuado para las patas del equipo, es necesario establecer el peso total que estarán soportando dichas bases; para ello, es necesario calcular el peso de la estructura de la tolva y luego sumarlo con el peso de la cámara de disparo, el peso de la parrilla y por supuesto el peso de la arena. Para un lateral de la tolva se tiene la siguiente figura:

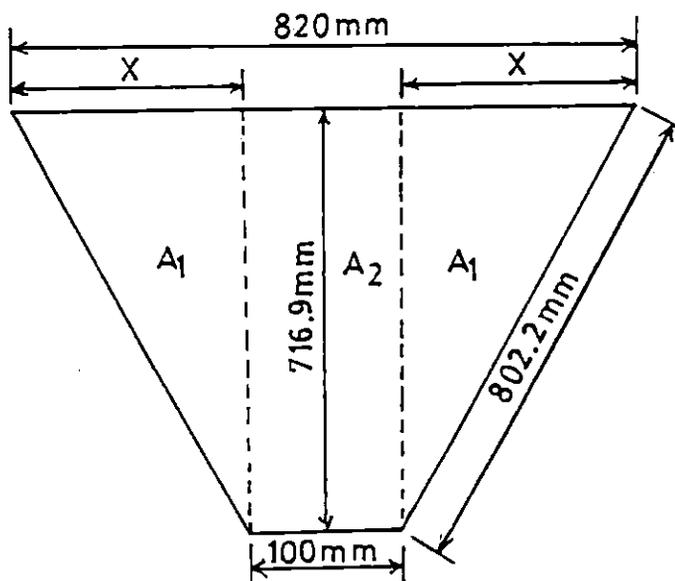


Figura 2.22 Sección lateral de la tolva.

De la figura 2.22 se calcula el valor de X así:

$$820\text{mm} - 100\text{mm} = 720 \text{ mm}$$

$$X = 720 \text{ mm} / 2 = 360 \text{ mm}$$



El área para un lateral de la tolva es:

$$2 A_1 + A_2 = (360 \times 10^{-3} \text{ m}) (716.9 \times 10^{-3} \text{ m}) + (100 \times 10^{-3} \text{ m})(716.9 \times 10^{-3} \text{ m})$$

$$2 A_1 + A_2 = 0.33 \text{ m}^2$$

Ahora se calcula el área total de los 4 laterales de la tolva:

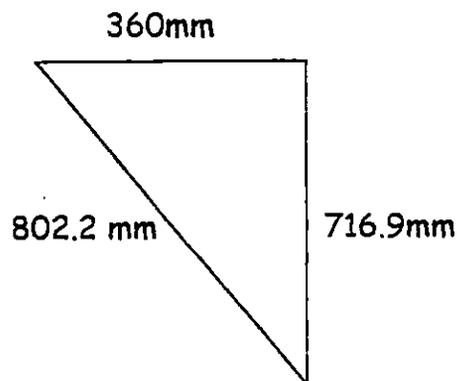
$$A_{\text{Tolva}} = 4(2 A_1 + A_2)$$

$$A_{\text{Tolva}} = 4(0.33 \text{ m}^2) = 1.32 \text{ m}^2$$

Entonces el peso de la lámina de la tolva se determina así:

$$\begin{aligned} W_{\text{Lámina tolva}} &= 1.32 \text{ m}^2 \times 122.41 \text{ N/m}^2 \\ &= 161.58 \text{ N} \equiv 36.33 \text{ Lb} \end{aligned}$$

Además, la tolva estará conformada en sus cuatro esquinas laterales por 4 ángulos de $\frac{3}{4}'' \times \frac{3}{4}'' \times 1/8''$, como se muestra en la sección triangular de la figura 2.22.



Entonces, el peso del ángulo de la tolva se calcula así:

$$W_{\text{ángulo}} = 802.2 \times 10^{-3} \text{ m} \times 9.25 \text{ N/m} \times 4$$

$$W_{\text{ángulo}} = 29.68 \text{ N} \equiv 6.67 \text{ Lb}$$

Ahora se calcula el peso de la tolva con la siguiente expresión:

$$W_{\text{Tolva}} = W_{\text{Lámina tolva}} + W_{\text{ángulo}}$$

$$W_{\text{Tolva}} = 161.58 \text{ N} + 29.68 \text{ N}$$

$$W_{\text{Tolva}} = 191.26 \text{ N} \equiv 43.0 \text{ Lb}$$

Ahora se calculará el peso total que estarán soportando las cuatro (4) patas del equipo:

$$W_{\text{Total}} = W_{\text{cámara de disparo}} + W_{\text{Parrilla}} + W_{\text{tolva}} + W_{\text{arena}}$$

$$W_{\text{Total}} = 572.1 \text{ N} + 573.15 \text{ N} + 191.26 \text{ N} + 222.4 \text{ N}$$

$$W_{\text{Total}} = 1558.91 \text{ N} \equiv 350.4 \text{ Lb}$$

Este es el peso que soportarán las patas del equipo, entonces en cada una de ellas habrá una fuerza de:

$$F_{\text{por pata}} = 1558.91 \text{ N} / 4 = 389.73 \text{ N} \equiv 87.6 \text{ Lb}$$

Como el material que se utilizará para la fabricación de las patas es ángulo de 2"x2"x 1/8" encajuelado para una mayor fiabilidad, entonces, ahora se hace el cálculo para verificar que el material seleccionado resista la carga que ha de estar soportado.

Para los dos ángulos encajuelados se tiene un área transversal de:

$$2(3.12 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 6.24 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Teniendo un esfuerzo por compresión en cada pata de:

$$S_{\text{Por pata}} = \frac{389.73N}{6.24 \times 10^{-4} m^2}$$

$$S_{\text{Por pata}} = 0.62 \text{ MPa.}$$

Del anexo No. 3 también se puede ver que para el hierro dulce la resistencia a la tensión es de 480 MPa y como este valor es mucho mayor que el esfuerzo en cada pata, entonces, las patas se podrán fabricar con el material antes mencionado y estarán en condiciones de resistir la carga de trabajo.

Luego de haber seleccionado materiales para la estructura del equipo y haber calculado el peso de los mismos, a continuación se presenta una tabla con el resumen de los materiales a utilizar en la fabricación del equipo (tabla 2.2). Cabe mencionar que en esta tabla también se incluyen otros materiales (no metálicos), que se utilizarán en la fabricación y acabado del equipo.

CANTIDAD	MATERIALES A UTILIZAR EN LA FABRICACION DEL EQUIPO
4	Angulo de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " x $1/8$ "
1	Angulo de 1"x1"x $1/8$ "
8	Varillas de $\phi \frac{1}{4}$ "
4	Lámina negra de 2m x 1m de $1/16$ " de espesor
5 pulg	Tubería cédula 20 de ϕ 150 mm
2 $\frac{1}{2}$ pulg	Tubería cédula 40 de ϕ 1 $5/8$ "
1	Lámina negra de 750mm x 250mm de $\frac{1}{4}$ " de espesor
1	Lámina negra de 100mm x 100mm de $\frac{1}{2}$ " de espesor
1	Tubo de acero inoxidable de 4" x ϕ $5/8$ "
3 m	Platina de $\frac{3}{4}$ " x $1/8$ "
1	Barra de hierro dulce de 4" x ϕ 2"
1	Barra de bronce fosfórico de 9" x ϕ 1 $\frac{1}{4}$ "
1	Barra de acero AISI 1085 de 5" x ϕ $\frac{3}{4}$ "
1	Tela cedazo galvanizada de 1m x 1m con agujeros de ϕ 1mm
1	Tubo estructural de 2" x 2" x $1/8$ "
1	Angulo de 2" x 2" x $1/8$ "
2	Cajas de electrodo 6013 de ϕ $1/8$ "
1	Neumático de hule para empaques
2 m	Tubería galvanizada de ϕ $\frac{1}{2}$ "
2	Bisagras de 2"
2	Pliegos de lija de agua No. 600
3	Pliegos de lija de agua No. 100
$\frac{1}{4}$ galón	Masilla jet bond
1	Catalizador para masilla
$\frac{1}{2}$ galón	Pintura martillada gris
$1/8$ galón	Solvente industrial R2K4
1	Tubo de silicone negro
4 mts	Empaque para vidrio de 20mm de ancho
1	Vidrio dúplex de 530 mm x 230 mm
1	Vidrio de 640mm x 150 mm
50	Pernos con tuercas y arandelas de 1" x ϕ $\frac{1}{4}$ "
2	Abrazaderas de ϕ 7"
2	Abrazaderas de ϕ 4"
2	Abrazaderas de ϕ 1 $\frac{1}{2}$ "
1	O-ring de $\phi_{ext} = 5/8$ " y $\phi_{int} = \frac{1}{2}$ "

Tabla 2.2 Listado de los materiales a utilizar en la fabricación del equipo.

CAPITULO III

CALCULO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

El cálculo del sistema de suministro de aire, comprende básicamente lo que es la selección de compresor, la capacidad del acumulador y la selección de todos aquellos accesorios que formarán parte de éste sistema, como por ejemplo: la tubería, válvulas, mangueras, regulador de presión, etc.

3.1 SELECCION DE LA CAPACIDAD DEL COMPRESOR

Para la selección del compresor es necesario conocer el consumo de aire en pies cúbicos por minuto (CFM) por parte del equipo y también es necesario estimar el nivel de presión de funcionamiento del equipo y del compresor. Estas consideraciones son las más importantes, cuando se selecciona un compresor para una aplicación particular.

Del capítulo II se sabe que el consumo de aire del equipo es:

$$Q_{\text{aire}} = 10.5 \text{ pie}^3/\text{min} \text{ (} 0.3 \text{ m}^3/\text{min)}$$

Además el nivel de presión de funcionamiento del equipo es de 80 psi (5.52 bar).

Por lo tanto, del anexo No. 4 se elige la potencia del compresor que es de 1HP, de una etapa para uso intermitente de trabajo.

3.2 DETERMINACION DEL TAMAÑO DEL ACUMULADOR

Los acumuladores similares al mostrado en la figura 3.1, se usan para una variedad de propósitos. El más importante es su habilidad para almacenar aire comprimido. Cuando se seleccione un acumulador de aire para una aplicación, debe ser del tamaño correcto para el volumen de aire en el sistema. Esto permite al depósito recibir equilibrar la capacidad disponible del compresor contra las demandas de flujo de aire máximas mucho mayores que ocurren.

Un depósito receptor de aire.

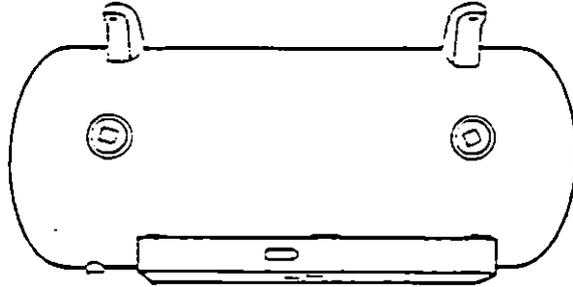


Figura 3.1 Depósito receptor de aire

El tamaño del acumulador depende de los siguientes criterios:

- Caudal del compresor
- Cantidad de aire requerida por el equipo
- Variación de presión permisible en el sistema de suministro
- Regulación del compresor o número de conmutaciones por hora

Estos últimos dos criterios se seleccionan de acuerdo a los requerimientos de operación del compresor. Por lo tanto, las magnitudes de estos parámetros son las siguientes:

- Consumo de aire del equipo : $Q_{\text{aire}} = 0.3 \text{ m}^3/\text{min}$
- Variación de presión : $\Delta P = 0.25 \text{ bar}$
- Conmutaciones/hora : $Z = 20$

Del anexo No. 5, se obtiene un volumen del acumulador de $V_a = 0.85 \text{ m}^3$.

En las secciones 3.1 y 3.2 se ha establecido la potencia del compresor y el tamaño del acumulador que se necesita para el funcionamiento del equipo; pero para este proyecto se usará un compresor de 10HP (existente en la Escuela de Ingeniería Mecánica U.E.S), el cual tiene una capacidad máxima de presión de 12 bar, para que pueda suplir la demanda de aire consumido por el equipo de sandblasting y cualquier otra derivación de aire que quiera ser instalada en un futuro para otros usos.

3.3 LA CALIDAD DEL AIRE

Cuando hablamos de la calidad de aire, nos referimos a ciertas propiedades que debe poseer el aire para ejecutar una función satisfactoria y adecuada.

Para garantizar la confiabilidad de operación del equipo de sandblasting, es necesario que el aire alimentado al equipo tenga un nivel de calidad. Ello implica que el aire debe tener las siguientes condiciones:

- Presión correcta
- Aire seco
- Aire limpio

Para que el equipo funcione económicamente, es suficiente aplicar una presión de trabajo de 6 bar. Además, es importante que la presión del aire sea constante para que el equipo no ocasione problemas; esto implica, instalar un regulador de presión para mantener un nivel constante de la presión.

El aire aspirado por el compresor siempre contiene cierto grado de humedad. Este contenido de humedad es expresado como un porcentaje de humedad relativa, la cual depende de la temperatura y de la presión.

Para que el equipo funcione adecuadamente es necesario que la humedad relativa sea menor que 36%.

El aire suministrado al equipo deber ser un aire limpio, para ello, el compresor deberá contar con un filtro de aspiración.

En consecuencia, para tener la seguridad que el aire tiene la calidad requerida, se recurre a una unidad de mantenimiento sin lubricación.

3.4 SELECCION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA PARA EL SUMINISTRO DE AIRE

Para la selección del diámetro de la tubería para el suministro de aire, se hace uso de las tablas (como la tabla 3.1) en las cuales se sugieren los diámetros adecuados, dependiendo del caudal a manejar en el sistema y de la longitud de la tubería.

Tabla 3-1 Corriente de Aire en Tuberías			
Volumen de Aire (cfm—pies cubicos por minuto)	Largo en Pies		
	25—200	200—500	500—1000
	Diámetro Nominal de la Tubería		
30— 60	1	1	1½
60— 100	1	1½	2½
100— 200	1½	1½	2
200— 500	2	2½	3
500—1000	2½	3	3½
1000—2000	2½	4	4½
2000—4000	3½	5	6
4000—8000	6	8	8

Tabla 3.1 Tamaños de tubería para transmitir aire comprimido alrededor de 100 psi.

Por la particularidad de la aplicación, el valor de caudal a manejar por este sistema no se tipifica en tablas (ya que es muy pequeño), por lo que se recurrió a la consulta técnica, obteniendo la siguiente recomendación:

Usar tubería galvanizada de $\phi \frac{1}{2}$ " para el pequeño tramo de tubería para el suministro de aire.

3.5 SELECCION DE LOS ACCESORIOS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

El sistema de alimentación o suministro de aire deberá contar con un compresor, un pequeño tramo de tubería, una válvula de compuerta, un regulador de presión de aire, acoples, reductores, niples, mangueras, una válvula neumática de pedal, abrazaderas y cinta teflón.

A continuación se presenta una breve descripción de los accesorios más importantes a utilizar en este sistema:

- **Compresor:** El compresor se usa como fuente de energía del sistema.
- **Regulador de presión de aire:** Este accesorio servirá para setear la presión de operación del sistema.
- **Válvula de compuerta:** Esta válvula se instala antes del regulador de presión, con el fin de regular el paso de aire e impedir que la presión del acumulador pase directamente hacia el regulador de presión de aire.
- **Mangueras:** El equipo requiere de dos tipos de mangueras, una manguera para la conducción del aire y otra manguera para la conducción del abrasivo.
- **Válvula neumática de pedal:** Esta válvula se instala después del regulador de presión para realizar y controlar el proceso de limpieza.
- **Acoples, reductores, niples y cinta teflón:** Estos accesorios se instalan para facilitar el empalme entre un accesorio y otro.
- **Abrazaderas:** Estos accesorios se usan para la sujeción de la tubería en el equipo.

En el plano No 8, se puede observar el diagrama de ensamble de los accesorios más importantes del sistema de suministro de aire.

A continuación se presenta una tabla con el resumen de los accesorios a utilizar en el sistema de suministro de aire (Tabla 3.2).

CANTIDAD	ACCESORIOS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE
1	Compresor de 10 HP, de 0 - 12 bar
1	Regulador de presión de aire de $\phi \frac{1}{4}$ " de 0 - 200 psi
1	Válvula de compuerta de $\phi \frac{1}{2}$ "
1 pie	Tubería galvanizada de $\phi \frac{1}{2}$ " para el suministro de aire
1	Válvula de neumática de pedal de $\phi \frac{1}{4}$ "
3	Mangueras con acoples para aire comprimido (300 psi) de 41" x $\phi \frac{1}{4}$ "
1	Manguera para la alimentación de aire al equipo
1	Tapón reductor de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{4}$ "
1	Tapón reductor de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ "
1	Válvula de cierre rápido de $\phi \frac{1}{4}$ "
4	Niples de 2" x $\phi \frac{1}{4}$ "
1	Rollo de cinta teflón
1	Reductor campana de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ "
1	Acople rápido de $\phi \frac{1}{4}$ "

Tabla 3.2 Listado de los accesorios para el sistema de suministro de aire.

CAPITULO IV

SELECCION DE LOS ACCESORIOS DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

Para la selección adecuada de los accesorios que constituyen el equipo, se consideran ciertos factores que intervienen directamente en la misma; estos factores son:

- Disponibilidad de servicio de accesorios
- Facilidad de ensamble, operación y mantenimiento
- Tamaño reducido y de poco peso
- Costo de adquisición relativamente bajo
- Confiabilidad de la vida útil

Estos factores, son los que rigen la selección de los accesorios del equipo. Es muy importante contar con los proveedores de los accesorios para la adquisición de los mismo, en un dado caso que se necesiten. Además, los accesorios deben ser de buena calidad para garantizar la vida útil a la cual han sido destinados. También deberán ser de costo relativamente bajo y que su tamaño y peso sean reducidos para que faciliten las funciones de operación y mantenimiento del equipo.

4.1 LISTADO DE LOS ACCESORIOS CONSTITUTIVOS DEL EQUIPO

El listado de los accesorios constitutivos del equipo de sandblasting, involucra tres parámetros que influyen en la selección adecuada de los mismo, estos parámetros son:

- 1) **Tamaño** : La selección del tamaño de los accesorios está regida por el tamaño del equipo; para el cual, la importancia radica en el ahorro de espacio en la ubicación del equipo en una pequeña instalación.
- 2) **Tipo** : Se refiere a la característica de facilitar las funciones de ensamble, operación y mantenimiento.
- 3) **Capacidad** : Se refiere a la propiedad de soportar o resistir los daños que puedan ocurrir durante el proceso de limpieza.

Los accesorios necesarios para constituir el equipo de sandblasting, son los que se detallan en la siguiente tabla:

CANTIDAD	ACCESORIOS CONSTITUTIVOS DEL EQUIPO
1	Colector de polvo (aspiradora) de 1 HP a 120 V _{AC}
1	Lámpara fluorescente de 24" a 120 V _{AC} .
1	Interruptor eléctrico con toma hembra polarizado a 120 V _{AC} .
1	Toma macho polarizado a 120 V _{AC} .
4 m	Cable vulcan TSJ No 12 de 3 hilos
1	Para de guantes de 13" x ϕ 6"
1	Tubo sifón de 1500mm x ϕ $\frac{1}{2}$ "
25 Lb	Abrasivo (arena)
3 pies	Manguera para abrasivo de ϕ 5/8"
1	Balero de rodillos cónicos No 302 02 FAG
2	Sujetadores de compuerta
2	Rodos giratorios de ϕ 3"
2	Rodos fijos de ϕ 3"

Tabla 4.1 Listado de los accesorios constitutivos del equipo.

CAPITULO V

INVESTIGACION Y SELECCION DE ARENAS DE ORIGEN LOCAL PARA USOS EN PROCESOS DE SANDBLASTING

Esta sección, contiene la información de una de las fase del proyecto de mayor importancia, ya que aquí se presenta todo el proceso de la investigación realizada sobre las arenas de nuestro país, con el propósito de establecer si dichas arenas pueden ser o no usadas como medio abrasivo en procesos de sandblasting; aunque en ésta etapa, no se presentan resultados de la acción abrasiva de cada una de ellas.

5.1 ORIGEN Y CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS ARENAS LOCALES

Las arenas tienen un origen común que es la roca madre y son producidas por la desintegración mecánica de los minerales. Las arenas naturales se obtienen de la naturaleza con la sílice y arcilla adecuadas. Dichas arenas al ser arrastradas por las corrientes, sus elementos constitutivos sufren una especie de separación de acuerdo al peso específico de cada uno de ellos. Además, los agentes atmosféricos, al arrastrar sus elementos solubles, efectúan un trabajo continuo de descomposición que modifica gradualmente la naturaleza de las arenas.

Las arenas muchas veces se presentan formando capas gruesas en terrenos de formación antigua o reciente. Para poderlas detectar, es necesario hacer hoyos

hasta encontrarlas. De este modo se han constituido los bancos de arenas naturales del país, las cuales, presentan características distintas según esté de avanzado el proceso de descomposición de las mismas.

En nuestro país, las arenas tienen específicamente los siguientes lugares de origen:

- Los ríos
- Las minas (terrenos) y
- El mar

Las arenas de ríos se caracterizan por el contenido de silicatos, cuarzo, hierro magnético y otros minerales. La forma de sus granos es con aristas en ángulo o redondeadas, ya que el choque de los granos de arena durante el arrastre es fuerte y el desgaste es relativamente rápido. Entre mayor es el arrastre, el grano tiende a ser más esférico, ya que sufre mayor desgaste. El color de éstas arenas es entre blanco, rojizo y gris, son las arenas que presentan mayor variedad en su color.

Las arenas de minas se caracterizan por el contenido de cenizas, lava, tierra y algunos cristales. Sus granos son más redondeados que angulares. Además el color de sus granos tiende a ser gris o color ceniza. Estas arenas se obtienen de terrenos donde hay bancos arenosos.

Las arenas de mar se caracterizan por el alto contenido de hierro magnético y restos conchíferos. Sus granos son más angulares que esféricos y son más

brillantes. El inconveniente que estas arenas tienen, es su alto contenido de sal, la cual contamina y corroe los materiales ferrosos que entran en contacto con ella. Estas arenas se distinguen por ser muy finas y por ser de color negro.

De lo anterior, se puede decir que las arenas de ríos y de minas son las más recomendadas para ser usadas en procesos de sandblasting; por lo tanto, es en estas arenas que se centrará la selección e investigación de las mismas.

5.2 SELECCION Y LISTADO DE LAS ARENAS OBTENIDAS

La selección de las arenas se hace en base a las tres zonas principales de nuestro país, la zona central, oriental y occidental; esto, con el fin de tener una buena representatividad de los bancos de arenas del país.

A continuación se presenta un listado de los lugares seleccionados de nuestro país para la obtención de las arenas a analizar.

1. Zona Central (San Salvador)
 - Arena del río sucio en San Miguelito
 - Arena del río las Cañas en Tonacatepeque

2. Zona Oriental (Usulután y San Miguel)
 - Arena del río Lempa en el puente Cuscatlán, Usulután.
 - Arena de la Mina de Aramuaca sobre la carretera que va de San Miguel a La Unión.

3. Zona Occidental (Santa Ana y Ahuachapan)
 - Arena del río Amulunga en Santa Ana
 - Arena del río San Lorenzo en Atiquizaya, Ahuachapan.

Estos son los lugares de procedencia (6 en total) de las arenas obtenidas para la investigación sobre usos en procesos de sandblasting.

5.3 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS A DETERMINAR EN LAS ARENAS OBTENIDAS

Las características fisicoquímicas de las arenas obtenidas que más interesa conocer y comprobar son:

- a) La dimensión o tamaño de los granos
 - b) La forma de los granos y
 - c) El análisis químico
-
- a) Tamaño de los granos. Para determinar el tamaño de los granos de una arena se efectúa el proceso de tamizado, el cual consiste en hacer pasar la arena a través de una serie de cedazos metálicos de mallas decrecientes, como los mostrados en la figura 5.1. El tamaño del grano de la arena contenida en cada cedazo se determina por su respectiva apertura de malla.

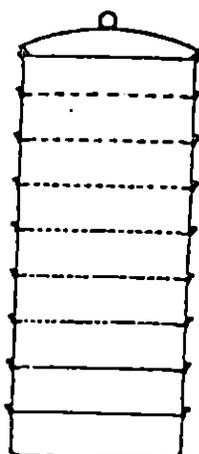


Figura 5.1 Cedazos en columna en serie decreciente de mallas: al cabo de unos minutos de sacudimiento, la arena se distribuye entre los cedazos según las dimensiones de los granos.

Las series unificadas de cedazos más usadas son las americanas de la A.F.S (Sociedad Americana de Fundidores), constituida por once cedazos numerados correlativamente, cada uno de los cuales se caracteriza por un determinado tamaño de malla, y las Fischer, compuestas de siete cedazos correspondientes a las normas alemanas DIN (Ver tabla 5.1)

SERIE A.F.S.			SERIE FISCHER (DIN)	
Número del cedazo	Apertura de malla mm	Factor α	Número del cedazo	Apertura de malla mm
6	3,36	3	—	—
12	1,68	5	4	1,50
20	0,84	10	6	1
30	0,59	20	10	0,6
40	0,42	30	—	—
50	0,297	40	20	0,30
70	0,210	50	30	0,20
100	0,149	70	—	—
140	0,105	100	60	0,10
200	0,074	140	—	—
270	0,053	200	100	0,06
fondo	—	300	fondo	—

Tabla 5.1 Características de los cedazos A.F.S y de los cedazos Fischer.

La arena retenida en cada cedazo puede ser clasificada según el tamaño de sus granos, del modo siguiente:

- a) Arena muy gruesa: Tamaño de granos A.F.S. inferior a 18 (granos comprendidos entre 1 y 2 mm).
- b) Arena gruesa : Tamaño de granos A.F.S. comprendido entre 18 y 35 (granos comprendidos entre 0.5 y 1mm).
- c) Arena Media : Tamaño de granos A.F.S. comprendido entre 35 y 60 (granos comprendidos entre 0.25 y 0.5 mm).
- d) Arena Fina : Tamaño de granos A.F.S. comprendidos entre 60 y 150 (granos comprendidos entre 0.10 y 0.25mm).
- e) Arena Finísima : Tamaño de granos A.F.S. mayor de 150 (granos inferiores a 0.10mm).

Con esta información, se puede clasificar la arena retenida en cada cedazo según el tamaño de los granos correspondiente a la apertura de malla de los cedazos que se estén utilizando.

- b) Forma de los granos. La forma de los granos permite establecer el probable comportamiento de la arena, en cuanto a su acción abrasiva. Este examen se realiza en el microscopio. La distinción entre granos redondos y granos angulosos es puramente indicativa, de hecho, no existen arenas con todos los granos esferoidales o todos sus granos angulados, sino que tienen una mezcla de las dos formas de los granos (angular y esférico); las cuales se conocen como arenas de granos compuestos. En la figura 5.2 se pueden ver las formas de los granos antes mencionados.



Figura 5.2 Formas de los granos: a la izquierda, grano esferoidal; en el centro, grano angulado; a la derecha, grano compuesto.

El redondeamiento es un fenómeno provocado por la acción abrasiva de un grano sobre otro. Los granos bien redondeados no son muy abundantes y es más difícil encontrarlos por debajo de los tamaños del cedazo 70, en cambio el grano angular si se encuentra con abundancia en los tamaños inferiores a este cedazo.

- c) **Análisis químico.** En las arenas naturales, más que el análisis químico propiamente dicho, interesa el análisis racional, que tiende a establecer la composición química de las arenas en su contenido de cuarzo, hierro y otros minerales.

Es evidente la importancia de este análisis, ya que permite conocer cualitativamente en qué proporción se encuentra presente cada uno de los elementos que constituyen las arenas en examen; además de que permite prever su acción abrasiva. Este análisis se realiza con el proceso de difracción de rayos X, el cual funciona así:

Un haz de rayos X inciden sobre la muestra de arena pulverizada para obtener el espectro de los componentes cristalinos presentes en la

muestra. De este espectro, se determina el ángulo de difracción 2θ y luego se hace uso de la ecuación de Bragg para determinar la distancia interplanar d , después este valor se compara con una base de datos de referencia, donde se especifica a que mineral corresponde el valor determinado. La ecuación de Bragg es la siguiente:

$$\lambda = 2 d \operatorname{sen} \theta$$

Donde:

λ : Emisor de los rayos X o longitud de onda ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$)

d : Distancia interplanar

θ : Angulo de difracción

En la figura 5.3 se muestra esquemáticamente la forma como se da la difracción de los rayos X. Además, en la figura 5.4 se puede ver el difractómetro de rayos X y un patrón de difracción de un metal desconocido.

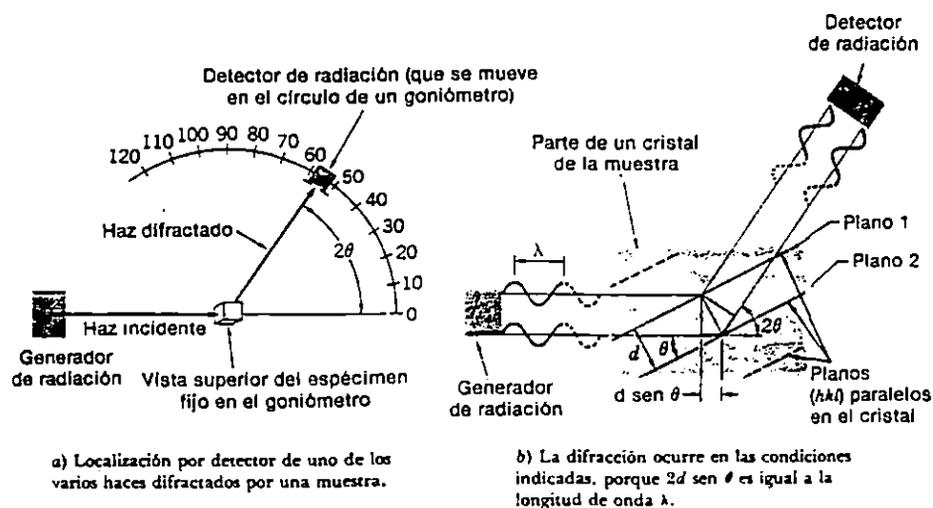
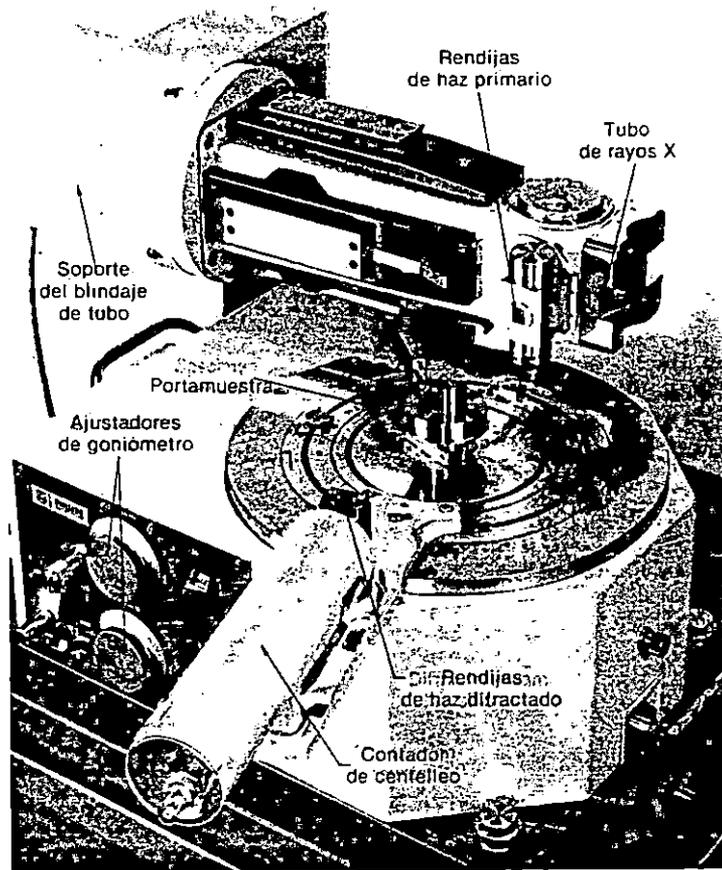
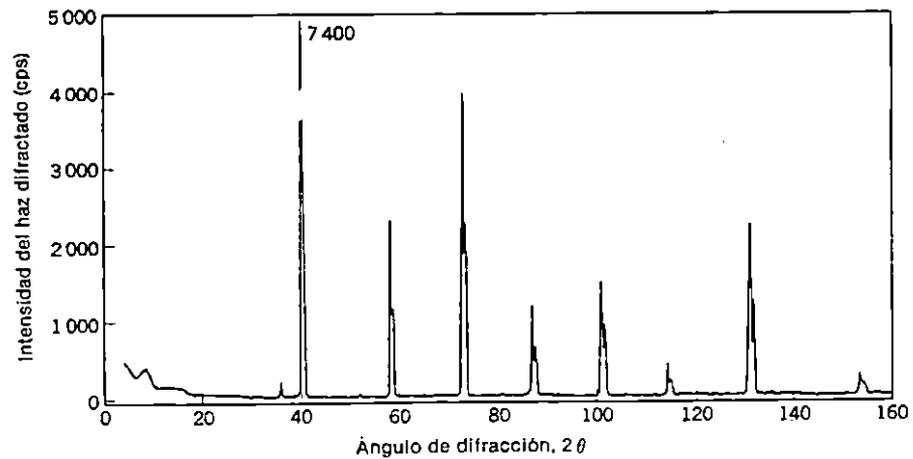


Figura 5.3 Ilustración esquemática del método difractométrico y de sus condiciones para la difracción.



a) Difractor de rayos X (sin la cubierta de protección contra la radiación).



b) Registro de líneas de difracción obtenido mediante radiación de cobre, a partir de un "metal desconocido"

Figura 5.4 Difractor de rayos X y un patrón de difracción del tipo de polvos obtenido con su empleo.

En el análisis químico de una muestra de arena es típico que se detecte la presencia de los siguientes minerales:

- Cuarzo
- Sílice
- Magnetita
- Feldespato
- Albita y
- Ortoclasa

Estos se conocen con el nombre de minerales del campo por hallarse en cualquier terreno. Estos minerales constituyen el 54% de la corteza terrestre.

Estas tres características, son las que rigen los análisis realizados en las arenas obtenidas, quedando pendiente la prueba de la acción abrasiva de cada una de ellas; la cual se ha de realizar durante las pruebas de funcionamiento del equipo.

5.4 RESULTADOS DEL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LAS ARENAS OBTENIDAS

Con el fin de tener un parámetro de referencia, primero se analizó (tamizó) un abrasivo procedente del extranjero conocido como arenas vítreas, al cual se le determinó un tamaño de granos de 0.210 mm, correspondiente al cedazo número 70. Después de esto, se optó por obtener la cantidad de 25 libras de este mismo tamaño de granos de cada una de las muestras de las arenas obtenidas para poder cargar y probar posteriormente el funcionamiento del equipo y por supuesto, la acción abrasiva de cada una de ellas. Para obtener las 25 libras de arena fina (cedazo No 70), se seleccionaron los cedazos del número 12 al 70; donde el

cedazo número 12 sólo se usó para retener la arena muy gruesa. Luego de esto; se realizó el tamizado de cada una de las muestras hasta obtener las 25 libras de abrasivo. Cabe mencionar que de la muestra de arena del río San Lorenzo, no se logró obtener la cantidad deseada; ya que la arena es extremadamente gruesa.

Los resultados de este análisis se reflejan en los siguientes cuadros:

CUADRO 5.1 RESULTADOS DEL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LA ARENA DEL RIO LAS CAÑAS EN TONACATEPEQUE

Número de cedazo	Tamaño de los granos (mm)	Cantidad de arena (Lb)	Tipo de arena
20	0.84	11	Arena gruesa
30	0.59	7	Arena gruesa
40	0.42	14	Arena media
50	0.297	5	Arena media
70	0.210	25	Arena fina

CUADRO 5.2 RESULTADOS DEL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LA ARENA DEL RIO SUCIO EN SAN MIGUELITO

Número de cedazo	Tamaño de los granos (mm)	Cantidad de arena (Lb)	Tipo de arena
20	0.84	11	Arena gruesa
30	0.59	10	Arena gruesa
40	0.42	22	Arena media
50	0.297	6	Arena media
70	0.210	25	Arena fina

CUADRO 5.3 RESULTADO DEL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LA
ARENA DEL RIO LEMPA EN EL PUENTE CUSCATLAN

Número del cedazo	Tamaño de los granos (mm)	Cantidad de arena (Lb)	Tipo de arena
20	0.84	3	Arena gruesa
30	0.59	7	Arena gruesa
40	0.42	20	Arena media
50	0.297	7	Arena media
70	0.210	25	Arena fina

CUADRO 5.4 RESULTADOS DEL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LA
ARENA DE LA MINA DE ARAMUACA EN SAN MIGUEL

Número de cedazo	Tamaño de los granos (mm)	Cantidad de arena (Lb)	Tipo de arena
20	0.84	12	Arena gruesa
30	0.59	7	Arena gruesa
40	0.42	11	Arena media
50	0.297	3	Arena media
70	0.210	25	Arena fina

CUADRO 5.5 RESULTADOS DEL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LA
ARENA DEL RIO AMULUNGA EN SANTA ANA

Número de cedazo	Tamaño de los granos (mm)	Cantidad de arena (Lb)	Tipo de arena
20	0.84	27	Arena gruesa
30	0.59	15	Arena gruesa
40	0.42	24	Arena media
50	0.297	2	Arena media
70	0.210	25	Arena fina

CUADRO 5.6 RESULTADOS DEL ANALISIS DEL TAMAÑO DE LOS GRANOS DE LA ARENA DEL RIO SAN LORENZO EN ATQUIZAYA

Número del cedazo	Tamaño de los granos (mm)	Cantidad de arena (Lb)	Tipo de arena
20	0.84	35	Arena gruesa
30	0.59	13	Arena gruesa
40	0.42	15	Arena media
50	0.297	2	Arena media
70	0.210	6	Arena fina

De los resultados anteriores, se puede notar que las arenas de la zona occidental están constituidas más de arena gruesa que de arena fina; en cambio la arena del río Lempa, está constituida más por arena fina que por arena gruesa.

5.5 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA FORMA DE LOS GRANOS DE LAS ARENAS OBTENIDAS

Este análisis se hizo observando con una lupa la arena fina obtenida del proceso de tamizado de cada una de las muestras de arena. Al igual que en el análisis anterior, aquí también se observó las arenas vítreas y se notó lo siguiente:

Medio abrasivo: Arenas Vítreas

Forma de los grano: Completamente esférico

Color de los granos: Blanco

Los resultados obtenidos de este análisis se presentan a continuación:

Medio abrasivo: Arena del río Las Cañas en Tonacatepeque.

Forma de los granos: La arena tiene granos angulares y esféricos, pero se notó la presencia de más granos angulares que esféricos.

Color de los granos: Blanco

Medio Abrasivo : Arena del río Sucio en San Miguelito

Forma de los granos : La arena tiene de ambos granos, pero tiene más granos angulares que granos esféricos.

Color de los granos : Blanco

Medio Abrasivo : Arena del río Lempa en el puente Cuscatlán

Forma de los granos : La arena contiene de las dos formas de granos pero se notan más granos esféricos que granos angulares.

Color de los granos : Dorado

Medio Abrasivo : Arena de la Mina de Aramuaca en San Miguel.

Forma de los granos : La arena tiene de los dos granos, pero tiene más granos esféricos que angulares.

Color de los granos : Gris

Medio Abrasivo : Arena del río Amulunga en Santa Ana

Forma de los granos : También esta arena tiene de ambos granos, pero se nota la presencia de más granos angulares que granos esféricos.

Color de los granos : Rojizo.

Medio Abrasivo : Arena del río San Lorenzo en Atiquizaya

Forma de los granos : La arena contiene de los dos granos, pero tiene más granos angulares que granos esféricos.

Color de los granos : Rojizo.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los resultados de esta prueba:

CUADRO 5.7 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA FORMA DE LOS GRANOS

Medio abrasivo	Forma de los granos	Color de los granos
Arena del río Las Cañas	Tiene más granos angulares que esféricos	Blanco
Arena del río Sucio San Miguelito	Tiene más granos angulares que granos esféricos	Blanco
Arena del río Lempa	Tiene más granos esféricos que granos angulares	Dorado
Arena de la mina de Aramuaca	Tiene más granos esféricos que angulares	Gris
Arena del río Amulunga	Tiene más granos angulares que granos esféricos	Rojizo
Arena del río San Lorenzo	Tiene más granos angulares que esféricos	Rojizo

Los resultados de este análisis, nos indican que las arenas de las zonas central y occidental, tienen más granos angulares que esféricos; en cambio las arenas de la zona oriental contienen más granos esféricos que angulares.

5.6 RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DE LAS ARENAS OBTENIDAS

Este análisis se hizo por el método de difracción de rayos X, utilizando un difractómetro de goniómetro horizontal propiedad del CIAN, de la Universidad

de El Salvador. En el anexo No. 6 se presenta la constancia extendida por dicho centro.

ANALISIS MINERALOGICO POR DIFRACTOMETRIA DE RAYOS X EN MUESTRAS DE ARENA

Las muestras de arena fueron analizadas utilizando la técnica de difracción de rayos X por el método de polvo, el cual consiste en irradiar la muestra pulverizada con un haz de rayos X para obtener el espectro de los componentes cristalinos presentes en la muestra.

A continuación se presenta una pequeña definición de los diferentes minerales identificados en las muestras analizadas:

Cuarzo: Es uno de los minerales más frecuentemente encontrados como parte de los minerales característicos de las rocas continentales. El cuarzo consiste de un átomo de sílice rodeado por átomos de oxígeno, por lo que su fórmula química es SiO_2 . La molécula de SiO_2 constituye el bloque básico de formación de una gran cantidad de minerales conocidos como silicatos.

En cuanto a sus características físicas, el cuarzo es un mineral muy estable, de alta dureza 7 (de acuerdo a la escala de Mohs), el peso específico del mineral (que está dado por la relación entre su peso y el peso de un volumen igual de agua a 4°C) es de 2.65 y no existe propiedades asociadas al cuarzo que puedan considerarse como peligrosas.

Cristobalita: Es una variedad de cuarzo de cristalización más fina y de alta temperatura, presenta características físicas un tanto diferentes al cuarzo, ya que se forma con un sistema de cristalización diferente. Su peso específico es de 2.30 y su dureza es 7.

Feldespatos Potásicos: Es una familia de minerales muy abundantes en la composición de las diferentes rocas que constituyen la corteza terrestre, básicamente son silicatos de aluminio y potasio, su fórmula química es $K Al Si_3 O_8$. Los minerales característicos de este grupo son la Microclina y la Ortosa, de los cuales ésta última es la que se ha identificado en una de las muestras analizadas. Su peso específico es de 2.56 y su dureza es 6.

Plagioclasas o Feldespatos Calco Sódicos: Son aluminios, silicatos de sodio y calcio que forman una serie continua de soluciones sólidas que van desde el polo sódico (Albita, característica de las rocas ácidas) hasta la Plagioclasa puramente cálcica (Anortita, que se encuentra en las rocas básicas). En nuestro ambiente geológico, en el que predomina un vulcanismo andesítico, los minerales de composición intermedia de este grupo (Oligoclasa 70% Na y 30% Ca, Andesina 50% Na y 50% Ca, Labradorita 30% Na y 70% Ca) constituyen una proporción muy importante en la composición de las rocas. El peso específico de los minerales de este grupo es alrededor de 2.7 y su dureza es también de 6.

Acmita - Augita: Es un silicato de Calcio, Magnesio, Hierro y Aluminio, pertenece al grupo de los Piroxenos, estos silicatos se caracterizan porque sus átomos forman una cadena de tetraedros de $Si O_4$ que se combinan con el aluminio, hierro, magnesio, calcio, sodio, etc. Para el caso de la Acmita - Augita o

Augita egirínica, su fórmula es $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_6$. La dureza de la Augita egirínica (como la mayoría de los piroxenos) es de 6 a 6.5 y su peso específico es de 3.2 a 3.4.

Hornblenda: Es un mineral del grupo de Anfíboles, que se encuentra comúnmente en rocas metamórficas y volcánicas, su fórmula es $\text{Na Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{Si}, \text{Al})_8 \text{O}_{22}(\text{OH}, \text{F})_2$. Su dureza es de 5 a 6 y su peso específico tiene un valor de 3.2.

Magnetita: Este mineral es un óxido de hierro $\text{Fe}_3 \text{O}_4$ que como mineral accesorio constituye un componente muy importante de las rocas cuya composición es intermedia o básica. Su dureza es 6 y el peso específico de 5.18. En una de las muestra se encontró magnetita titanífera, esto significa que además de hierro tiene titanio como parte de su composición química.

Hematita: Al igual que la Magnetita, este mineral es un óxido de hierro $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ que por lo general es producto de alteración de la magnetita o de otros minerales ferromagnesianos. Su dureza oscila entre los valores de 5.5 a 6.5 y su peso específico es de 5.26.

Arcillas y Cloritas: ambos grupos corresponden a minerales genéricamente como filosilicatos de sílice y aluminio hidratados, esto significa que su estructura cristalina tiene forma de hojas o capas, las cuales están entrelazadas por iones de Mg, Ca, Fe, Na, K, etc.

En las arenas analizadas se han encontrados cantidades muy pequeñas de Montmorillonita, $((\text{Si}_4 \text{O}_{10})_3 (\text{Al}, \text{Mg})_8 (\text{OH})_{10} 12\text{H}_2\text{O})$, Nontronita $((\text{Si}_4 \text{O}_{10})_3 (\text{Fe}^{3+}$

Fe" Mg)₈ (OH)₁₀ 12H₂O) y Montmorillonita, ((Si₄ O₁₀)₃ (Al Mg)₈ (OH)₁₀ 12H₂O) + Clorita ((Si₃ O₁₀)₃ (Mg Fe)₅ (Al Fe^{III})₂ (OH)₈) en una combinación interestratificada de ambos minerales. Estos minerales son muy suaves, la dureza es de 1 a 1.2 y para las cloritas es de 2 a 2.5 y su peso específico es de 2.25 a 2.5 para las arcillas y para las cloritas oscila entre los valores de 2.6 a 2.9.

Pirita (S₂Fe) y Pirrotita (Sfe): Son sulfuros de hierro y su presencia es poco abundante, son minerales accesorios de las rocas ígneas y metamórficas, también puede presentarse como minerales secundarios, producto del ascenso de fluidos hidrotermales, asociados a filones de cuarzo. El peso específico de la pirita es de 5.02 y su dureza es de 6 a 6.5, para la pirrotita el peso específico va de 4.6 a 4.65 y su dureza es de 4.

Calcita (Ca CO₃): En este caso lo más probable es que el mineral tiene un origen secundario en rocas volcánicas, pues si bien la calcita se encuentra abundantemente en las rocas sedimentarias, en nuestro ambiente geológico encontramos calcita en rocas volcánicas como producto de la interacción roca - agua en procesos hidrotermales y metasomáticos. La dureza es baja con un valor de 3 y su peso específico es de 2.72.

Estos son básicamente los minerales identificados en las muestras de arena analizadas.

Hay que hacer notar que el orden como aparecen (de arriba hacia abajo) los componentes cristalinos de las muestras de arena, representa un orden que va de mayor a menor la presencia de cada uno de ellos.

El resultado del análisis para cada muestra es el siguiente:

Muestra de arena del río Las Cañas en Tonacatepeque:

Feldespatos Calco Sódico, Labradorita

Cuarzo

Magnetita

Hematita

Acmita Augita

El espectro de estos componentes cristalinos presentes en la muestra, se presenta en el anexo No. 7.

Muestras de arena de la mina de Aramuaca en San Miguel:

Feldespatos Calco Sódico, Oligoclasa

Magnetita

Hematita

Cuarzo

Augita

El espectro de estos componentes cristalinos presentes en la muestra, se presenta en el anexo No. 8.

Muestra de arena del río Amulunga en Santa Ana:

Feldespatos Calco Sódico, Bytownita

Pirrotita

Magnetita

Hematita

Hornblenda

Cuarzo

Feldespatos Potásico, Ortoclasa

El espectro de estos componentes cristalinos presentes en la muestra, se presenta en el anexo No. 9.

Muestra de arena del río Sucio en San Miguelito:

Feldespatos Calco Sódico, Oligoclasa

Cristobalita

Cuarzo

Nontronita

Augita

El espectro de estos componentes cristalinos presentes en la muestra, se presenta en el anexo No. 10.

Muestra de arena del río Lempa en el puente Cuscatlan:

Cuarzo

Feldespatos Calco Sódico, Andesina - Oligoclasa

Magnetita

Acmita Augita

Montmorillonita

El espectro de estos componentes cristalinos presentes en la muestra, se presenta en el anexo No. 11.

Muestra de arena del río San Lorenzo en Atiquizaya

Magnetita Titanífera

Calcita

Hornblenda

Cuarzo

Pirita

Montmorillonita - Clorita

El espectro de estos componentes cristalinos presentes en la muestra, se presenta en el anexo No. 12.

Muestra de Arena Vitrea: (De fabricación comercial)

Material Amorfo (vidrio)

Los resultados de este análisis, nos permiten prever que la arena del río Lempa en el puente Cuscatlán, tiene mayor acción abrasiva por tener mayor cantidad de cuarzo.

CAPITULO VI

PROCESO DE FABRICACION DE LOS ELEMENTOS DISEÑADOS Y COSTO DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

Después de haber realizado el diseño de los elementos del equipo, se procederá a efectuar la fabricación de los mismos y posteriormente a establecer el costo de fabricación del equipo.

Con el objeto de facilitar la fabricación, se desarrolla por separado el proceso de fabricación de cada uno de los elementos del equipo. También, para determinar el costo total del equipo, se establece el costo de los materiales del equipo y el costo de mano de obra o fabricación del equipo.

6.1 PROCESO DE FABRICACION DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO

El proceso de fabricación de cada uno de los elementos del equipo se presenta en una hoja de proceso, en la cual se establecen los pasos a seguir para la fabricación de los mismos. La hoja de proceso incluye el nombre del elemento, número de piezas a fabricar, material a utilizar, número de operaciones, el equipo y las herramientas necesarias para la fabricación de los elementos del equipo. A continuación se presentan las hojas de proceso para la fabricación de cada elemento.

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Marco de la parrilla de la cámara de disparo		
No DE PIEZAS : 1		MATERIAL: Angulo de 1"x1" x 1/8"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - corte de dos piezas de 0.92 m - corte de dos piezas de 0.91 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
2	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las piezas cortadas para formar el marco de la parrilla de 0.92mx0.91 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Escuadra
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Armazón de la cámara de disparo		
No DE PIEZAS : 1		MATERIAL: Angulo de 3/4" x 3/4" x 1/8"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de dos piezas de 0.56 m - Corte de dos piezas de 0.40 m - Corte de dos piezas de 0.60 m - Corte de cinco piezas de 0.82 m - Corte de siete piezas de 0.92 m - Corte de dos piezas de 0.25 m - Corte de dos piezas de 0.17 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
2	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las piezas cortadas al marco de la parrilla para formar el armazón de la cámara de disparo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Escuadra
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Parrilla de la cámara de disparo		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		-Angulo de 3/4" x 3/4" x 1/8" - Varilla de hierro dulce de $\phi \frac{1}{4}$ "
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - corte de dos piezas de ángulo de 0.92 m - corte de dos piezas de ángulo de 0.35 m - corte de dos piezas de ángulo de 0.54 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
2	<ul style="list-style-type: none"> - Encajuelado del ángulo cortado - Unión o soldado en cruz del encajuelado al marco de la parrilla para la base del tornamesa 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de $\phi 1/8$" - Escuadra
3	<ul style="list-style-type: none"> - Corte del número de varillas (40), de acuerdo a las medidas (largo) establecidas en la página 74 de este libro para el primer enrejado de varillas 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
4	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las 40 varillas al marco de la parrilla y al ángulo encajuelado para formar el primer tendido de la parrilla. En este proceso, se debe tener el cuidado de dejar un espacio libre (al centro del ángulo encajuelado en cruz) de 0.130m x 0.130m para montar la base del tornamesa 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de $\phi 1/8$" - Cinta métrica
5	<ul style="list-style-type: none"> - Repetir las operaciones No. 3 y No. 4 para formar el segundo enrejado de varillas y completar la parrilla 	<ul style="list-style-type: none"> - Usar el equipo y herramientas utilizadas en las operaciones No. 3 y No. 4.

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Compuerta frontal		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		- Angulo de 3/4" x 3/4" x 1/8"
		- Lámina negra de 1/16" de espesor
		- Tubería cédula 20 de ϕ 0.150 m
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de tres piezas de ángulo de 0.56 m - Corte de dos piezas de ángulo de 0.92 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
2	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las piezas de ángulo cortadas para formar el marco de la compuerta de 0.92m x 0.56m 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Escuadra
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora
4	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de una pieza de lámina de 0.92m x 0.56m - Perforar los agujeros de ϕ 0.150m de acceso para manos, con una separación de 0.4 m de centro a centro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Guillotina - Taladro manual - Broca de ϕ 1/2" - Lima - Martillo
5	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de la pieza de lámina cortada al marco de la compuerta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8"
6	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de dos piezas de tubería cédula 20 de ϕ 0.150m de 0.055m de longitud. - Refrentado de las caras de las dos piezas de tubería hasta obtener 0.05m de longitud total de las piezas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Rayador - Sierra eléctrica - Torno - Calibrador - Buril para refrentar
7	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las piezas de tubería al acceso para manos para la sujeción de los guantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8"
8	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Cámara de disparo		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES: <ul style="list-style-type: none"> - Lámina negra de 1/16" de espesor - Empaque para vidrio de 0.02m de ancho. -Tubo de silicone negro - Vidrio duplex de 0.53mx0.23m - Vidrio de 0.64mx0.15m - Tubería cédula 40 de 2.5"xφ 1 5/8"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de una pieza de lámina para la ventana visor, de acuerdo a las medidas especificadas en el plano No. 3. - Corte de una pieza de lámina para la parte superior de la cámara, de acuerdo a las medidas especificadas en el plano No. 3. - Corte de dos piezas de lámina para los costados laterales de la cámara, de acuerdo a las medidas especificadas en el plano No. 3. - Corte de una pieza de lámina para la parte trancera de la cámara de 0.92mx0.82m 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Guillotina - Cizalla - Martillo
2	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las piezas de lámina al armazón de la cámara de disparo para hacer su recubrimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de φ 1/8"
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora
4	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de dos piezas de empaque para vidrio de 0.57m - Corte de dos piezas de empaque para vidrio de 0.27m - Corte de dos piezas de empaque para vidrio de 0.68m - Corte de dos piezas de empaque para vidrio de 0.19m 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Cuchilla - Escuadra
5	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje de las piezas de empaque de 0.57m x0.27 m para el vidrio de la ventana visor. - Montaje de las piezas de empaque de 0.68 m x 0.19 m para la lámpara. 	<ul style="list-style-type: none"> - Destornillador

Continuación ...

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Cámara de disparo		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		<ul style="list-style-type: none"> - Lámina negra de 1/16" de espesor - Empaque para vidrio de 0.02m de ancho. - Tubo de silicone negro - Vidrio duplex de 0.53m x 0.23m - Vidrio de 0.64m x 0.15m - Tubería cédula 40 de 2 1/2" x ϕ 1 5/8"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
6	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje del vidrio dúplex para la ventana visor - Montaje del vidrio para la lámpara 	<ul style="list-style-type: none"> - Destornillador
7	<ul style="list-style-type: none"> - Sellado de las piezas de empaque montadas para los vidrios, con silicone negro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuchilla
8	<ul style="list-style-type: none"> - Perforar agujero de ϕ 1 5/8" en la parte superior de la lámina lateral derecha para evacuar el polvo 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro manual - Broca de ϕ 5/16" - Lima
9	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de la tubería de 2 1/2" x ϕ 1 5/8" en el agujero perforado para conectar la manguera del colector de polvo 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8"
10	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Caja de la lámpara		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		-Lámina negra de 1/16" de espesor - Bisagras de 2" - Pernos con tuercas y arandelas de 1" x ϕ $\frac{1}{4}$ "
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	- Corte de una pieza de lámina de 1.88 m x 0.13 m - Trazar los dobleces de la lámina a 0.715m y 0.22 m y agregar el trazo de la pestaña de 0.01 m.	- Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Guillotina
2	- Hacer los dobleces en la pieza de lámina para formar la caja de 0.715m x 0.22m x 0.12m (largo, ancho y alto), dejando una pestaña de 0.01m en un extremo para cerrarla y alrededor de la base para la sujeción.	- Dobladora de lámina
3	- Unión o soldado de la pestaña de un extremo de la caja para cerrarla	- Soldadura por puntos
4	- Corte de una pieza de lámina de 0.735m x 0.23m, para la tapadera de la caja. - Trazar los dobleces de la pestaña de 0.01m de la tapadera. - Hacer el corte del espacio de 0.08m x 0.04m al centro de la tapadera para montar el interruptor de la lámpara.	- Cinta métrica - Rayador - Escuadra - Guillotina - Cizalla - Lima
5	- Hacer los dobleces de la pestaña para formar la tapadera de la caja de 0.715m x 0.22m	- Dobladora de lámina
6	- Unión o soldado de las bisagras a la caja y a la tapadera de la caja	- Soldadura por puntos
7	- Perforar seis agujeros de ϕ 5/16" en la base de la caja y en la lámina superior de la cámara de disparo para la sujeción de la caja de la lámpara	- Taladro manual - Broca de ϕ 5/16"

Continuación...

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Caja de la lámpara		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		<ul style="list-style-type: none"> - Lámina negra de 1/16" de espesor - Bisagras de 2" - Pernos con tuercas y arandelas de 1" x $\phi \frac{1}{4}$"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
8	- Montaje y sujeción a través de pernos de $\phi \frac{1}{4}$ " de la caja de la lámpara	- Llaves fijas No 10mm - 11mm
9	- Perforar un agujero de $\phi \frac{1}{2}$ " para la acometida del cable eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro manual - Broca de $\phi \frac{1}{2}$"

HOJA DE PROCESO	
ELEMENTO: Tornamesa	
MATERIALES:	
-Lamina negra de 1/4" de espesor - Barra de hierro dulce de 4" x φ2" - Pernos con tuercas y arandelas de 1" x φ 3/8"	
No	OPERACIONES
EQUIPO Y HERRAMIENTAS	
1	- Corte de una pieza de lamina de φ0.25m para el plato. - Corte de una pieza de lamina de 0.13m x 0.13m para la base del tornamesa.
2	- Fresado de la base del tornamesa hasta llevarlo a las dimensiones de 0.125m x 0.125m. - Perforar cuatro agujeros de φ5/16" en las esquinas de la base para la sujeción de la misma y un agujero de φ 0.03m en el centro de la base para extraer el balero.
3	- Montar la barra de hierro dulce en el torno. - Tornado del muñón, de acuerdo a las medidas especificadas en el plano No. 1. - Cortar la pieza (el muñón) a una longitud 38 mm. - Refrentado de la pieza hasta una longitud de 36mm.
4	- Montar la barra de hierro dulce en el torno. - Tornado de la cuna del balero, de acuerdo a las medidas especificadas en el plano No. 1. - Cortar la pieza (la cuna) a una longitud de 32mm. - Refrentado de la pieza hasta una longitud de 30mm.
	- Torno - Calibrador - Butil para refrentar - Butil para cilindrar - Butil par interiores - Marco con sierra manual
	- Torno - Calibrador - Butil para refrentar - Butil para cilindrar - Marco con sierra manual
	- Fresadora - Fresa vertical - Calibrador - Taladro de banco - Broca de φ 5/16" - Broca de φ 30 mm - Centro punto - Martillo
	- Cinta métrica - Compás - Rayador - Escuadra - Equipo de oxiacorte

Continuación ...

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Tornamesa		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		- Lámina negra de 1/4" de espesor - Barra de hierro dulce de 4" x ϕ 2" - Pernos con tuercas y arandelas de 1" x ϕ 1/4"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
5	- Unión o soldado del muñón al centro del plato del tornamesa. - Montaje de las dos piezas soldadas en el torno. - Cilindrar el plato hasta llevarlo a un diámetro de ϕ 0.2 m.	- Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Torno - Calibrador - Buril para cilindrar
6	- Unión o soldado de la cuna del balero al centro de la base del tornamesa.	- Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8"
7	- Perforar cuatro agujeros de ϕ 5/16" en el ángulo encajuelado en cruz para la sujeción de la base del tornamesa.	- Taladro manual - Broca de ϕ 5/16
8	- Montaje y sujeción a través de pernos de ϕ 1/4" de la base del tornamesa en el ángulo encajuelado.	- Llave fija No 10mm - 11mm - Destornillador.
9	- Montaje del balero en el eje del muñón.	- Prensa hidráulica

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Banco de la cámara de disparo		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES: <ul style="list-style-type: none"> - Pernos con tuerca y arandelas de 1"xϕ 1/4" - Tubo estructural de 2"x2"x1/8" - Angulo de 2"x2"x1/8" - Lámina negra de $\frac{1}{4}$" de espesor
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de dos piezas de tubo estructural de 0.92m. - Corte de dos piezas de tubo estructural de 0.91m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Sierra eléctrica
2	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las piezas de tubo cortadas para formar el marco del banco de 0.92m x 0.91m 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Escuadra
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldados 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora
4	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de ocho piezas de ángulo de 0.62m para las patas del banco. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Sierra eléctrica
5	<ul style="list-style-type: none"> - Encajuelado del ángulo cortado para formar las cuatro patas de 0.62m. - Unión o soldado de las patas al marco del banco. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Escuadra
6	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de dos piezas de tubo estructural de 0.81m para el refuerzo de las patas. - Corte de una pieza de tubo estructural de 0.82m para el refuerzo de las patas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Sierra eléctrica
7	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de los refuerzos de las patas del banco. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Cinta métrica - Escuadra - Rayador

Continuación ...

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Banco de la cámara de disparo		
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
	No DE PIEZAS : 1	MATERIALES: - Pernos con tuerca y arandelas de 1"x ϕ 1/4" - Tubo estructural de 2"x2"x1/8" - Angulo de 2"x2"x1/8" - Lámina negra de $\frac{1}{4}$ " de espesor
8	- Cortar dos placas de lámina de 0.11m x 0.07m para montar los rodos fijos del banco. - Cortar dos placas de lámina de 0.11m x 0.085m para montar los rodos locos del banco.	- Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Equipo de oxicorte - Lima
9	- Perforar cuatro agujeros de ϕ 5/16" en las esquinas de cada placa.	- Centro punto - Taladro de banco - Broca de ϕ 5/16"
10	- Unión o soldado de las placas perforadas a las patas del banco.	- Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Cinta métrica
11	- Montaje y sujeción a través de pernos de ϕ $\frac{1}{4}$ " de los rodos a las placas soldadas en la patas del banco.	- Llaves fijas No. 10mm - 11mm
12	- Pulido de las áreas soldadas	- Pulidora

HOJA DE PROCESO	
ELEMENTO: Tolva	
MATERIALES:	
- Tuberia galvanizada de ϕ 1/2"	
- Angulo de 3/4"x3/4"x1/8"	
- Lámina negra de 1/2" de espesor	
- Lámina negra de 1/16" de espesor	
- Tela cedazo de ϕ 1mm	
- Platina de $\frac{3}{8}$ " de ancho	
- Niple de 2" x ϕ $\frac{3}{8}$ "	
OPERACIONES	
No	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	- Corte de cuatro piezas de ángulo de 0.1m para el marco de la parte inferior de la tolva. - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
2	- Unión o soldado de las piezas cortadas para formar el marco inferior de la tolva. - Aparato de soldadura 6013 de ϕ 1/8" - Escuadra
3	- Perforar un espacio de 0.092m x 0.013m en el marco inferior de la tolva para la entrada de la tapa que retiene el abrasivo. - Rayador - Taladro de banco - Broca de ϕ $\frac{3}{8}$ " - Lima
4	- Pulido de las áreas soldadas - Pulidora
5	- Corte de una placa de 0.09m x 0.095m (de $\frac{3}{8}$ " de espesor) para la tapa que retiene la arena. - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Equipo de oxicorte - Lima
6	- Corte de cuatro piezas de ángulo de 0.802m para la estructura de las esquinas de al tolva. - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
7	- Unión o soldado de las esquinas laterales de ángulo, al marco del banco y al marco inferior de la tolva para formar la estructura de la tolva. - Aparato de soldadura 6013 de ϕ 1/8" - Electrodo - Cinta métrica - Escuadra - Rayador
8	- Pulido de las áreas soldadas - Pulidora

No DE PIEZAS : 1

MATERIALES:

Continuación ...

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Tolva		
No DE PIEZAS : 1	MATERIALES:	
		<ul style="list-style-type: none"> - Tubería galvanizada de ϕ 1/2" - Angulo de 3/4"x3/4"x1/8" - Lámina negra de 1/2" de espesor - Lámina negra de 1/16" de espesor - Tela cedazo de ϕ 1mm - Platina de $\frac{3}{4}$" de ancho - Niple de 2" x ϕ $\frac{1}{4}$"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
9	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de cuatro piezas de lámina de acuerdo a las dimensiones de la sección lateral de la tolva (base menor = 0.1m, base mayor 0.82m y diagonal = 0.802m). 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Regla - Rayador - Guillotina
10	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las secciones laterales de lámina de la tolva para hacer su recubrimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ1/8"
11	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de las áreas soldadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pulidora
12	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de una pieza de tubería galvanizada de ϕ $\frac{1}{2}$" de 1.5 m de longitud para el tubo sifón. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
13	<ul style="list-style-type: none"> - Doblar en "V" la tubería cortada, de acuerdo a la abertura de las esquinas de la parte superior de la tolva 	<ul style="list-style-type: none"> - Dobladora de tubos hidráulica.
14	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de cuatro piezas de ángulo de 0.65 m para el marco de la rejilla. - Corte de cuatro piezas de platina de 0.65 m para el marco superior de la rejilla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica - Escuadra - Rayador - Marco con sierra manual
15	<ul style="list-style-type: none"> - Unión o soldado de las piezas de ángulo y de las piezas de platina para formar los marcos de la rejilla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8" - Escuadra

Continuación ...

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Tolva		
	No DE PIEZAS : 1	MATERIALES: <ul style="list-style-type: none"> - Tubería galvanizada de ϕ 1/2" - Angulo de 3/4"x3/4"x1/8" - Lámina negra de 1/2" de espesor - Lámina negra de 1/16" de espesor - Tela cedazo de ϕ 1mm - Platina de $\frac{3}{4}$" de ancho - Niple de 2" x ϕ $\frac{1}{4}$"
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
16	<ul style="list-style-type: none"> - Perforar dos agujeros por lado de ϕ 5/16", sobre los marcos para la sujeción del cedazo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de banco - Broca de ϕ 5/16" - Centro punto - Cinta métrica
17	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar una pieza de cedazo de 0.65 m x 0.65 m. - Montaje y sujeción a través de pernos de ϕ $\frac{1}{4}$" del cedazo entre los marcos de la rejilla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tijera de cortar lámina - Llaves fijas No. 10 mm - 11 mm
18	<ul style="list-style-type: none"> - Perforar un agujero de ϕ $\frac{1}{2}$" en el lado derecho superior frontal de la tolva para soldar el niple que conecta las mangueras para aire del sistema. - Unión o soldado del niple a la tolva para conectar las mangueras para aire del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de mano - Broca de ϕ $\frac{1}{2}$" - Aparato de soldadura - Electrodo 6013 de ϕ 1/8

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Inyector de aire		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		<ul style="list-style-type: none"> - O-ring de $\phi_{int} = \frac{1}{2}$" y $\phi_{ext} = 5/8$" - Barra de bronce fosforico de 9"xϕ 1 $\frac{1}{4}$" - Lija No 600
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la barra de bronce en el torno - Refrentado de la pieza - Cilindrado del diámetro de ϕ 6.35mm x 8mm de largo - Cilindrado del diámetro de ϕ 16mm x 35mm de largo - Hacer agujero pasado a lo largo de la pieza de ϕ 1/8" - Hacer la cavidad para alojar el o-ring de 12.7mm de diámetro interno y 2mm de ancho, de acuerdo a las medidas especificadas en el plano No. 6 - Corte de la pieza a una longitud de 45mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador - Buril para refrentar - Buril para cilindrar - Buril con filo de garganta - Broca de ϕ 1/8" - Marco con sierra manual
2	<ul style="list-style-type: none"> - Montar nuevamente la pieza en el torno, con la cara opuesta. - Refrentado de la cara opuesta hasta obtener 43mm de longitud total de la pieza. - Hacer agujero de ϕ $\frac{3}{4}$" hasta una profundidad de 32mm. - Hacer agujero de ϕ 10 mm hasta una profundidad de 17mm. - Hacer rosca NPT ϕ $\frac{3}{4}$" x 5/8" en el agujero de ϕ 10mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador - Buril para refrentar - Buril para roscar NPT - Broca de ϕ $\frac{3}{4}$" - Broca de ϕ 10 mm
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Lija No. 600

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Tobera		
No DE PIEZAS : 3		MATERIALES:
		<ul style="list-style-type: none"> - Barra de acero AISI 1085 de 5" x ϕ $\frac{3}{4}$" - Lija No. 600
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la barra de acero 1085 en el torno - Refrentado de la pieza - Cilindrado del diámetro de ϕ 19mm x 40mm de largo - Hacer agujero pasado a lo largo de la pieza de ϕ 1/4" - Hacer el cilindrado angular interno a la entrada de la tobera. - Corte de la pieza a una longitud de 40 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador - Buril para refrentar - Buril para cilindrar - Broca de ϕ 1/4" - Buril para interiores - Marco con sierra manual
2	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en el torno, con la cara opuesta. - Refrentado de la cara opuesta hasta obtener 38mm de longitud total de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador - Buril para refrentar
3	<ul style="list-style-type: none"> - Pulido de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Lija No. 600

HOJA DE PROCESO		
ELEMENTO: Cuerpo de la pistola		
No DE PIEZAS : 1		MATERIALES:
		<ul style="list-style-type: none"> - Barra de bronce fosfórico de 9" x ϕ 1 $\frac{1}{4}$" - Tubo de acero inoxidable de 100mm x ϕ 16mm - Prisioneros de ϕ $\frac{1}{4}$" - Lija No. 600
No	OPERACIONES	EQUIPO Y HERRAMIENTAS
1	<ul style="list-style-type: none"> - Preparación del molde de la pieza - Fundir el bronce - Depositar el bronce fundido en el molde para la formación de la pieza. - Extraer la pieza fundida del molde - Limpiar la pieza de incrustaciones de arena 	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo de la pieza - Molde de arena de la pieza - Horno para fundir el bronce - Lija No. 600
2	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en la fresadora - Hacer agujero pasado a la largo de la pieza de ϕ 16mm para el ensamble del inyector de aire. - Hacer agujero de ϕ 19 mm x 22 mm de largo para el ensamble de la tobera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora - Calibrador - Fresa vertical de ϕ 16mm - Fresa vertical de ϕ 19mm
3	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en la fresadora con la parte del mango en posición vertical. - Hacer agujero pasado a lo largo del mango de la pieza de ϕ 16mm para el ensamble del tubo de acero inoxidable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora - Calibrador - Fresa vertical de ϕ 16mm
4	<ul style="list-style-type: none"> - Taladrar dos agujeros de ϕ 4mm, de acuerdo a las medidas especificadas en el plano No. 6 para los prisioneros. - Hacer rosca fina de ϕ $\frac{1}{4}$" en los agujeros de ϕ 4mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de banco - Broca de ϕ 4mm - Machuelo de ϕ $\frac{1}{4}$" rosca fina
5	<ul style="list-style-type: none"> - Ensamble del tubo de acero inoxidable en el agujero del mango de la pieza para la entrada del abrasivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Prensa hidráulica

HOJA DE PROCESO	
ELEMENTO: Equipo de sandblasting	
<p>No DE PIEZAS : 1</p> <p>MATERIALES:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Masilla jet bond - Catalizador para masilla - Lija No. 100 - Pintura martillada gris - Solvente industrial R2k4 	<p>OPERACIONES</p>
<p>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</p>	<p>No</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Preparación de la masilla - Enmasillar todas las orillas de la cámara de disparo y de la tolva para el sellado de las mismas - Pulido de las áreas enmasilladas y de las áreas oxidadas 	<p>1</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Pliego de lámina - Pedazo de hule - Lija No. 100 	
<ul style="list-style-type: none"> - Preparación de la pintura - Pintado del equipo 	<p>2</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Compresor - Pistola para pintar 	

6.2 DETERMINACION DE COSTOS DE FABRICACION DEL EQUIPO

La determinación de costos de fabricación del equipo incluye dos categorías básicas de costos, las cuales son:

- 1) Los costos de los materiales a utilizar en la fabricación del equipo
- 2) Los costos de mano de obra o fabricación del equipo

Estos dos tipos de costos, son los que establecen el costo total de fabricación del equipo. A continuación se presenta el detalle de éstos para cada uno de los elementos del equipo.

CAMARA DE DISPARO

Los costos de los materiales se presentan en el siguiente cuadro:

Cant.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO(\$)	COSTO TOTAL(\$)
3	Angulo de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " x 1/8"	25.00	75.00
1	Angulo de 1" x 1" x 1/8"	29.00	29.00
8	Varillas de $\phi \frac{1}{4}$ "	5.00	40.00
3	Lámina negra de 2m x 1m de 1/16" de espesor	115.00	345.00
1	Tubería cédula 20 de 130mm x ϕ 150mm	30.00	30.00
1	Tubería cédula 40 de 2 $\frac{1}{2}$ " x ϕ 1 5/8"	5.00	5.00
1	Lámina negra de 750mm x 250mm de $\frac{1}{8}$ " de espesor	70.00	70.00
1	Barra de hierro dulce de 4" x ϕ 2"	75.00	75.00
1	Caja de electrodo 6013 de ϕ 1/8"	30.00	30.00
1	Empaque para vidrio de 4m x 0.02m de ancho	240.00	240.00
1	Vidrio dúplex de 530mm x 230 mm	50.00	50.00
1	Vidrio de 640mm x 150mm	20.00	20.00
1	Tubo de silicone negro	16.95	16.95
1	Lámpara fluorescente de 24" a 120 Va.c	104.00	104.00
1	Interruptor eléctrico con toma hembra polarizado a 120 Va.c	35.00	35.00

Continuación ...

Cant.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO(¢)	COSTO TOTAL(¢)
4m	Cable vulcan TSJ No. 12 de 3 hilos	10.55	42.20
1	Toma corriente macho polarizado	22.90	22.90
1	Par de guantes de 10" x ϕ 6"	80.00	80.00
1	Aspiradora (colector de polvo) de 1 HP a 120 Va.c	2000.00	2000.00
1	Balero de rodillos cónicos No. 302 02 FAG	65.00	65.00
2	Sujetadores de compuerta	39.55	79.10
2	Bisagras de 2"	1.00	2.00
14	Pernos con tuercas y arandelas de 1" x ϕ $\frac{1}{4}$ "	0.45	6.30
3	Pliegos de lija No. 100	8.94	26.82
$\frac{1}{4}$ galón	Masilla jet bond	35.90	35.90
1	Catalizador para masilla	15.00	15.00
$\frac{1}{2}$ galón	Pintura martillada gris	150.00	150.00
1/8 gal	Solvente industrial R2k4	10.50	10.50
2	Abrasaderas de ϕ 7"	5.00	10.00
1	Neumático de hule para empaques	25.00	25.00
		Total	¢ 3735.67

Los costos de mano de obra se presentan en el siguiente cuadro:

DESCRIPCION	COSTO TOTAL (¢)
Fabricación de la cámara de disparo	2200.00
Fabricación del tornamesa	300.00
Total	¢ 2500.00

Por lo tanto, el costo total de la cámara de disparo se calcula así:

$$\text{Costo total}_{\text{cámara de disparo}} = \text{Costos de materiales} + \text{costos de mano de obra}$$

$$\text{Costo total}_{\text{cámara de disparo}} = \text{¢ } 3735.67 + \text{¢ } 2500.00$$

$$\text{Costo total}_{\text{cámara de disparo}} = \text{¢ } 6235.67$$

TOLVA Y BANCO

Los costos de los materiales se presentan en el siguiente cuadro:

Cant.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO(¢)	COSTO TOTAL(¢)
1	Tubo estructural de 2" x 2" x 1/8"	110.00	110.00
1	Angulo de 2" x 2" x 1/8"	70.00	70.00
1	Angulo de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " x 1/8"	25.00	25.00
1	Lámina negra de 2m x 1m de 1/16" de espesor	115.00	115.00
1	Caja de electrodo 6013 de ϕ 1/8"	30.00	30.00
3m	Platina de $\frac{3}{4}$ " x 1/8"	3.30	9.90
1	Tela cedazo de 1m x 1m de ϕ 1mm	18.00	18.00
8	Pernos con tuerca y arandelas de 1" x ϕ $\frac{1}{4}$ "	0.45	3.60
2m	Tubería galvanizada de ϕ $\frac{1}{2}$ "	2.50	5.00
3pie	Manquera para abrasivo de ϕ 5/8"	16.73	50.20
2	Abrazaderas de ϕ 1 $\frac{1}{2}$ "	2.50	5.00
2	Rodos giratorios de ϕ 3"	88.00	176.00
2	Rodos fijos de ϕ 3"	78.00	156.00
25Lbs	Abrasivo (arena)	1.00	25.00
1	Lámina negra de 100mm x 100mm de $\frac{1}{2}$ " de espesor	5.00	5.00

Total ¢ 803.70

Los costos de mano de obra se presentan en el siguiente cuadro:

DESCRIPCION	COSTO TOTAL (¢)
Fabricación del banco	400.00
Fabricación de la tolva	600.00

Total ¢ 1000.00

Por lo tanto, el costo total de la tolva y banco se calcula así:

$$\text{Costo total}_{\text{tolva y banco}} = \text{Costos de materiales} + \text{costos de mano de obra}$$

$$\text{Costo total}_{\text{tolva y banco}} = \text{¢ } 803.70 + \text{¢ } 1000.00$$

$$\text{Costo total}_{\text{tolva y banco}} = \text{¢ } 1803.70$$

PISTOLA

Los costos de los materiales se presentan en el siguiente cuadro:

Cant.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO(¢)	COSTO TOTAL(¢)
1	Barra de bronce fosfórico de 9" x ϕ 1 $\frac{1}{2}$ "	127.80	127.80
1	Barra de acero AISI 1085 de 5" x ϕ 3/5"	30.60	30.60
2	Pliegos de lija No 600	7.00	14.00
1	O - ring de $\phi_{ext} = 5/8"$ y $\phi_{int} = \frac{1}{2}"$	1.00	1.00
1	Tubo de acero inoxidable de 4" x ϕ 5/8"	20.34	20.34
2	Prisioneros de ϕ $\frac{1}{4}"$	1.00	2.00

Total ¢ 195.74

Los costos de mano de obra se presentan en el siguiente cuadro:

DESCRIPCION	COSTO TOTAL (¢)
Fabricación del inyector de aire	125.00
Fabricación de la tobera	75.00
Fabricación del cuerpo de la pistola	500.00

Total ¢ 700.00

Por lo tanto, el costo total de la pistola se calcula así:

$$\text{Costo total}_{\text{pistola}} = \text{Costos de materiales} + \text{costos de mano de obra}$$

$$\text{Costo total}_{\text{pistola}} = \text{¢ } 195.74 + \text{¢ } 700.00$$

$$\text{Costo total}_{\text{pistola}} = \text{¢ } 895.74$$

ACCESORIOS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

Los costos de estos accesorios se presentan en el siguiente cuadro:

Cant.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO(¢)	COSTO TOTAL(¢)
1	Válvula de cierre rápido para purgar el compresor de $\phi \frac{1}{4}$ "	75.00	75.00
1	Tapón reductor de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{4}$ "	4.50	4.50
4	Niples de 2" x $\phi \frac{1}{4}$ "	7.90	31.60
2m	Manguera para la alimentación de aire al equipo de $\phi \frac{1}{4}$ " (300 psi)	100.00	200.00
1	Tapón reductor de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ "	3.90	3.90
1	Válvula de compuerta de $\phi \frac{1}{2}$ "	33.00	33.00
1	Reductor campana de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ "	5.00	5.00
1	Regulador de presión de aire de $\phi \frac{1}{4}$ " de 0 - 200 psi	395.00	395.00
3	Mangueras con acoples para aire comprimido (300 psi) de 41" x $\phi \frac{1}{4}$ "	167.20	501.60
1	Válvula neumática de pedal de $\phi \frac{1}{4}$ "	1271.25	1271.25
1	Acople rápido de $\phi \frac{1}{4}$ "	70.00	70.00
1	Rollo de cinta teflón	5.50	5.50
		Total	¢ 2596.85

Los costos de mano de obra por el ensamble de los accesorios antes descritos ascienden a una cantidad de ¢ 200.00

Por lo tanto, el costo total de los accesorios del sistema de suministro de aire, se calcula así:

Costo total _{accesorios} = costos de accesorios + costos de mano de obra de ensamble

Costo total _{accesorios} = ¢ 2596.85 + ¢ 200.00

Costo total _{accesorios} = ¢ 2796.85

COSTO TOTAL DEL EQUIPO

El costo total del equipo se determina sumando los totales individuales de los elementos del equipo.

ELEMENTOS	COSTO (¢)
Cámara de disparo	6235.67
Tolva y banco	1803.70
Pistola	895.74
Accesorios del sistema de suministro de aire	2796.85
Total	11731.96

El costo total del equipo es de:

¢ 11731.96

A continuación se presenta un cuadro comparativo del costo de un equipo de sandblasting construido localmente y un equipo importado, ambos con características similares.

DETALLE	COSTO (¢)
Equipo de sandblasting construido localmente	11731.96
Equipo de sandblasting importado	21875.00*

Del cuadro comparativo se puede notar que sale más económico en un 47% construir el equipo que importarlo; esto implica, que se puede ahorrar ¢ 101043.04 fabricando el equipo localmente. Además, se pueden reducir los costos si se realizan los siguientes trabajos:

1. Diseñar y construir el colector de polvo
2. Fabricar el cuerpo de la pistola por medio de un ensamble soldado

* Valor de precio obtenido del Mc Master - carr, catálogo 101, Suplí Company.

CAPITULO VII

PRUEBAS DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

Una vez finalizada la etapa constructiva y de ensamble del equipo, se procede a realizar las pruebas del mismo. Primero se harán las pruebas de funcionamiento de cada uno de los sub - sistemas del equipo y después se harán las pruebas de la acción abrasiva de las arenas obtenidas.

7.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

Primero se probó el sistema de iluminación del equipo, funcionando adecuadamente el interruptor eléctrico apagando y encendiendo la lámpara. Además se probó eléctricamente el toma corriente hembra donde se conectará la aspiradora y se determinó un valor de voltaje de 119 Va.c.

Luego de la prueba anterior, se procedió a probar el sistema de suministro de aire, verificando que no hubiesen fugas de aire en el sistema y también que se diera la descarga de aire a la salida de la tobera, cuando se activa la válvula neumática de pedal, y en efecto, no se detectaron fugas de aire y cuando se activó la válvula de pedal, se dio la descarga de aire a la salida de la tobera.

Finalmente, se probaron dos acciones a la vez: la succión del abrasivo que es la prueba más crítica del funcionamiento del equipo y la evacuación del polvo del

interior de la cámara de disparo a través de la aspiradora, obteniendo excelentes resultados de ambas pruebas; ya que la aspiradora funciona como un colector de polvo y la pistola genera el vacío necesario para que se de la succión del abrasivo y poder realizar el proceso de limpieza con chorro de abrasivo.

7.2 PRUEBAS DE LA ACCION ABRASIVA DE LAS ARENAS OBTENIDAS

Para el desarrollo de esta prueba, se tomarán en cuenta tres factores que llevará a establecer y recomendar las arenas que ofrecen mejores resultados en procesos de sandblasting. Estos factores son:

- 1) Tiempo de limpieza
- 2) Tamaño de la pieza
- 3) Generación de polvo

Cabe mencionar que todas las arenas se probaron con piezas casi del mismo tamaño y de la misma forma (piñones de ϕ 100mm y 15mm de ancho).

El resultado de esta prueba para cada muestra es el siguiente:

Muestra de arena del río Las Cañas en Tonacatepeque:

Tiempo de limpieza : 5 minutos

Se observó poca nubosidad de polvo

Muestra de arena de la mina de Aramuaca en San Miguel:

Tiempo de limpieza : 23 minutos

Se observó excesiva nubosidad de polvo, a tal grado que se pierde la visibilidad al interior de la cámara y se tiene que interrumpir el proceso de limpieza, este paro, hace que el tiempo de limpieza sea mayor.

Muestra de arena del río Amulunga en Santa Ana:

Tiempo de limpieza : 5 minutos

Se observó poca nubosidad de polvo

Muestra de arena del río Sucio en San Miguelito:

Tiempo de limpieza : 6 minutos

Se observó un poco más de la nubosidad de polvo que se observó en la muestra de Amulunga.

Muestra de arena del río Lempa en el puente Cuscatlán:

Tiempo de limpieza : 3 minutos

Se observó muy poca nubosidad de polvo

Muestra del río San Lorenzo en Atiquizaya

Tiempo de limpieza : 10 minutos

Se observó poca nubosidad de polvo

Los resultados de esta prueba se presentan en la siguiente cuadro:

CUADRO 7.1 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE LA ACCION ABRASIVA DE LAS ARENAS OBTENIDAS

Procedencia de las muestras de arena	Tiempo de limpieza (min)	Generación de polvo
Río Las Cañas	5	Poca
Mina de Aramuaca	23	Excesiva
Río Amulunga	5	Poca
Río Sucio San Miguelito	6	Mayor que la anterior
Río Lempa	3	Muy poca
Río San Lorenzo	10	Poca

De los resultados, se puede notar que la arena del río Lempa es la que tiene mayor acción abrasiva y luego le siguen la de Amulunga y la de Las Cañas; por lo tanto, éstas serían las arenas recomendadas a usar en procesos de sandblasting y que ofrecerán mejores resultados de limpieza.

También, luego de haber probado la acción abrasiva de las arenas, se midió el desgaste sufrido por la tobera, durante 24 horas aproximadamente de operación del equipo y el desgaste determinado fue de $1/32$ " ; aumentando el diámetro interno de la tobera de $\phi \frac{1}{4}$ " a $\phi 9/32$ ".

Para que la tobera incremente su vida útil de trabajo (de 50 horas a unas 150 horas), se le podrá aplicar un tratamiento térmico de cementado, el cual en nuestro país está condicionado a que las empresas que se dedican a estos trabajos completen la carga de acuerdo a la capacidad de su horno, ya que estas piezas son demasiado pequeñas y resultaría muy caro realizar el cementado únicamente para estas piezas; pero si el tratamiento se hace cuando completan la carga, el cementado resulta ser de bajo costo, ya que cobran \$ 50.00 por libra del material a tratar.

CAPITULO VIII

ELABORACION DE MANUALES DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE SANDBLASTING

Estos manuales de instrucciones contienen las indicaciones básicas que deberán ser observadas durante la instalación, operación y mantenimiento del equipo. Por lo tanto, estas indicaciones deberán ser leídas necesariamente por el personal responsable de la instalación y operación del equipo antes de la puesta en marcha, así como durante su operación y/o mantenimiento del mismo. Y, estas indicaciones deberán estar permanentemente disponibles en el lugar de instalación de la máquina, con el propósito de obtener el mejor servicio posible del equipo.

8.1 MANUAL DE OPERACION DEL EQUIPO

Estas instrucciones de operación del equipo de sandblasting deberán ser leídas cuidadosamente antes de operar el equipo, a fin de asegurarse una operación libre de problemas.

➤ PUESTA EN MARCHA.

1. Cargue la tolva con el medio abrasivo (arena) con una cantidad entre 25 y 50 Lbs, observando que el abrasivo no vaya a cubrir la entrada del aire del tubo sifón.
2. Chequee todas las mangueras con sus acoples, así como los cables eléctricos por posibles daños.

3. Acople la manguera del colector del polvo a la cámara de disparo.
4. Acople la manguera del aire comprimido al compresor, y cierre la válvula de entrada del aire al equipo de sandblasting.
5. Conecte el toma - corriente macho a una fuente de voltaje de 110 voltios, 60 Hz, 9 Amp.

➤ **SECUENCIA DE OPERACION**

1. Encienda la lámpara de la cámara de disparo
2. Encienda el compresor y regule la presión del aire según la limpieza a realizar entre 60 a 100 psi.
3. Conecte y encienda el separador del polvo.
4. Introduzca la pieza de trabajo a la cámara de disparo y cierre la compuerta de acceso. NOTA: deberá observarse que la pieza de trabajo esté libre de aceite, grasa o humedad.
5. Introduzca sus manos y brazos en los guantes de accesos y sujete firmemente la pistola de disparo con una mano, mientras con la otra mano sujeta la pieza a limpiar.
6. Coloque su pie sobre el pedal que da el paso del aire comprimido hacia la pistola, acciónelo.
7. Dirija el chorro de arena hacia la pieza de trabajo más o menos a una distancia de 10 a 20 cm, según se requiera.
8. Para mejores resultados del acabado de limpieza, desplace continuamente con un movimiento de vaivén la pistola de disparo sobre la superficie a limpiar.

NOTA: Los materiales blandos tales como bronce , cobre, latón, aluminio, plásticos y otros, deberán ser limpiados a bajas presiones

(40 - 60 psi); mientras que para los materiales más duros o que se requiera una limpieza más rápida pueden usarse presiones más altas entre 60 a 100 psi, según necesidad.

➤ APAGADO DEL EQUIPO

1. Suspenda el suministro de aire comprimido, y cierra la válvula de entrada del aire al equipo.

NOTA: Puede despresurizarse el sistema neumático haciendo un pequeño disparo con la pistola, dentro de la cámara.

2. Apague la luz de la cámara de disparo y desconecte el colector del polvo.

8.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Con un razonable cuidado en el mantenimiento de este equipo de sandblasting, se tendrán muchos años de excelente servicio, sin mayores contratiempos; lo que dará mejores resultados en la calidad de los trabajos de limpieza.

El mantenimiento del equipo se ve plasmado en unas hojas de inspección y servicio, las cuales se desprenden del MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO DEPENDIENTE DEL ESTADO DE LA MAQUINARIA (MASDE). En las hojas se usan las letras D, S y R para indicar la frecuencia con que se debe ejecutar las actividades; donde:

D : Diario

S : Semanal

R : Cuando se requiera

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			HOJA DE INSPECCION Y SERVICIO				
D	S	R	ACTIVIDADES	No. Veces	Método Lubricac.	Cantidad	Tipo Lubric.
X			Abrasivo (arena) Chequear el nivel del abrasivo dentro de la tolva	1			
X			Filtro del colector de polvo Limpiarlo	1			
X			Vidrio Visor (Ventana) Limpiarlo	1			
X			Vidrio de lámpara Limpiarlo	1			
X			Válvula de dreno del compresor Abrir la válvula del tanque- acumulador hasta que ya no salga agua (purgar el compresor)				
	X		Sistema Neumático Revisar: a) Regulador de presión b) Mangueras, acoples y válvulas c) Pistola Reparar si hay fugas o sustituir el elemento defectuoso	1			
	X		Guantes Revisar por roturas	1			
	X		Inyector del aire (pistola) Revisar desgaste. Si tiene desgaste rotarla 90° y volverla a armar o sustituirla	1			
	X		Boquilla de salida Revisar si el agujero de esta tobera se ha incrementado de $\frac{1}{4}$ " a $\frac{3}{8}$ ", entonces hay que cambiarla	1			
Operario:			Cambios:	Hoja:	De: Equipo Sandblasting		
			Fecha:				

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			HOJA DE INSPECCION Y SERVICIO				
D	S	R	ACTIVIDADES	No. Veces	Método Lubricac.	Cantidad	Tipo Lubric.
	X		Empaque de la compuerta Revisar que esté en buen estado	1			
	X		Vidrios Visor y Lámpara Revisar su estado	1			
		X	Balero del tornamesa Lubricar	1	Manual	4 gramos	Grasa multipro pósitos NLGI-2
		X	Rodos del banco del equipo Lubricar	1	Manual	1 gr/rodo	Grasa multipro pósitos NLGI-2
		X	Pintura del equipo Pintar con pintura martillada gris	1		1 galón	
Operario:			Cambios:	Hoja:	De: Equipo Sandblasting		
			Fecha:				



SOLUCIONES	POSIBLES CAUSAS	PROBLEMA
<ul style="list-style-type: none"> ✍ Conectar máquina colectora de polvo ✍ Limpiar filtro ✍ Cambiar abrasivo ✍ Limpiar ventana ✍ Revisarlo 	<ul style="list-style-type: none"> ✍ Máquina colectora de polvo desconectada ✍ Filtro del colector de polvo obstruido ✍ El abrasivo puede estar demasiado usado (quebrado) ✍ La ventana-visor está sucia ✍ Sistema de iluminación defectuoso 	<ul style="list-style-type: none"> ✍ Mala visibilidad en la cámara de disparo
<ul style="list-style-type: none"> ✍ Reponer abrasivo ✍ Para que se dé una buena succión de arena el tamaño del diámetro interno de la boquilla debe ser por lo menos dos veces el tamaño del diámetro interno del inyector de aire. Por ejemplo: para un inyector de aire de ϕ 1/8" deberá ser usada una boquilla de $\frac{3}{8}$" de diámetro interno ✍ Regular la presión del aire comprimido ✍ Limpiarlo ✍ Hay que secarla o cambiarla ✍ Habrá que drenar el tanque- acumulador del compresor hasta que ya no salga agua ✍ Limpiarla 	<ul style="list-style-type: none"> ✍ Bajo nivel de abrasivo en la tolva ✍ Desgaste en la combinación inyector-boquilla ✍ Baja presión del aire ✍ Tubo sifón obstruido ✍ La arena está húmeda ✍ El aire comprimido tiene demasuada humedad ✍ La boquilla de salida está obstruida 	<ul style="list-style-type: none"> ✍ La arena fluye intermitentemente a través de la boquilla de salida

8.3 PRECAUCIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD

A continuación se dan una serie de instrucciones de seguridad para el usuario del equipo, el cual deberá tenerlos presente antes de operarlo o darle mantenimiento al mismo.

- i) Desconectar el suministro de energía eléctrica si va a dar mantenimiento al sistema eléctrico.
- ii) No disparar la pistola del abrasivo con la compuerta de la cámara de disparo abierta.
- iii) Nunca dirija el chorro de abrasivo hacia la piel, los ojos, u otra superficie susceptible de daño por la abrasión.
- iv) No use fluidos o mezcla de fluidos con el material abrasivo. Esta cámara está diseñada para permitir solamente el uso de abrasivos secos.
- v) Mantenga el piso alrededor del equipo limpio de abrasivo, ya que este resulta ser muy resbaladizo
- vi) Chequee y limpie frecuentemente el colector de polvo
- vii) No exceder la presión máxima de 125 psi.
- viii) Descargar el sistema presurizado del aire, si va a dar mantenimiento al sistema neumático.
- ix) Usar mascarilla contra el polvo y gafas de seguridad al operar el equipo.
- x) Siempre chequee todo el equipo por posibles fugas, desgaste o deterioros de cualquier tipo.

CONCLUSIONES

- La limpieza con chorro de abrasivo es un proceso de limpieza mecánica rápido, efectivo y económico; ya que reduce las horas de trabajo, permite limpiar superficies, difíciles de trabajar con los procesos convencionales y por la recuperación del abrasivo
- El diseño de los elementos del equipo requiere de una serie de parámetros que llevan a establecer las dimensiones y los materiales a utilizar en la fabricación de los mismos.
- El diseño de la pistola permite generar un vacío estático suficiente y necesario para que se dé la succión del abrasivo.
- Los análisis realizados en las muestras de arenas y la prueba de la acción abrasiva nos indican que la arena del río Lempa en el puente Cuscatlán, es la más indicada a utilizar en los procesos de sandblasting, ya que ofrece mejores características fisicoquímicas y mejores resultados de limpieza.
- El equipo es factible de fabricarlo con la tecnología existente en el país y su costo de fabricación es relativamente bajo.
- Este tipo de equipo puede tener uso intensivo en talleres de metal-mecánica.

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

- Lea cuidadosamente el manual de operación y mantenimiento del equipo de sandblasting antes de usarlo o realizar alguna operación de mantenimiento.
- Realizar el diseño y construcción de un colector de polvo industrial para ser utilizado con el equipo.
- Aplique un tratamiento térmico de cementado a la tobera para incrementar su vida útil y obtener mayores horas de trabajo de la misma.
- Limpie la pieza después de haber realizado el proceso de sandblasting.
- Auxiliarse de los planos y las hojas de proceso para la fabricación del equipo.
- Para el funcionamiento del equipo, se requiere como fuente de energía un compresor de 1 HP de una etapa de uso intermitente, con un depósito acumulador de 0.85 m³ de tamaño.
- Las arenas que se encuentran a mayor distancia de la zona central, tienden a estar compuestas de granos más esféricos que granos angulares; ya que la acción abrasiva de un grano sobre otro es mayor por el mismo arrastre que sufren a largas distancias.

- Si un taller de metal-mecánica fabrica el equipo para uso propio, se ahorra el costo de mano de obra y de esta forma puede reducir el costo total del equipo.
- El equipo puede ser desplazado y utilizado en diferentes áreas donde se requiera.
- Las personas de baja estatura deberán usar una tarima para operar el equipo.

BIBLIOGRAFIA

1. Procesos básicos de manufactura
Autores: Kazanas, H, C: Baker, Glenn E: Gregor Thomas
Editorial: McGraw-Hill, 1988.

2. Procesos de manufactura versión SI
Autores: B.H. Anstead; Ph. F. Ostwald; M.L. Begeman
Editorial: Continental

3. Materiales y procesos de fabricación
Industria metal - mecánica y de plásticos
Autores: Harry D. Moore y Donald R. Kibbey
Editorial: Limusa

4. Procesos para ingeniería de manufactura
Autor: Leo Alting
Editorial: Alfaomega

5. Mecánica de los fluidos
Octava edición
Autores: Victor L. Streeter; E. Benjamin Wylie
Editorial: McGraw - Hill

6. Introducción a la mecánica de fluidos
Cuarta edición
Autores: Robert W. Fox; Alan T. McDonald
Editorial: McGraw - Hill

7. Resistencia de materiales
Diseño de estructuras y máquinas
Autor: E. J. Hearn
Editorial: Interamericana

8. Manual de partes, ensamble, operación y mantenimiento de un equipo de sandblasting para 12 CFM de la corporación ECONOLINE

9. Manual sobre instrucciones de operación y componentes de los equipos de sandblasting de la EMPIRE ABRASIVE EQUIPMENT CORPORATION

10. MC MASTER - CARR
CATALOGO 101
SUPPLY COMPANY

11. Tratado general de soldadura. Tomo III
Proyecto y cálculo de las construcciones soldadas
Autores: Paul Schimpke, Hans A. Horn, J. Ruge
Editorial: Gustavo Gili, S.A. 3ª Edición.

12. Diseño de Elementos de Máquinas.
Autor: Robert L. Matt
Editorial: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

13. Manual de Neumática Básica

14. Neumática, nivel básico TP 101
Manual de estudio Festo Didactic

15. Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas neumáticas.
Trabajo de graduación, UES 1996.
Autores: Alex Guardado - Héctor Peña - Rubén Peña.

16. Evaluación de arenas locales para aplicación en fabricación de piezas metálicas coladas. Trabajo de graduación, UES 1980.
Autores: Manuel Molina - Alejandro Castro - Herbert Serrano

17. Fundamentos de Ciencia de Materiales
Autor: A. G. Guy
Aditorial: Mc Graw-Hill

18. Diseño de un sistema hidráulico para la extracción de rodamientos, poleas y volantes. Proyecto de Ingeniería Mecánica, UES 1997
Autores: Edgardo Estrada - Maximiliano Morales

ANEXOS

ANEXO No. 1

Tabla C.4 Relaciones isentrópicas unidimensionales (para un gas ideal con calor específico constante: $k = 1.4$)*

M	A/A*	p/p_0	ρ/ρ_0	T/T_0	M	A/A*	p/p_0	ρ/ρ_0	T/T_0
0.00	1.000	1.000	1.000	0.78	1.05	0.669	0.750	0.891
0.01	57.87	0.9999	0.9999	0.9999	0.80	1.04	0.656	0.740	0.886
0.02	28.94	0.9997	0.9999	0.9999	0.82	1.03	0.643	0.729	0.881
0.04	14.48	0.999	0.999	0.9996	0.84	1.02	0.630	0.719	0.876
0.06	9.67	0.997	0.998	0.999	0.86	1.02	0.617	0.708	0.871
0.08	7.26	0.996	0.997	0.999	0.88	1.01	0.604	0.698	0.865
0.10	5.82	0.993	0.995	0.998	0.90	1.01	0.591	0.687	0.860
0.12	4.86	0.990	0.993	0.997	0.92	1.01	0.578	0.676	0.855
0.14	4.18	0.986	0.990	0.996	0.94	1.00	0.566	0.666	0.850
0.16	3.67	0.982	0.987	0.995	0.96	1.00	0.553	0.655	0.844
0.18	3.28	0.978	0.984	0.994	0.98	1.00	0.541	0.645	0.839
0.20	2.96	0.973	0.980	0.992	1.00	1.00	0.528	0.632	0.833
0.22	2.71	0.967	0.976	0.990	1.02	1.00	0.516	0.623	0.828
0.24	2.50	0.961	0.972	0.989	1.04	1.00	0.504	0.613	0.822
0.26	2.32	0.954	0.967	0.987	1.06	1.00	0.492	0.602	0.817
0.28	2.17	0.947	0.962	0.985	1.08	1.01	0.480	0.592	0.810
0.30	2.04	0.939	0.956	0.982	1.10	1.01	0.468	0.582	0.805
0.32	1.92	0.932	0.951	0.980	1.12	1.01	0.457	0.571	0.799
0.34	1.82	0.923	0.944	0.977	1.14	1.02	0.445	0.561	0.794
0.36	1.74	0.914	0.938	0.975	1.16	1.02	0.434	0.551	0.788
0.38	1.66	0.905	0.931	0.972	1.18	1.02	0.423	0.541	0.782
0.40	1.59	0.896	0.924	0.969	1.20	1.03	0.412	0.531	0.776
0.42	1.53	0.886	0.917	0.966	1.22	1.04	0.402	0.521	0.771
0.44	1.47	0.876	0.909	0.963	1.24	1.04	0.391	0.512	0.765
0.46	1.42	0.865	0.902	0.959	1.26	1.05	0.381	0.502	0.759
0.48	1.38	0.854	0.893	0.956	1.28	1.06	0.371	0.492	0.753
0.50	1.34	0.843	0.885	0.952	1.30	1.07	0.361	0.483	0.747
0.52	1.30	0.832	0.877	0.949	1.32	1.08	0.351	0.474	0.742
0.54	1.27	0.820	0.868	0.945	1.34	1.08	0.342	0.464	0.736
0.56	1.24	0.808	0.859	0.941	1.36	1.09	0.332	0.455	0.730
0.58	1.21	0.796	0.850	0.937	1.38	1.10	0.323	0.446	0.724
0.60	1.19	0.784	0.840	0.933	1.40	1.11	0.314	0.437	0.718
0.62	1.17	0.772	0.831	0.929	1.42	1.13	0.305	0.429	0.713
0.64	1.16	0.759	0.821	0.924	1.44	1.14	0.297	0.420	0.707
0.66	1.13	0.747	0.812	0.920	1.46	1.15	0.289	0.412	0.701
0.68	1.12	0.734	0.802	0.915	1.48	1.16	0.280	0.403	0.695
0.70	1.09	0.721	0.792	0.911	1.50	1.18	0.272	0.395	0.690
0.72	1.08	0.708	0.781	0.906	1.52	1.19	0.265	0.387	0.684
0.74	1.07	0.695	0.771	0.901	1.54	1.20	0.257	0.379	0.678
0.76	1.06	0.682	0.761	0.896	1.56	1.22	0.250	0.371	0.672

ANEXO No. 1

Tabla C.4 Relaciones isentrópicas unidimensionales (continuación)

M	A/A*	p/p ₀	ρ/ρ ₀	T/T ₀	M	A/A*	p/p ₀	ρ/ρ ₀	T/T ₀
1.58	1.23	0.242	0.363	0.667	2.30	2.19	0.080	0.165	0.486
1.60	1.25	0.235	0.356	0.661	2.32	2.23	0.078	0.161	0.482
1.62	1.27	0.228	0.348	0.656	2.34	2.27	0.075	0.157	0.477
1.64	1.28	0.222	0.341	0.650	2.36	2.32	0.073	0.154	0.473
1.66	1.30	0.215	0.334	0.645	2.38	2.36	0.071	0.150	0.469
1.68	1.32	0.209	0.327	0.639	2.40	2.40	0.068	0.147	0.465
1.70	1.34	0.203	0.320	0.634	2.42	2.45	0.066	0.144	0.461
1.72	1.36	0.197	0.313	0.628	2.44	2.49	0.064	0.141	0.456
1.74	1.38	0.191	0.306	0.623	2.46	2.54	0.062	0.138	0.452
1.76	1.40	0.185	0.300	0.617	2.48	2.59	0.060	0.135	0.448
1.78	1.42	0.179	0.293	0.612	2.50	2.64	0.059	0.132	0.444
1.80	1.44	0.174	0.287	0.607	2.52	2.69	0.057	0.129	0.441
1.82	1.46	0.169	0.281	0.602	2.54	2.74	0.055	0.126	0.437
1.84	1.48	0.164	0.275	0.596	2.56	2.79	0.053	0.123	0.433
1.86	1.51	0.159	0.269	0.591	2.58	2.84	0.052	0.121	0.429
1.88	1.53	0.154	0.263	0.586	2.60	2.90	0.050	0.118	0.425
1.90	1.56	0.149	0.257	0.581	2.62	2.95	0.049	0.115	0.421
1.92	1.58	0.145	0.251	0.576	2.64	3.01	0.047	0.113	0.418
1.94	1.61	0.140	0.246	0.571	2.66	3.06	0.046	0.110	0.414
1.96	1.63	0.136	0.240	0.566	2.68	3.12	0.044	0.108	0.410
1.98	1.66	0.132	0.235	0.561	2.70	3.18	0.043	0.106	0.407
2.00	1.69	0.128	0.230	0.556	2.72	3.24	0.042	0.103	0.403
2.02	1.72	0.124	0.225	0.551	2.74	3.31	0.040	0.101	0.400
2.04	1.75	0.120	0.220	0.546	2.76	3.37	0.039	0.099	0.396
2.06	1.78	0.116	0.215	0.541	2.78	3.43	0.038	0.097	0.393
2.08	1.81	0.113	0.210	0.536	2.80	3.50	0.037	0.095	0.389
2.10	1.84	0.109	0.206	0.531	2.82	3.57	0.036	0.093	0.386
2.12	1.87	0.106	0.201	0.526	2.84	3.64	0.035	0.091	0.383
2.14	1.90	0.103	0.197	0.522	2.86	3.71	0.034	0.089	0.379
2.16	1.94	0.100	0.192	0.517	2.88	3.78	0.033	0.087	0.376
2.18	1.97	0.097	0.188	0.513	2.90	3.85	0.032	0.085	0.373
2.20	2.01	0.094	0.184	0.508	2.92	3.92	0.031	0.083	0.370
2.22	2.04	0.091	0.180	0.504	2.94	4.00	0.030	0.081	0.366
2.24	2.08	0.088	0.176	0.499	2.96	4.08	0.029	0.080	0.363
2.26	2.12	0.085	0.172	0.495	2.98	4.15	0.028	0.078	0.360
2.28	2.15	0.083	0.168	0.490	3.00	4.23	0.027	0.076	0.357

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES PESADAS NO FERROSAS .

Aleación	Composición aproximada, porcentajes	Resistencia a la tracción por tensión, $\frac{1}{2}$ lb/plg ²	Resistencia a la tensión lb/plg ²	Módulo de elasticidad por tensión, 10 ⁶ lb/plg ²	Porcentaje de elongación en 2 plg	Resistencia al corte, lb/plg ²	Número de dureza Rockwell	Peso, lb/plg ³
Latón para corte libre: Recocido ¼ duro 15% de reducción Medio duro, 25% de reducción Latón con alto contenido de plomo (0.04 plg de grueso): Recocido, grano de 0.050 mm Extraduro Latón rojo (0.04 plg de grueso): Recocido, grano de 0.070 mm de grueso extra duro Bronce al aluminio: Vaciado en arena Extruido Cobre al berilio: A (solución recocida) H.T. endurecido Bronce al manganeso (A): Recocido, suave, duro 15% de reducción Recocido al fósforo, 5% (A): Extraduro, grano de 0.035 mm Cuproniquel, 30%: Recocido a 1400°F. Lamnado en frío, 50% de reducción	Cobre 61.5; cinc 35.5; plomo 3 Cobre 65; cinc 33; plomo 2 Cobre 85; cinc 15 Cobre 89; aluminio 8; hierro 3 Cobre 97.9; berilio 1.9; níquel 0.2 Cobre 58.5; cinc 39; hierro 1.4; estaño 1; manganeso 0.1 Cobre 95; estaño 5 Cobre 70; níquel 30	{ 18 (KSI) 45 (KSI) 52 (KSI) { 15 (KSI) 62 (KSI) { 10 (KSI) 61 (KSI) { 28 (KSI) 37 (KSI) { 150 (KSI) { 30 (KSI) 60 (KSI) { 22 (KSI) 92 (KSI) { 20 (KSI) 78 (KSI)	49 (KSI) 56 (KSI) 68 (KSI) 47 (KSI) 85 (KSI) 38 (KSI) 78 (KSI) 75 (KSI) 82 (KSI) 70 (KSI) ± 200 (KSI) 65 (KSI) 82 (KSI) 49 (KSI) 94 (KSI) 55 (KSI) 85 (KSI)	12 12 14 12 15 12 15 18 18 13 15 13 17 22 22	53 20 18 55 5 48 4 40 25 35 2 35 25 57 5 45 15	30 (KSI) 33 (KSI) 38 (KSI) 33 (KSI) 45 (KSI) 31 (KSI) 44 (KSI) 42 (KSI) 47 (KSI) 	F65 B62 BND F66 B67 F66 B63 B60 ± C42 B65 BND B63 B64 B67 B61	0.30 0.30 0.30 0.30 0.30 0.31 0.31 0.30 0.30 0.32 0.32 0.30 0.30 0.32 0.32 0.32 0.32

PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS TÍPICAS DE LOS MATERIALES DE INGENIERIA

Material	Módulo de Young de elasticidad E (GN/m ²)	Módulo de esfuerzo cortante G (GN/m ²)	Límite "elástico" σ_y (MN/m ²)	Resistencia a la fluencia por esfuerzo cortante τ_y (MN/m ²)	Resistencia a la tensión (MN/m ²)	Resistencia a última en esfuerzo cortante (MN/m ²)	Porcentaje de elongación (%)	Densidad ρ (kg/m ³)	Coefficiente de expansión lineal térmica α ($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)
Aleación de aluminio	69	26	230	-	390	240	23	2770	23
Latón	102	38	-	-	350	-	40	8350	18.9
Bronce	115	45	210	-	310	-	20	7650	18
Hierro colado: maleable	90	41	-	-	210	-	8	7640	10.5
Hierro gris	170	83	248	166	370	330	12	7640	12
Acero al bajo carbono (dulce)	207	80	280	175	480	350	25	7800	11.7
Aleación de níquel-cromo	208	82	1200	650	1700	950	12	7800	11.7
Acero									
Madera	9	1	48	-	70	-	-	550	-

ANEXO No. 4

Presión de Comprimor por Pulg. Cuad.		A USO INTERMITENTE Consumo de Aire Libre en Pies Cúb. Por Minuto de Todo el Equipo			Caballaje del Comprimor Necesario		B OPERACION CONTINUA Consumo de Aire Libre Pies Cúb. Por Minuto de Todo el Equipo		
Conecta	Desconecta				Dos Etapas	Una Etapa			
80	100	Hasta	—	6.6		1/2	Hasta	—	1.9
80	100	6.7	—	10.5		3/4	2.0	—	3.0
80	100	10.6	—	13.6		1	3.1	—	3.9
80	100	Hasta	—	14.7	1		Hasta	—	4.2
80	100	13.7	—	20.3		1 1/2	4.0	—	5.8
80	100	14.8	—	22.4	1 1/2		4.3	—	6.4
80	100	20.4	—	26.6		2	5.9	—	7.6
80	100	22.5	—	30.4	2		6.5	—	8.7
80	100	26.7	—	32.5		3	7.7	—	10.2
80	100	30.5	—	46.2	3		8.8	—	13.2
80	100	32.6	—	38.0		5	10.3	—	18.0
80	100	46.3	—	60.0	5		13.3	—	20.0
80	100	60.1	—	73.0	7 1/2		20.1	—	29.2
80	100	73.1	—	100.0	10		29.3	—	40.0
80	100	100.1	—	150.0	15		40.1	—	60.0
80	100	150.1	—	200.0	20		60.1	—	80.0
145	175	Hasta	—	11.9	1		Hasta	—	3.4
145	175	12.0	—	18.5	1 1/2		3.5	—	5.3
145	175	18.6	—	24.2	2		5.4	—	6.9
145	175	24.3	—	36.4	3		7.0	—	10.4
145	175	36.5	—	51.0	5		10.5	—	17.0
145	175	51.1	—	66.0	7 1/2		17.1	—	26.4
145	175	66.1	—	88.2	10		26.5	—	35.3
145	175	88.3	—	135.0	15		35.3	—	55.0
145	175	135.1	—	185.0	20		55.1	—	75.0

ANEXO No. 5

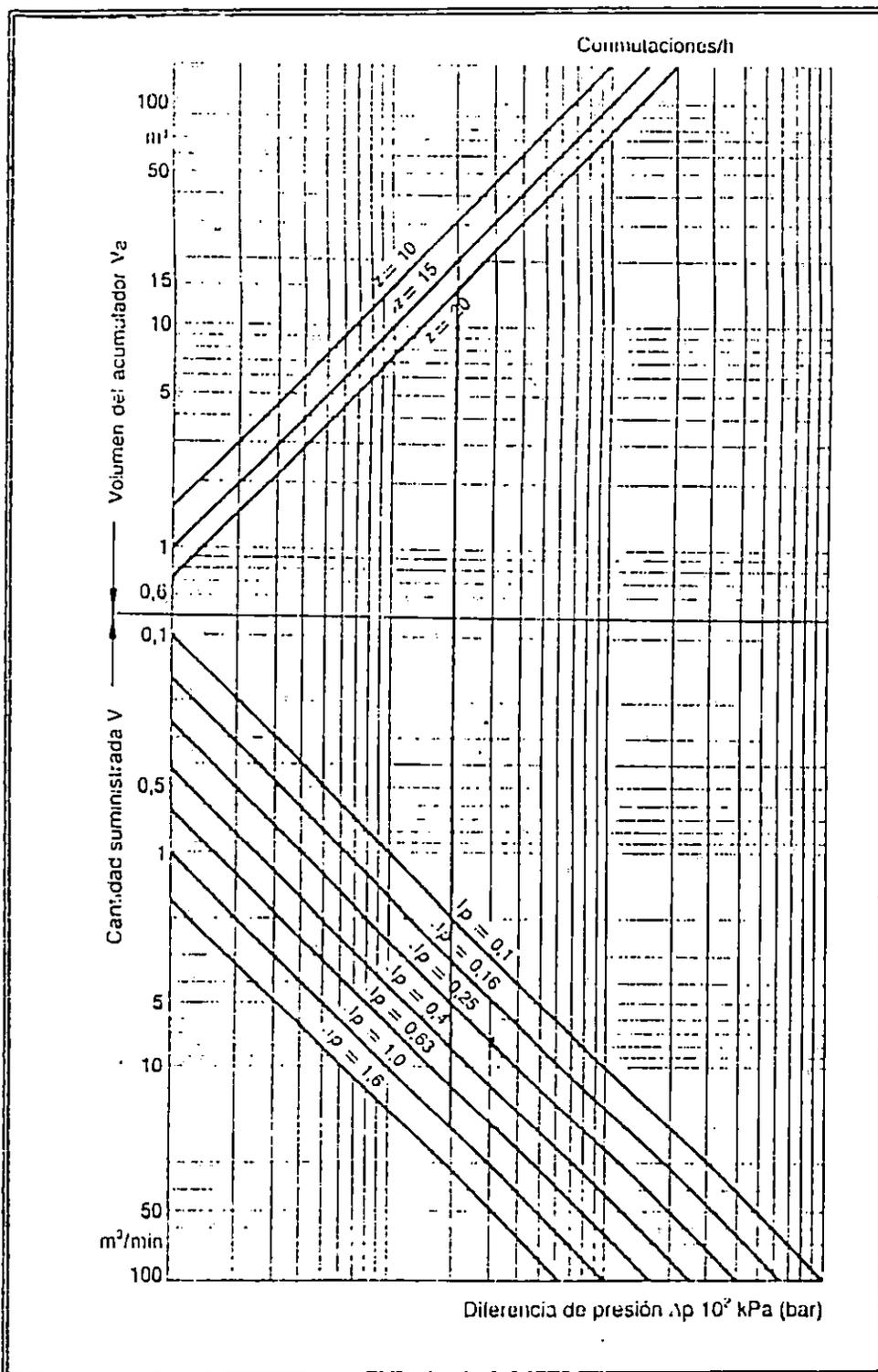


Diagrama: determinación del volumen del acumulador.

ANEXO No. 6

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

Sres.
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de El Salvador
Presente.

El Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de El Salvador hace constar que:

Durante los meses de noviembre y diciembre del año en curso y a solicitud de los bachilleres José Maximiliano Morales Orantes y Rodolfo de la Paz Ayala, quienes se encuentran desarrollando el trabajo de graduación: "Diseño y construcción de un Equipo para procesos de limpieza mecánica de superficies, con chorro abrasivo", para optar al grado de Ingeniero Mecánico; el CIAN realizó el análisis de 6 muestras de arena utilizando la técnica de Difractometría de Rayos X, con objeto de definir su composición mineralógica.

El análisis instrumental y la interpretación de los resultados estuvo bajo la responsabilidad de la Licenciada Aída Santana de Zamora, geólogo, encargada de la Difractometría de Rayos X.

Para los fines que se estimen convenientes, se extiende esta constancia en el Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN) a los veintidos días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y nueve.

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"



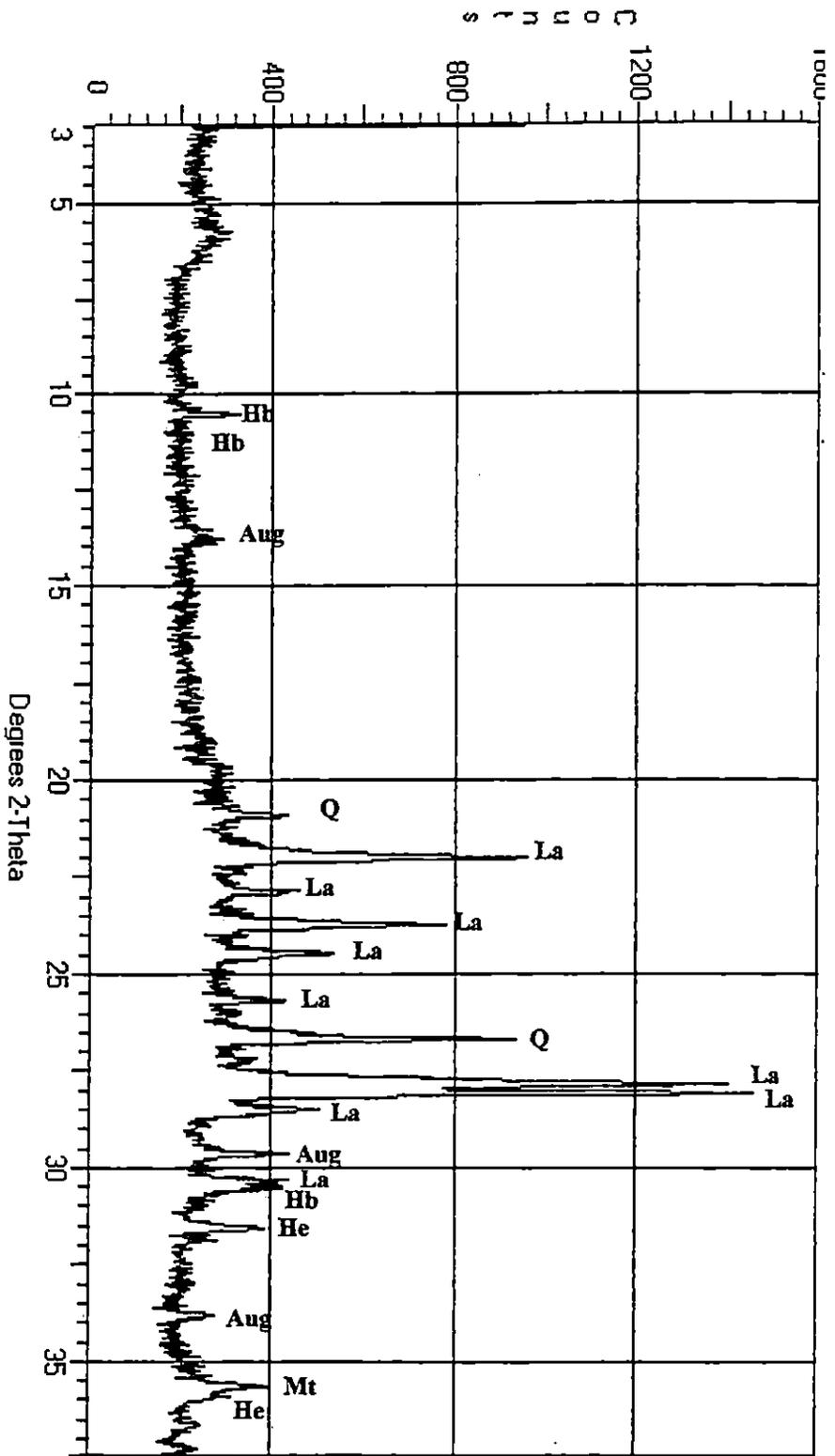
Lic. Aída Santana de Zamora
Geólogo



Ing. Ramón Portillo
Director del CIAN

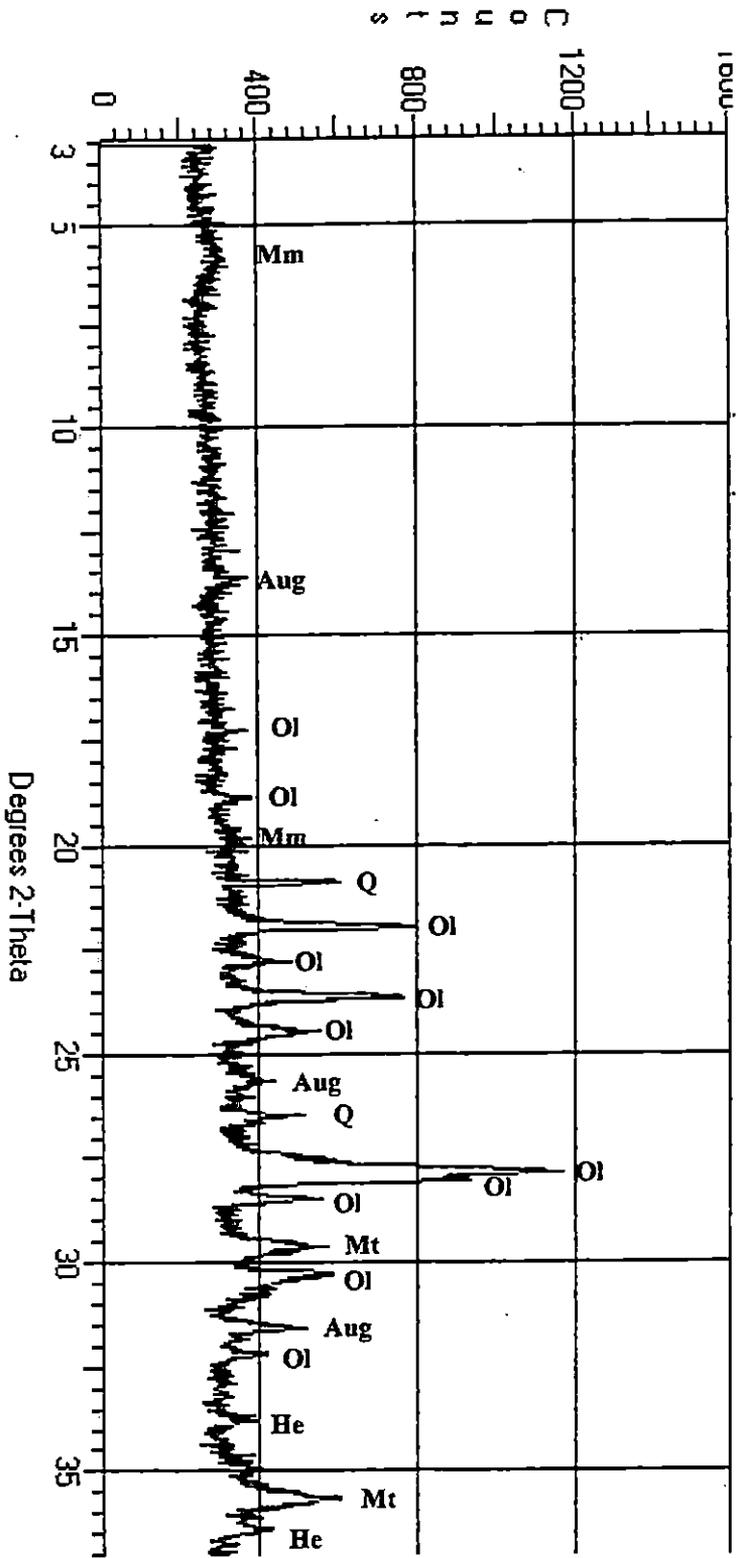


PROCEDENCIA DE LA ARENA : RIO LAS CAÑAS



ANEXO No. 7

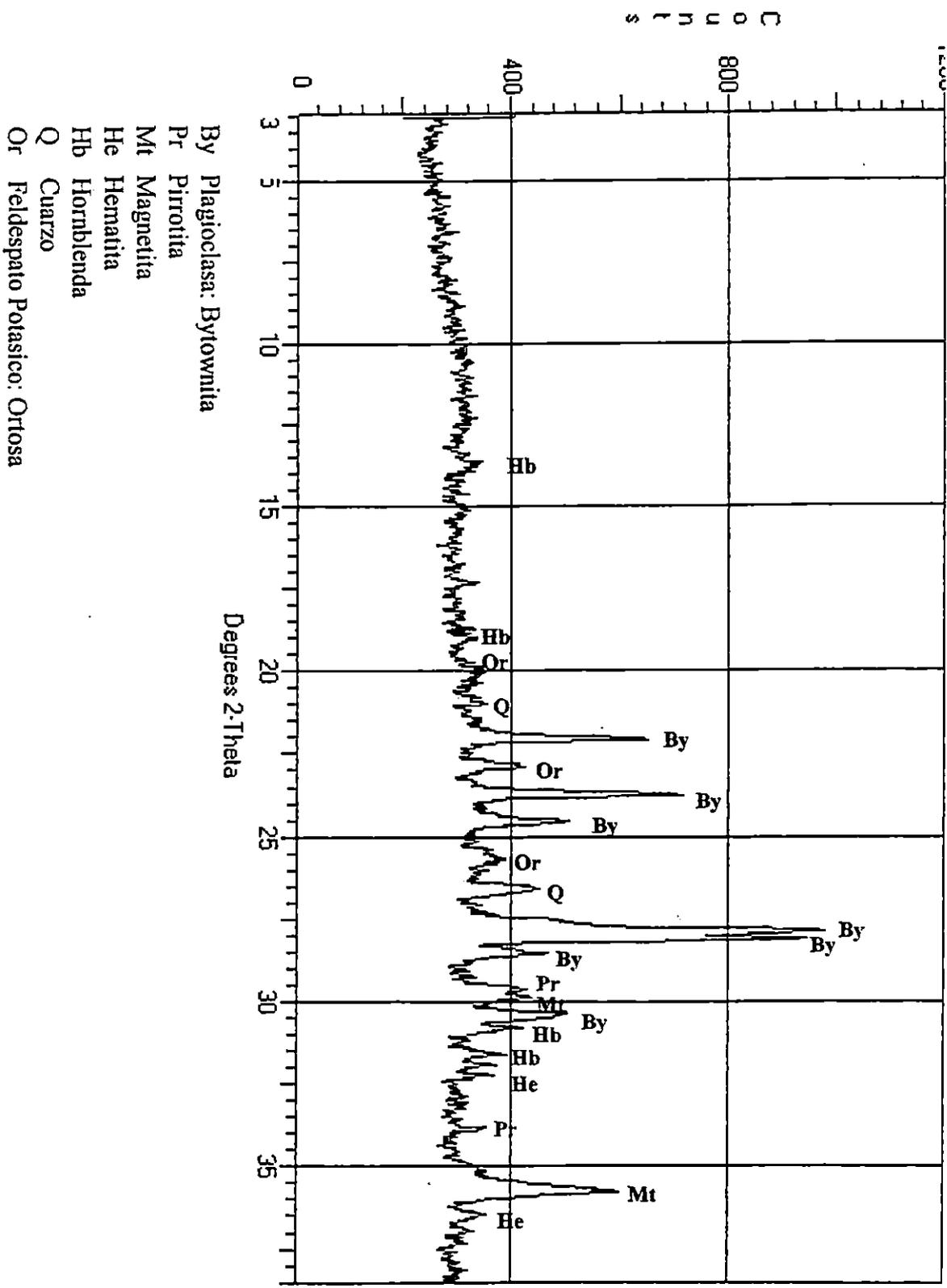
PROCEDENCIA DE LA ARENA : MINA DE ARAMUACA



ANEXO No. 8

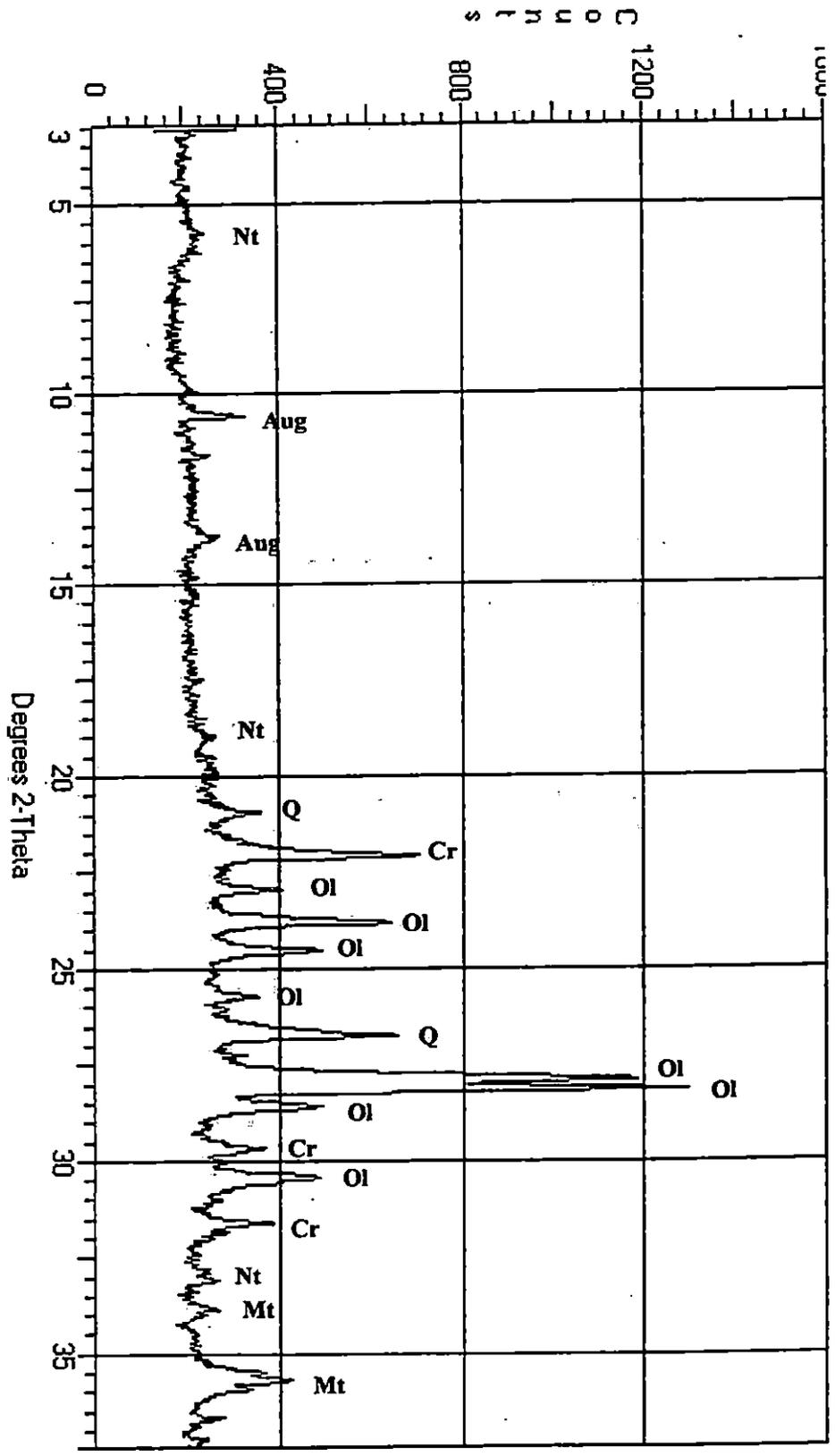
- Ol Plagioclasa: Oligoclasa
- He Hematita
- Mt Magnetita
- Q Cuarzo
- Mm Montmorillonita
- Aug Augita

PROCEDENCIA DE LA ARENA : RIO AMULUNGA



ANEXO No. 9

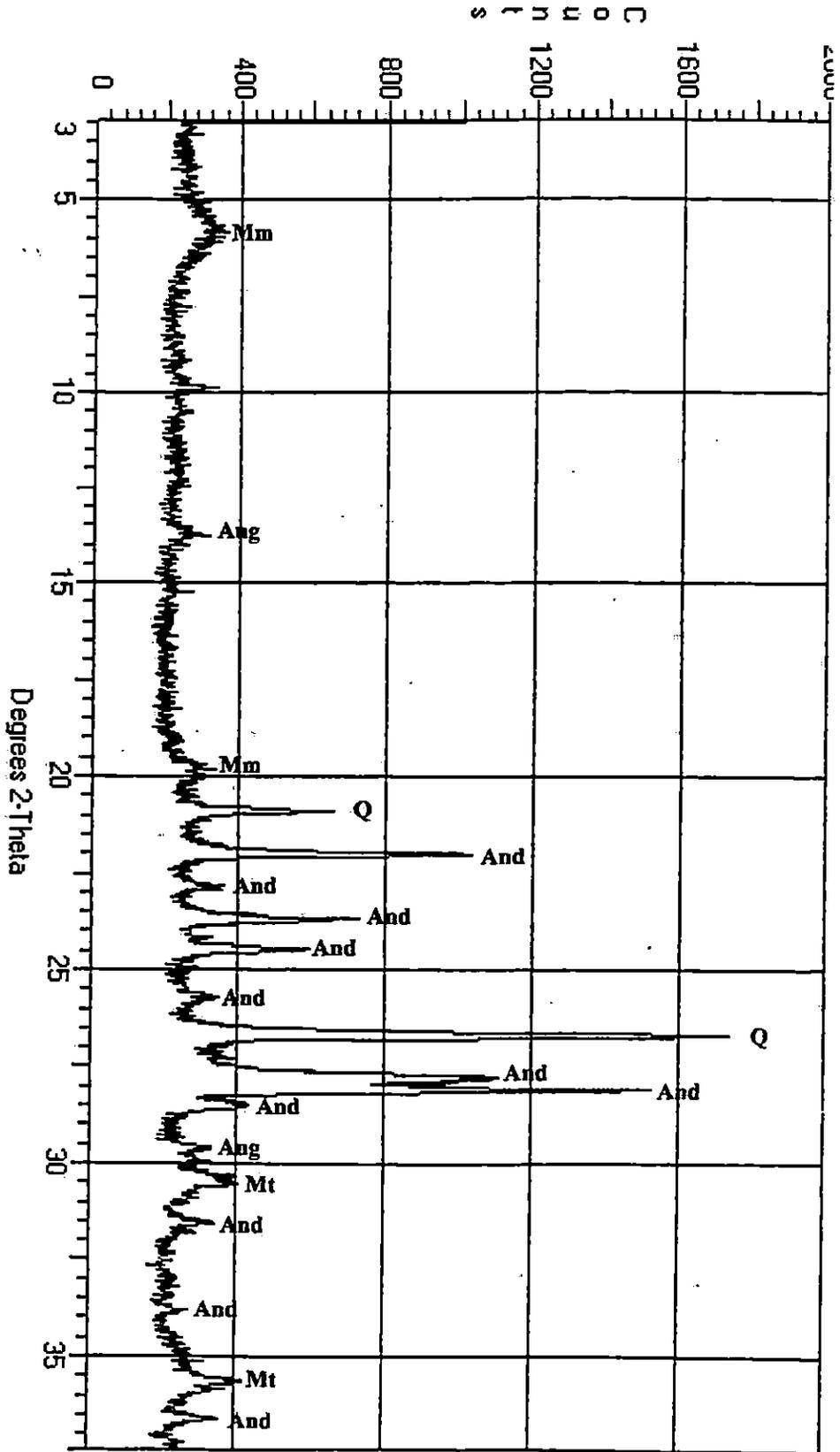
PROCEDENCIA DE LA ARENA : RIO SUCIO SAN MIGUELITO



- Ol Plagioclasa: Oligoclasa
- Cr Cristobalita
- Q Cuarzo
- Nt Nontronita
- Mt Magnetita
- Aug Augita

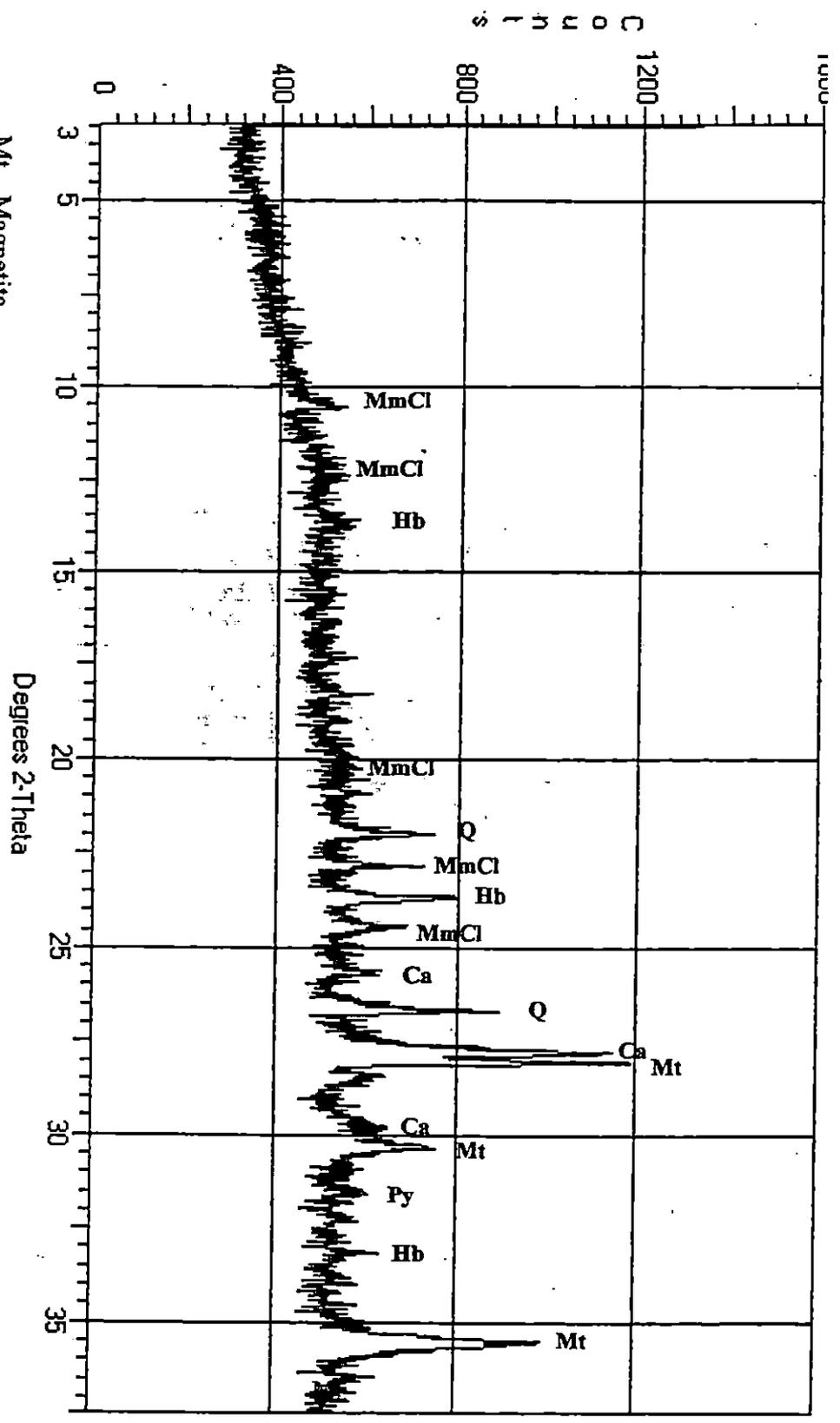
ANEXO No. 10

PROCEDENCIA DE LA ARENA : RIO LEMPA



ANEXO No. 11

PROCEDENCIA DE LA ARENA : RIO SAN LORENZO



ANEXO No. 12