

**IMPLEMENTACION DE UN PROCESO DE WET BLASTING A
PARTIR DE UN PROCESO DE SAND BLASTING**

**OSCAR IVAN LAGUNA MORANTE
JUVENAL TOBIAS BENITEZ PALMETH**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA DE INDIAS, D. T, H y C.**

2003

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE WET BLASTING A
PARTIR DE UN PROCESO DE SANDBLASTING.**

OSCAR LAGUNA MORANTE COD. 9803030

JUVENAL BENITEZ PALMETH COD. 9703035

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título
de ingenieros mecánicos.**

**Director: OSCAR LAGUNA
Ingeniero mecánico.**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA DE INDIAS, D.T, H y C.

2003

NOTA DE ACEPTACIÓN

Decano de la facultad

Calificador

Calificador

Cartagena 23 de enero de 2003

A: Juvenal y Amadys.

A: Oscar Armando y Luz Marina,
gracias por haber sabido guiarme
por el camino del éxito.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La empresa LAGUNA MORANTE Ltda. Por toda la colaboración y enseñanzas brindadas.

Oscar Laguna A. Ingeniero Mecánico y Director de la Investigación, por todos los conocimientos y orientaciones que nos transmitió y que ayudaron sobremanera a la culminación de este trabajo.

De igual forma expresamos nuestros agradecimientos al Medico José Pereira, cuya ayuda fue fundamental en lo concerniente a salud ocupacional.

Artículo 107

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grados aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DE SUPERFICIES CON CHORRO HÚMEDO	23
1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS TECNOLÓGICAS	26
1.1.1 Soplo de aire y abrasivo	26
1.1.2 Soplo de aire y abrasivo húmedo	28
1.1.3 Slurry blasting	31
1.1.4 Soplo de agua a alta presión	34
1.1.5 Procedimientos y parámetros	40
1.2 SISTEMAS DE LIBERACIÓN DE AGUA	42
1.2.1 Pureza del agua	42
1.2.2 Requerimientos para tasas de corriente de agua	42
1.3 ABRASIVOS	43

1.3.1 Selección de abrasivos	43
1.3.2 Abrasivos alternativos	44
1.3.3 Características de la limpieza con arenas	44
1.3.4 Rendimiento de los abrasivos	47
1.3.5 La escala de Moh de durezas relativas	47
1.3.6 Procesos de limpieza con abrasivos blandos	49
1.3.6.1 Esponjas	51
1.3.6.2 Hielo seco	52
1.3.6.3 Bicarbonato de sodio	54
1.3.6.4 Abrasivos vegetales	55
1.3.6.5 Plásticos	56
1.4 INHIBIDORES	57
1.4.1 Prevención del flash rust	59
1.4.2 Compatibilidad con las pinturas	59
2. DISEÑO DEL DISPOSITIVO Y COMPARACIONES DE LIMPIEZA	61
2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL	64
2.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE FABRICACIÓN	68
2.3 ANALISIS DE PARÁMETROS EN LOS PROCESOS DE LIMPIEZA DE SUPERFICIES METALICAS	72
2.3.1 Ratas de limpieza	73

2.3.2 Efectividad de la limpieza	75
2.3.3 Disponibilidad de los equipos	78
2.3.4 Seguridad	80
2.3.5 Portabilidad y versatilidad	82
2.3.6 Costos	84
3. SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN EL PROCESO DE SANDBLASTING Y WETBLASTING	86
3.1 DESCRIPCIONES	88
3.1.1 Descripción y uso de limpieza con chorro abrasivo	88
3.1.2 Descripción de la sílice	88
3.2 EXPOSICION OCUPACIONAL	89
3.2.1 Numero de trabajadores expuestos	89
3.2.2 Ocupaciones de riesgo de exposición a polvo de sílice	91
3.3 FACTORES QUE CONDICIONAN EL RIESGO Y AFECTAN LA POTENCIAL EXPOSICIÓN INCIDENTAL A SÍLICE RESPIRABLE	92
3.3.1 Factores del agente	92
3.3.1.1 Contenido de sílice en polvo	92
3.3.1.2 Tipo de sílice	94
3.3.1.3 Tamaño de las partículas	94
3.3.2 Factores de la exposición	95
3.3.2.1 Concentración de polvo en el aire	95

3.3.2.2 Efectos de la geometría del lugar en la concentración	101
3.3.2.3 Tiempo de exposición	102
3.3.3 Factores del trabajador	102
3.4 LIMITES ACTUALES DE EXPOSICIÓN	103
3.4.1 Mecanismos de acción	103
3.4.1.1 Retención	103
3.4.1.2 Eliminación	104
3.5 EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA EXPOSICIÓN AL SÍLICE CRISTALINO	105
3.5.1 Silicosis	105
3.5.2 Silicosis con tuberculosis pulmonar	106
3.6 INFORMES DE CASO	107
3.6.1 Caso No. 1 – una muerte	107
3.6.2 Caso No 2 – una muerte	109
3.7 DIAGNOSTICO	112
3.7.1 Presuntivo	112
3.7.2 De certeza	112
3.7.3 Diferencial	113
3.8 VIGILANCIA MEDICA	113
3.8.1 Exámenes preocupacionales	113
3.8.2 Exámenes ocupacionales	113

3.8.3 Asistencia	114
3.9 MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL	115
3.9.1 Practicas de protección respiratoria	117
3.9.2 Respiradores	118
3.10 EDUCACION Y PARTICIPACIÓN	126
3.11 GESTION ADMINISTRATIVA	127
CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	136

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados obtenidos con la utilización del dispositivo	63
Tabla 2. Comparaciones de las diferentes configuraciones en el dispositivo	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura1. Inyectores de agua radial.	29
Figura 2. Inyector de agua coaxial.	31
Figura 3. Mezclado en el sistema de slurry blasting.	33
Figura 4. Sistema de limpieza con alta presión de agua.	36
Figura 5. Pistola y boquilla para la limpieza a altas presiones.	37
Figura 6. Boquilla para la limpieza a bajas presiones.	38
Figura 7. Boquilla con uno o varios orificios.	39
Figura 8. Cámara de limpieza con tolva para la recuperación de abrasivos.	46
Figura 9. Dimensiones del dispositivo.	68
Figura 10. Configuración de agujeros y acoplo	69
Figura 11. Limpieza con soplo seco y húmedo.	77
Figura 12. Válvula de seguridad para una boquilla.	81
Figura 13. Concentraciones Vs Distancia a la fuente.	97

Figura 14. Concentraciones Vs Distancia a la fuente para intervalos de distancia de 50 pies.

98

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Recomendaciones de NIOSH para la selección de los respiradores	123

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Regulaciones para la limpieza con soplo de Abrasivos.	136
Anexo B. Ratas de limpieza típicas obtenidas con Sandblasting.	137
Anexo C. Comparación entre diferentes tipos de equipos Para la preparación de superficies.	138
Anexo D. Dimensiones del dispositivo de inyección de Agua.	139
Anexo E. Tabla de consumos de arena y flujos de aire de acuerdo a la boquilla de sandblasting	140
Anexo F. Reporte técnico de la SSPC, limpieza con soplo de abrasivo húmedo	141

IMPLEMENTACION DE UN PROCESO DE WET BLASTING A PARTIR DE UN PROCESO DE SAND BLASTING

**OSCAR IVAN LAGUNA MORANTE
JUVENAL TOBIAS BENITEZ PALMETH**

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un dispositivo que permita ser acoplado en la boquilla que se utiliza en el proceso de Sandblasting, con el fin de humedecer la arena que se utiliza en este proceso y disminuir la presencia de finos de arena en el ambiente de trabajo así como también disminuir el riesgo de que el operario contraiga una enfermedad respiratoria causada la inhalación de este polvo, para aumentar la calidad y rendimiento del proceso.

METODOLOGÍA

Información primaria: Esta se recolecta a través de métodos como la observación directa en las instalaciones de LAGUNA MORANTE LTDA, así como también por medio de charlas y entrevistas con operarios y con personal que conoce del tema de las empresas del sector de Mamonal y los fabricantes de pinturas. Además se pedirá la asesoría de un especialista en salud ocupacional. Información secundaria: Esta información es aquella que se recoge de estudios ya realizados por investigadores; para este proyecto se recopilara de libros, revistas, folletos,

catálogos, Internet, documentos y publicaciones hechos por la SSPC, NIOSH y OSHA, así como los fabricantes de recubrimientos.

Con base en los diversos tipos de investigaciones existentes, se concluye que la presente investigación es aplicada de tipo experimental.

RESULTADOS

La utilización de procesos de preparación de superficies con soplo de abrasivo húmedo, es una técnica que sirve como alternativa para reemplazar el proceso de limpieza con soplo seco en algunas aplicaciones. El proceso de limpieza seco sigue siendo el más rentable, el de mayor productividad y mayores tasas de limpieza. Las concentraciones de polvo se pueden estimar de una forma bastante aproximada por medio de formulas teóricas, lo cual facilita la selección de la protección respiratoria adecuada. Es necesario emprender campañas de educación conjuntas entre la ARP y los departamentos administrativos de las empresas con el fin de instruir a todas las personas que trabajan en áreas donde se genera polvo de sílice respirable.

Los procesos de limpieza con soplo de abrasivos húmedos, ayudan a la disminución del polvo en las áreas donde esta siendo aplicado. Por lo cual disminuyen las concentraciones de polvo de sílice respirable en el área circundante a donde se realiza el trabajo. Estos procesos son capaces de producir perfiles de anclajes cercanos al metal blanco (SSPC-SP 10).

DIRECTOR

Ing. OSCAR LAGUNA A.

INTRODUCCIÓN

La empresa LAGUNA MORANTE Ltda. entendiendo a la necesidad de adaptarse a un mercado flexible el cual demanda diversificación en las formas de realizar limpiezas de superficies metálicas y entendiendo la importancia de garantizar una adecuada salud y seguridad en todos los procesos que realiza para brindar confianza a sus empleados, estuvo interesada en conocer las características técnicas que se pueden lograr en las superficies terminadas cuando se preparan con procesos de limpieza con soplo de abrasivo húmedos, para adicionar estos servicios en su línea de trabajo.

Este es un avance muy importante debido a que en determinadas zonas de algunas empresas esta restringido el uso de procesos de limpieza con soplo de abrasivos secos. Debido a diferentes factores como son: equipo mecánico en operación, gases inflamables presentes en el ambiente de trabajo, deterioro acelerado de filtros, etc. En estas zonas era necesario realizar limpiezas manual mecánicas que no son lo suficientemente eficientes y eficaces ya que no alcanzan una productividad alta ni tampoco dan unas características en la superficie terminada optimas. Por esto. los procesos de limpieza con soplo de abrasivos

húmedos toman importancia, ya que surgen como una alternativa de limpieza que brindan unas tasas de limpieza no muy inferiores a las que se logran con el soplo de abrasivo seco y además alcanzan características en la superficie terminada bastante cercanas al SSPC-SP 10.

Como la empresa ya posee sus equipos de sandblasting, es necesario realizar el dispositivo de tal manera que pueda ser acoplado en los equipos ya existentes y de esta manera obtener una optimización de la capacidad ya instalada. Sin incurrir en la compra de equipos para soplo de abrasivo húmedo que son bastante costosos y realizan la misma labor.

Las restricciones gubernamentales para aplicación de procesos de limpieza con sandblasting están siendo mayores, por lo cual se están aumentando las zonas donde pueden ser aplicados los procesos de limpieza con soplo de abrasivo húmedo. Por tal razón, las empresas que prestan este servicio deben estar preparadas para cubrir esta demanda .

Con la aplicación de los procesos de limpieza con soplo de abrasivos húmedos, se pretende también disminuir el riesgo de exposición de los operarios al polvo de sílice respirable generado en el proceso de sandblasting. Con la adición de agua al soplo de arena/aire se pretende también humedecer la arena para lograr la precipitación de los polvos de sílice respirables al suelo, ya que estos son nocivos para la salud de los operarios y de personas que trabajan en zonas adyacentes a donde se realiza el proceso. Con la precipitación del polvo y disminución de los

limites de exposición a los cuales se encuentran sometidos los operarios se disminuye el riesgo de contraer silicosis.

1. LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DE SUPERFICIES CON CHORRO HÚMEDO

Es universalmente conocido que la limpieza de superficies con chorro de abrasivo seco, es la técnica más económica y eficiente utilizada en la preparación de superficies de acero estructural en las aplicaciones industriales. Estas unidades suministran una corriente a gran velocidad contra la superficie y abrasivos con ángulos afilados, que tienen la capacidad de remover la pintura existente, óxidos y dar al metal base la rugosidad necesaria para la adhesión de la pintura. Los equipos para limpieza con abrasivos secos han sido estandarizados en un alto grado y proveen un alto grado de confiabilidad y uniformidad.

La limpieza con chorro de arena seca ha venido siendo restringido, debido a los problemas de salud que se pueden presentar con la inhalación de polvo de sílice, el cuidado de la calidad del aire para la visibilidad, las partículas gastadas, el escape de polvo perjudicial y la contaminación con polvo de maquinarias o equipos sensibles. Esto también ha sido de cuidado, debido a la capacidad que puede tener el abrasivo usado en la remoción de pintura, para contener componentes de plomo o de otros metales tóxicos presentes en la capa de pintura.

Las entidades dedicadas a la protección de la salud al igual que las dedicadas a la preparación de superficies, han reconocido los problemas serios causados por la inhalación de polvo de sílice, producido en los procesos de limpieza de superficies metálicas con chorro de arena seco. El principal problema que se genera con la utilización de este proceso es el debilitamiento de los pulmones por medio de una enfermedad conocida como silicosis. La OSHA ha establecido limitaciones a los niveles promedios de sílice a los que puede exponerse un trabajador, durante un periodo de ocho horas de exposición (Anexo A). Para la mayor cantidad de trabajos (interiores y exteriores) donde se utiliza el sopleo de aire/abrasivo, los niveles límites de sílice a los que se encontrarán expuestos los trabajadores serán más altos. Por tal razón se hace necesaria la protección respiratoria. Además el polvo generado en el proceso de limpieza viaja a otros lugares vecinos, lo cual hace necesario el monitoreo de los niveles de polvo en lugares donde otros trabajadores pueden estar.

La EPA (Environmental Protection Agency) ha establecido límites en las concentraciones totales permisibles de partículas suspendidas en el aire. Las restricciones primariamente se aplicaban a partículas de menos de 10 micrones. Las cuales son las que representan un mayor riesgo de inhalación. Las partículas de pintura removidas desde la superficie podrían exceder los niveles permisibles. Otro problema potencial es el manejo del material gastado el cual puede contener plomo u otros materiales tóxicos. El manejo de estos materiales debe estar de acuerdo con las leyes o restricciones vigentes, las restricciones más significativas son suministradas en la el (Anexo A). Existen diferentes alternativas, las cuales se

pueden usar para la preparación de superficies metálicas y que disminuyen la cantidad de generación de polvo de sílice respirable, lo cual beneficia la salud de los operarios. Estas alternativas varían los rendimientos, costos, disponibilidad, etc... de los procesos, por lo cual es necesario analizarlas. Entre las alternativas disponibles se encuentran; la utilización de abrasivos sin sílice o que generen pocas cantidades de polvo, la limpieza con agua a alta presión y ultra alta presión (con o sin suministro de abrasivo al chorro de agua), el suministro de agua a la corriente de aire/abrasivo (conocido como WetBlasting), el Slurry blasting, la limpieza con herramientas de poder y la limpieza química.

Abrasivos alternativos como granayas con frecuencia eliminan el peligro de la sílice, pero estos abrasivos pueden ser más costosos o difíciles de obtener que la arena y recientemente se ha descubierto la presencia de pequeñas concentraciones de metales pesados tóxicos. Los procesos de inyección de agua a altas presiones y la limpieza manual con herramientas son adecuadas para la remoción de óxidos y pinturas que no se encuentren tan firmemente adheridos a la superficie, pero no pueden remover suciedades, contaminantes y pinturas que se encuentren con una adherencia buena sobre la superficie. Otras nuevas técnicas han sido descubiertas, pero aun no son prácticas para la limpieza de aceros a una gran escala de producción. La utilización de procesos de limpieza con chorro de abrasivo húmedo, ofrece el potencial para reducir o eliminar gran cantidad de los problemas asociados con la limpieza con chorro de abrasivo seco y al mismo tiempo dar tasas de producción relativamente altas y eficiencia en las limpiezas.

Las unidades de limpieza con soplo húmedo pueden ser categorizadas dentro de cuatro tipos:

- Soplo de abrasivo húmedo (WetBlasting)
- Slurry blasting aire/abrasivo/agua
- Limpieza con agua presurizada a alta y baja presión (entre 6000-15000 y 2000-4000 psi respectivamente)
- Water jetting (agua a ultra alta presión entre 20000 y 50000 psi)

En los últimos años una gran cantidad de sistemas han sido diseñados los cuales presentan grandes diferencias en los equipos utilizados, parámetros de operación, confiabilidad, productividad y tasas de limpieza, costos, seguridad y satisfacción en los usuarios. A continuación se describirán los diferentes equipos, para evaluar factores claves y parámetros tanto en las unidades de limpieza con chorro seco como húmedo.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS

1.1.1 Soplo de aire y abrasivo. El sandblasting hace parte de los procesos utilizados para la limpieza y preparación de superficies metálicas que solo utiliza el chorro de aire y abrasivo (aire y arena). La fuente de aire comprimido (compresores de 250 a 500 CFM) impulsan las partículas de abrasivo a través de las mangueras hasta alcanzar las boquillas a una presión de 90 a 100 psi. Esta fuerza es suficiente para remover óxidos duros, impurezas duras y virtualmente

todo tipo de pinturas aplicadas anteriormente al acero. También tiene la capacidad de desprender algo de metal base para producir lo que se conoce como perfil de superficie. La rata de limpieza con soplo de aire y abrasivo depende de la presión en la boquilla, el orificio de la misma, el tamaño, forma y dureza del abrasivo, configuración de la superficie, el tipo de pintura o de corrosión, el ángulo y distancia a la cual se mantiene la boquilla y la habilidad del operario. El promedio de rugosidad de la superficie depende principalmente del tamaño dureza y forma del abrasivo y de un menor ángulo de incidencia en la corriente de abrasivo. Todos estos parámetros están bien especificados en diferentes estudios y normas para la aplicación de este proceso. El objetivo principal de este proceso es evaluar y analizar como afecta la introducción de agua a la corriente de abrasivo/aire la rata de limpieza, productividad de las limpiezas y otros parámetros importantes a la hora de estudiar un determinado proceso de limpieza. Esencialmente todos los requerimientos para la limpieza con soplo de abrasivo y aire, son aplicados a la limpieza con soplo de abrasivo húmedo. Entre los más importantes están:

- adecuado tamaño del compresor para asegurar una presión en la boquilla de 90 a 100 psi.
- Adecuado tamaño de la boquilla para hacer posible una limpieza productiva (orificios de diámetro de 3/8 de in o mayores son usualmente recomendados)
- Dureza y forma irregular de los abrasivos para cortar la superficie sin demasiado rompimiento del mismo
- Tamaño adecuado del abrasivo para producir el perfil requerido

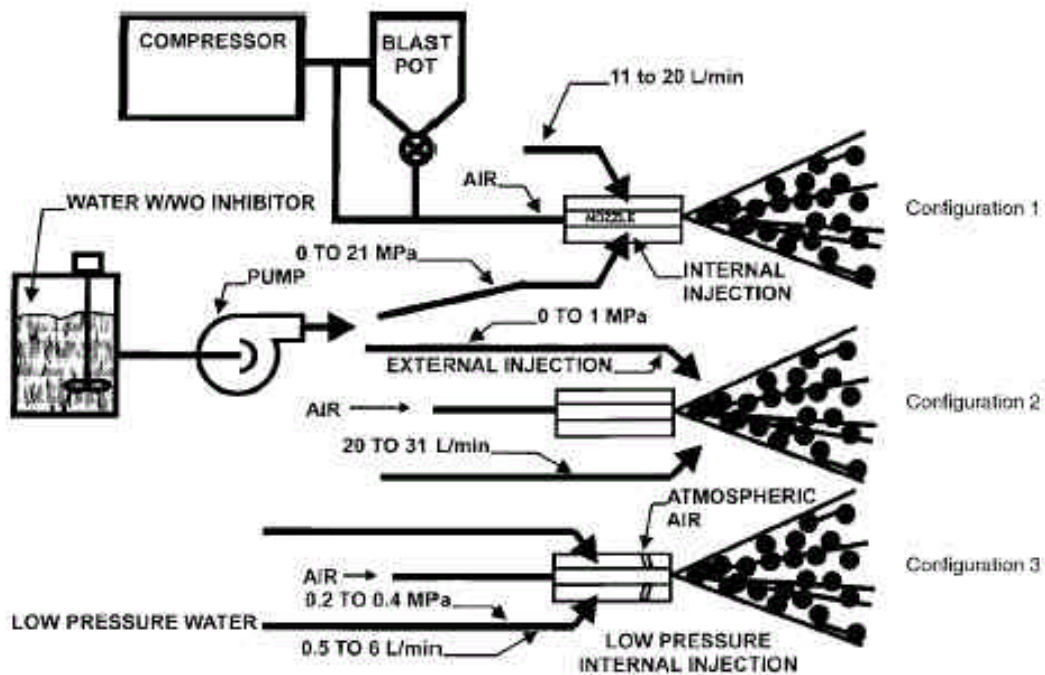
Las ratas de limpieza alcanzables con el soplo de aire y abrasivo son variables, debido a las diferentes condiciones en las superficies y las configuraciones y accesibilidad de la estructuras. En el anexo B, se dan resultados de la limpieza de una superficie en condiciones controladas, con el fin de presentar un punto de referencia de las ratas de limpieza observadas en las unidades de soplo de abrasivo/aire y soplo de aire/agua/abrasivo.

1.1.2 Soplo de aire y abrasivo húmedo. Los equipos para soplo de aire y abrasivo húmedo varían de acuerdo al diseño de la boquilla, el tipo de sistema de control, los equipos para suministrar y monitorear los inhibidores y la configuración de todo el sistema. El agua puede ser suministrada a la corriente de abrasivo si bien al comienzo de la boquilla, justo antes de entrar a la boquilla o en la dirección del flujo de la boquilla. Uno de los primeros métodos revelados fue el envolvimiento de agua o “método de la cortina de agua” el cual proyectaba un cono de agua alrededor de la corriente de aire y abrasivo tan pronto abandonaba la boquilla. Esto se puede lograr con la adaptación de inyectores de agua radial, los cuales pueden ser de tres tipos. Como se puede ver en la figura 1.

Inyectores de agua radial: algunos de estos están referidos a los “anillos de agua” y están disponibles en tres disposiciones básicas, en la primera configuración, el agua es inyectada hacia el centro de la corriente de aire/abrasivo penetrando o entrando por la boquilla. El agua es por lo general inyectada a la misma presión o un poco mayor de la presión del aire comprimido. La segunda configuración es un “donut ” que se ajusta sobre el extremo de la boquilla que lleva la corriente seca. El agua es inyectada por fuera de la boquilla hacia el centro del chorro de aire y

abrasivo en forma radial con un ángulo que permite penetrar hasta el centro de la corriente de aire/abrasivo cuando ya ha salido de la boquilla. Dentro de las tres configuraciones posibles para el suministro de agua al chorro de aire/abrasivo, este es el que menos afecta la rata de limpieza, debido a que el agua no se mezcla con la arena sino hasta el ultimo momento. Además cabe anotar que por esta misma razón es el que logra disminuir menos la generación de polvos de sílice respirables. La tercera configuración utiliza una boquilla tipo venturi para corriente húmeda la cual permite que el agua y el aire atmosférico estén incluidos en el punto medio de la boquilla antes del agujero de restricción. Este tipo de configuraciones también se puede utilizar en los procesos de slurry blasting pero, solo cuando se está trabajando a bajas presiones.

Figura 1. Inyectores de agua radial¹



¹ De SSPC-TR2/NACE 6G198 Wet abrasive blast cleaning.

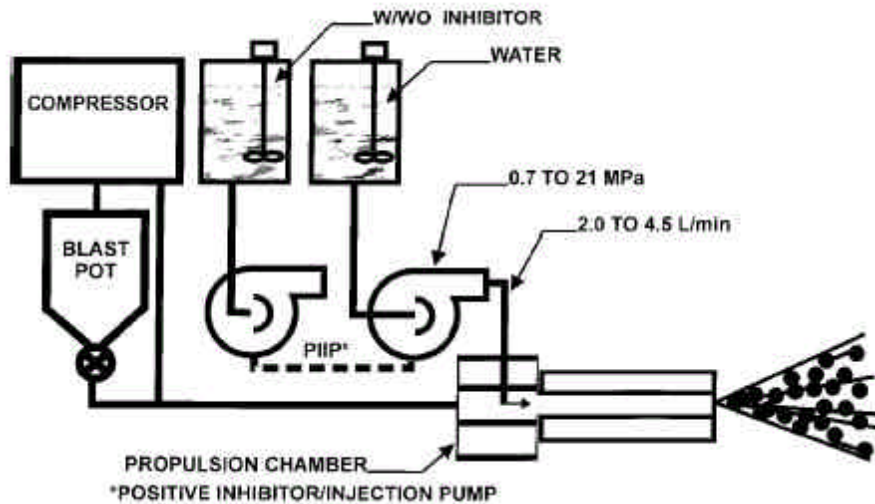
Estas técnicas son capaces de reducir el polvo que se transmite por medio del medio ambiente entre 50 y 75%² y tienen todas un mínimo efecto en las tasas de limpieza, debido a que el agua no es mezclada con el abrasivo (Anexo C). La corriente de agua puede ser introducida en la corriente de aire y abrasivo en forma de rocío antes de que alcance la boquilla, lo cual da un más alto grado de control del polvo que los métodos de cortina de agua, debido a que el abrasivo es humedecido antes de que alcance la superficie.

En el segundo tipo de soplo de abrasivo húmedo y aire, el agua es suministrada justo antes de que alcance la boquilla. En una versión, un adaptador es montado entre la boquilla y la manguera. El agua presurizada es controlada por medio de una válvula de presión. El agua presurizada está en el orden de 300 a 800 psi. Para muchas de estas unidades el agua y la arena pueden ser controladas de manera independiente. Esto permite cerrar la válvula de presión del agua y usar la limpieza seca en lugares donde el WetBlasting no sea requerido. Este sistema se puede lograr con los inyectores de agua coaxiales.

Inyectores de agua coaxial; en estos sistemas el agua es inyectada directamente dentro de la garganta de la boquilla. La dirección de la inyección de agua es paralela a la corriente de aire/abrasivo. La corriente de aire/abrasivo y la corriente de agua tienen la misma línea de centro o eje

² De Evaluation of the effectiveness of wet blast cleaning on surface preparation

Figura 2. Inyector de agua coaxial³



Existen diferentes unidades de control para estos sistemas. Un sistema de control pequeño, consta de bomba, filtro para la regulación de la presión y aceite lubricante. Los requerimientos del aire comprimido para las bombas es alrededor de 2 a 4.5 litros por minuto y 0.7 a 21 MPa. Una manguera que resista altas presiones hidráulicas conducirá el agua desde las bombas hasta la boquilla. Estas unidades están separadas del compresor de aire requerido para el proceso.

1.1.3 Slurry blasting. Una tercera variación en las técnicas utilizadas para la limpieza de superficies con soplo de abrasivo húmedo es el slurry blasting, esta técnica, también adiciona agua a la corriente de abrasivo/aire, pero difiere en la forma de hacerlo, debido a que el agua se puede tener un mayor contacto con el abrasivo para lograr una mezcla más homogénea. El termino slurry Blasters es

³ De SSPC-TR2/NACE 6G198 Wet abrasive blast cleaning.

usualmente empleado también en los sistemas que utilizan chorro de agua con inyección de abrasivo. En los sistemas que utilizan aire comprimido como fuerza motriz, la mezcla es impulsada a través de la manguera que va hacia la boquilla sin la adición de ningún acople en la boquilla. En algunos de estos sistemas el agua, arena y abrasivo pueden ser controlados de forma independiente por el operador, por minicontrols en su sistema de control, por control remoto, por otro operador quien puede estar en contacto por radio con el operario. Al igual que los sistemas anteriores, este permite al operario enjuagar la arena húmeda de la superficie con agua, la cual por lo general contiene inhibidores. Además algunas son capaces de suspender el flujo de arena y usar el aire comprimido para secar la superficie después de la limpieza, o para eliminar suciedades antes del proceso. Estas unidades varían con la cantidad de arena y agua utilizada.

En estos sistemas el agua es inyectada dentro de la corriente de aire/abrasivo sustancialmente en el sentido de la dirección del chorro que va hacia la boquilla. Esto permite al agua/aire/abrasivo mezclarse y revolverse por una distancia de manguera obteniendo como resultado un abrasivo húmedo. Típicamente el agua es inyectada en la tolva de abrasivo por una válvula contadora o en una manguera de conexión del abrasivo. Algunas veces el agua es inyectada en un punto de la conexión de la manguera que va a la tolva del abrasivo o a la que sale del tanque de abrasivo.(figura3 configuración 1)

Figura 3. Mezclado en el sistema de slurry blasting⁴

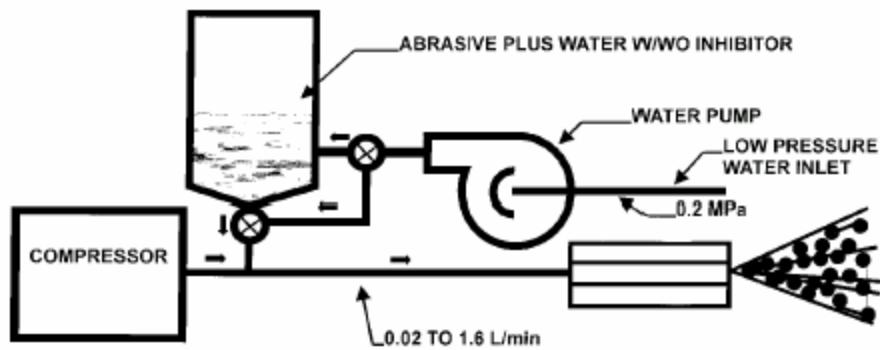


FIGURE 3, Configuration 1

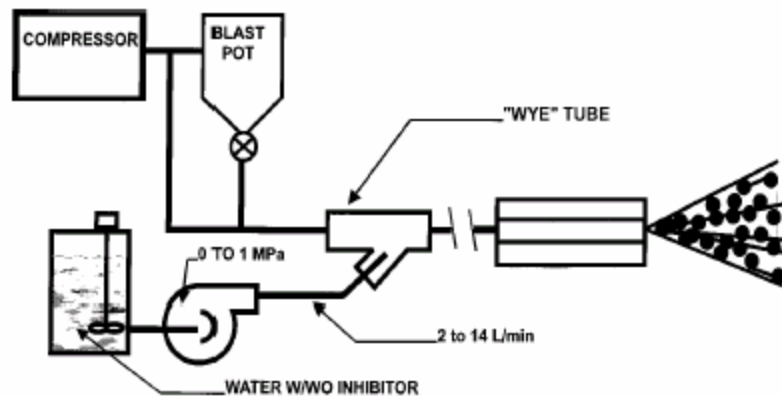


FIGURE 3, Configuration 2

En la Figura 3 configuración 1, el abrasivo es cargado dentro de un tanque presurizado y simultáneamente mezclado con el agua. El tanque, cargado con la combinación de abrasivo/agua, es presurizado usando una bomba integrada y la mezcla es inyectada dentro de la corriente de aire. La corriente de aire libre de gravamen disminuye todas las ratas de consumo de agua y provee de una buena eliminación del “dust”. Además el abrasivo húmedo puede ser reutilizado en el sistema de la configuración 2. El cual utiliza dos tanques diferentes, en uno se tiene la mezcla de agua mas inhibidor y en el otro se tiene el abrasivo presurizado,

⁴ De SSPC-TR2/NACE 6G198 Wet abrasive blast cleaning

la corriente de aire/abrasivo, se encuentra con el flujo de agua/inhibidor por medio de una conexión en Y la cual debe tener un ángulo de inclinación pequeño. La presión a la cual es suministrada el agua es baja.

1.1.4 Soplo de agua a alta presión. Esta es una técnica que produce una corriente de agua a alta velocidad, el flujo de agua presurizada pasa a través de una boquilla diseñada especialmente con orificios pequeños. Este chorro posee una fuerza erosiva, la cual se utiliza para remover pintura y productos de la corrosión de aceros estructurales. El interés principal de este trabajo es la limpieza con soplo de agua que utilicen abrasivos, en vez de limpieza solo con agua. De modo que se dará un repaso de los principios de operación con soplo de agua, para tener un mejor entendimiento de la operación de limpieza con agua cuando se le adiciona un abrasivo. Los principales componentes de las unidades de limpieza con agua son:

- Bombas de desplazamiento positivo y unidades de poder apropiadas
- Mangueras de un buen desempeño a altas presiones hidráulicas
- Boquillas de alta presión
- Sistemas de válvulas de control

Otros componentes incluidos son: filtros de agua, medidores de flujo, inhibidores, medidores de presión y monitoreo de los accesorios.

La limpieza con agua a alta presión se da entre 6000 y 15000 psi. Existen maquinas que pueden suministrar presiones de 50000 psi o mayores, claro que

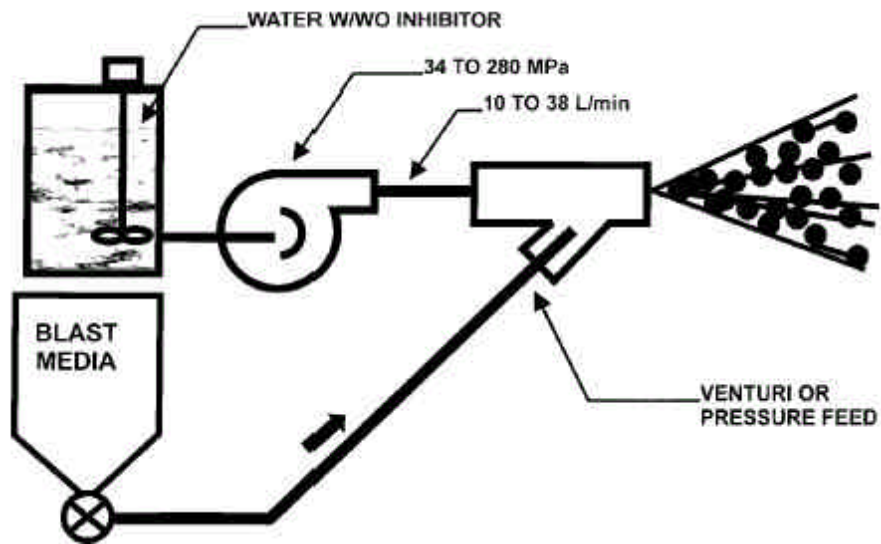
estas son maquinas con usos más especializados como el corte de piedras. la limpieza con bajas presiones se dan entre 2000 y 4000 psi.

Diferentes tipos de bombas han sido diseñadas que producen esas altas presiones en el agua. Dos de las más importantes son la bombas con succionadores directos y las bombas con diagramas de pistones radiales. Las principales diferencias entre estas bombas son la eficiencia en la producción de las presiones de agua y las características de sus mantenimientos.

Las pistolas de agua deberán ser seguras, las cuales retiran la presión cuando el operario deja el disparo. Las boquillas son por lo regular de orificios circulares para rocíos concentrados. Se pueden usar manqueras largas (200 a 300 pies) sin una perdida significativa de la presión.

Chorro de agua con inyección de abrasivo; la diferencia de esté sistema con las unidades anteriormente descritas está en que la fuerza impulsora es la corriente de agua, no el aire comprimido. Este método es comúnmente referido como “inyección húmeda de abrasivo” (Abrasive Water Jetting) o “Slurry Blasters”. El equipo típicamente en una bomba de fluido con una boquilla venturi de algún tipo en la cual la corriente de agua chupa el abrasivo haciéndolo entrar en la corriente de agua o el abrasivo es inyectado dentro de la corriente de agua por presión. Porque la corriente del fluido está bien definida, ese equipo usualmente corta un modelo de chorro estrecho (Figura 4).

Figura 4. Sistema de limpieza con alta presión de agua⁵



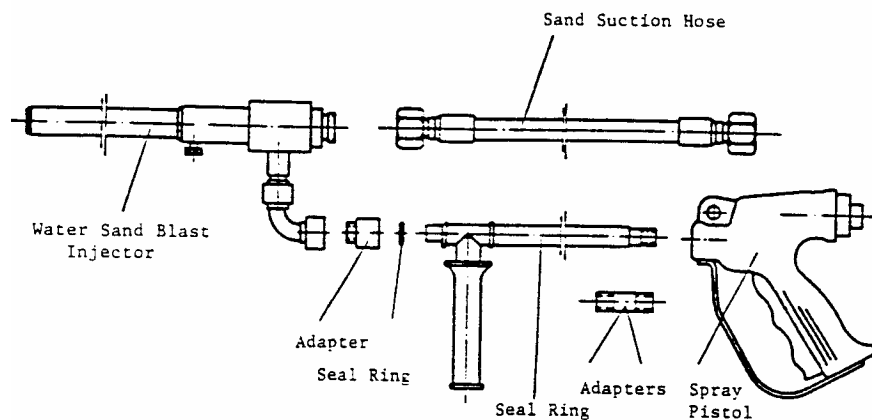
Existen diferentes tipos de diseños, los cuales pueden ser usados tanto en los sistemas de limpieza con inyección de agua a la corriente de abrasivo y aire (slurry blasting) o con la inyección de abrasivo a la corriente de agua. La mayoría de estos dependen de la succión hecha por la corriente de agua para llevar el abrasivo dentro de la boquilla. Algunos constructores recomiendan el uso de tanques de abrasivos presurizados. Esto con el fin de proveer un flujo regular de abrasivo dentro de la corriente de agua. La adición de presión disminuye la cantidad de tiempo y consumo de abrasivo. Algunas unidades usan 5 Hp, 30 CFM, 50 psi en el compresor de aire para proveer aire a 300 lb. de capacidad al tanque de arena presurizada. Otros usuarios, prefieren el uso de boquillas de succión tipo venturi. Otro parámetro importante para la limpieza con agua (con o sin abrasivo),

⁵ De SSPC-TR2/NACE 6G198 Wet abrasive blast cleaning

es la distancia de separación de la boquilla con la superficie que se limpia. Para pequeñas separaciones la fuerza del chorro sobre la superficie es mayor, lo cual da un grado de erosión más alto.

A continuación se muestran diferentes tipos de diseños de boquillas usados para introducir abrasivos dentro de la corriente de agua. No se profundizará demasiado en la descripción de las características de cada boquilla debido a que estas varían de acuerdo al fabricante. Solo se mostrarán cuatro tipos de boquillas las cuales presentan características particulares. La primera es una pistola utilizada para introducir abrasivo a una corriente de agua a alta presión. El abrasivo entra a un ángulo de 15 a 30 grados de inclinación, a través de un pequeño orificio.

Figura 5. Pistola y boquilla para la limpieza a altas presiones⁶

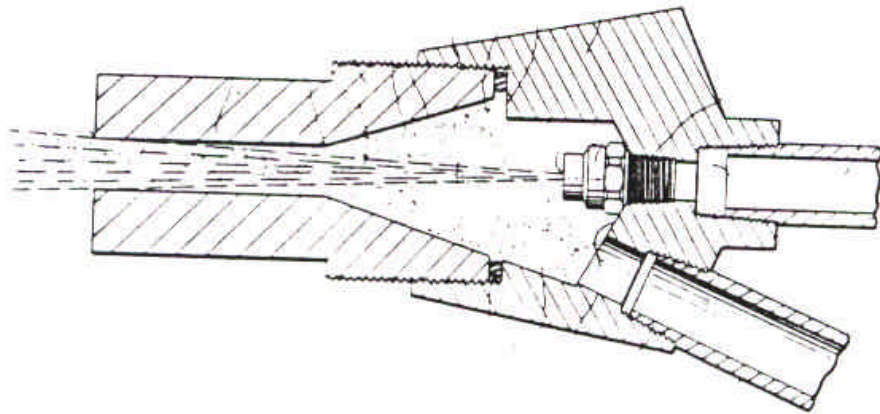


La siguiente boquilla hace posible que el agua mantenga las máxima velocidad, por lo cual las pérdidas de energía son mínimas y se obtienen los mayores

⁶ De Evaluation of the effectiveness of wet blast cleaning on surface preparation

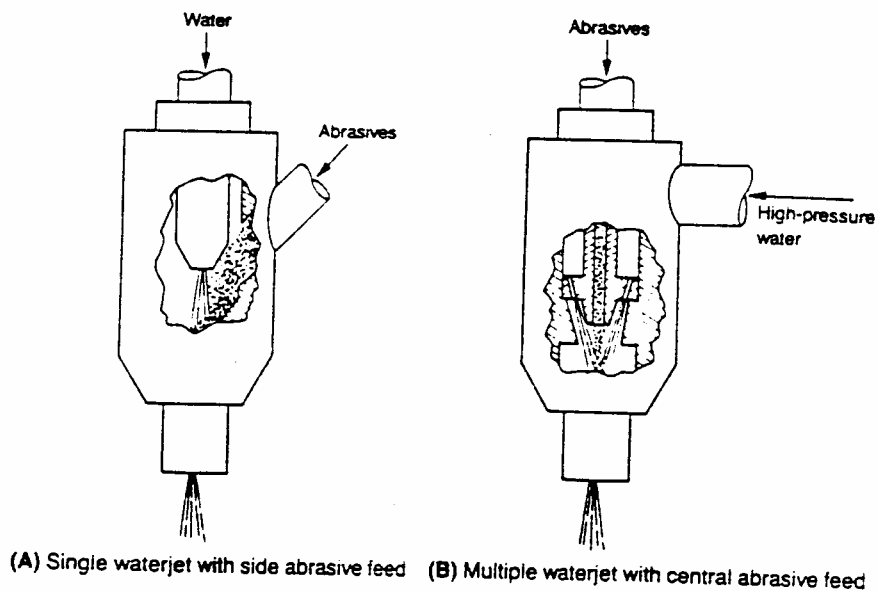
impactos del abrasivo contra la superficie que se desea limpiar. El agua entra por un orificio sencillo a cero grados y el abrasivo entra a 15 o 30 grados de inclinación. La Figura 7, muestra la diferencia geométrica entre una boquilla con un solo orificio o con múltiples orificios para la inyección de agua o abrasivo.

Figura 6. Boquilla para limpieza con bajas presiones⁷



⁷ De Evaluation of the effectiveness of wet blast cleaning on surface preparation

Figura 7. Boquilla con uno o varios orificios⁸



El agua que se encuentra presente en el proceso, ayuda a remover los contaminantes de la superficie que se desea limpiar, humedece el abrasivo y además reduce sustancialmente la cantidad de partículas finas (dust) que se produce. Las partículas que se producen pueden ser originadas por: el rompimiento de los abrasivos cuando chocan contra la superficie, los pedazos de corrosión que son desprendidos de la parte que se desea limpiar y pequeñas partes de pintura si la superficie que se está limpiando ha sido previamente pintada. El objetivo de introducir abrasivo a la corriente de agua es que la superficie que se va a limpiar obtenga la rugosidad necesaria para ser pintada. También se desea remover los contaminantes y eliminar los efectos del “dust” que se genera al chocar el abrasivo contra la superficie, mientras retiene las características de la limpieza que se realiza con soplo de abrasivo seco, de esta

⁸ De Evaluation of the effectiveness of wet blast cleaning on surface preparation

forma se puede lograr la creación de superficies con perfiles bastante aceptables para ser pintadas.

1.1.5 Procedimientos y parámetros. El WetBlasting generalmente se considera apropiado para usos en donde la superficie que se desea limpiar se puede utilizar alguna clase de abrasivo. El WetBlasting por lo general puede ser ajustado para limpiar superficies delicadas, en tales casos se necesitará la utilización de abrasivos blandos, en algunos procesos de WetBlasting pueden utilizarse una gran variedad de abrasivos aprovechables de la misma forma que en los sistemas de limpieza con chorro de abrasivo seco. El abrasivo que se utiliza en el proceso de WetBlasting es más difícil de reciclar que cuando se utiliza el proceso con abrasivo seco. En algunos casos el reciclamiento del abrasivo utilizado en estos procesos, puede no ser posible, como en otros procesos el agua puede ser reciclada.

La rata de flujo de agua y el radio de agua como el de abrasivo son usualmente ajustables para un rango extenso de aplicaciones. Desde el lavado de superficies contaminadas o corroídas hasta la limpieza de aleaciones con un 78% de cobre y otras aleaciones blancas semejantes, pueden ser limpiadas. Después de haber realizado un proceso de WetBlasting, todas las partículas sueltas o aflojadas deben ser retiradas de la superficie ya sea: Con un chorro de aire seco, cepillabas, aspiradas, lavadas, o removidas de la superficie por cualquier otro método. La limpieza de la superficie debe ser tomada con mucho cuidado, debido a la importancia que representa en el proceso. La inyección de agua en la

corriente de aire/abrasivo ayuda a remover los contaminantes antes mencionados así como: arena, lodo, sales disueltas en el agua, componentes ferrosos, cloro y sulfatos de sal.

Los inhibidores pueden ser utilizados para controlar el “flash rust” u oxido instantáneo, cuando se utiliza el proceso de WetBlasting. Muchos fabricantes de revestimientos prefieren que los inhibidores no sean usados en este proceso. Las ratas de producción cambian debido a la variación de las superficies que se desea limpiar, el tipo de abrasivo usado y el grado de finura de las partículas en suspensión que se desean eliminar. Desde 1985 se ha introducido en el sistema de producción una demanda igual o mayor que la limpieza convencional con abrasivo seco.

El WetBlasting es un proceso que puede producir perfiles anchos (superficies ásperas) similares a las obtenidas con el proceso de limpieza con abrasivo seco. El nivel de preparación de superficies especificado no es el mismo que el especificado si se hubiese empleado el proceso de limpieza con abrasivo seco.. Es común encontrar dificultades, cuando los estándares o ayudas preparadas para la inspección visual de los procesos convencionales son usados, estándares como criterios para la inspección o juicio de superficies que han sido limpiadas utilizando los procesos de limpieza húmedos. Estas dificultades pueden ser disminuidas o mermadas con la preparación de un parche de prueba, el cual es agregado dentro por las partes interesadas en una reunión antes de realizar la totalidad del trabajo que se desea realizar.

1.2 SISTEMAS DE LIBERACIÓN DE AGUA

1.2.1 Pureza del agua. La pureza del agua utilizada para los procesos de WetBlasting o cualquier otro método de limpieza de superficies metálicas con chorro de abrasivo seco, puede afectar la calidad de la limpieza. Para obtener una superficie limpia, es necesario tener un agua desmineralizada, potable, u otra agua que no adicione contaminantes a la superficie que se desea limpiar es aceptable. No es común definir números para los niveles aceptables de pureza de agua. La clase de contaminación presente en la superficie puede ser evaluada y confirmada. El uso de agua reciclada en el proceso puede traer como consecuencia el incremento de la cantidad de contaminantes.

1.2.2 Requerimientos para ratas de corriente de agua. El sistema que se esté utilizando tendrá suficientes entradas de agua como sea necesario, estas entradas deben tener los filtros apropiados para obtener la limpieza que se desea en el agua que succionarán las bombas y además garantizar un suministro de agua adecuado. La bomba o bombas utilizadas en el proceso deben ser capaces de suministrar el agua presurizada con las ratas de flujo requeridas para el tipo de inyector de WetBlasting que esté siendo usado. Las ratas de flujo de agua y agua presurizada son:

- Inyectores de agua radial: 0.5 a 31 Lts/min. (0.2 a 8 gpm) a 0.2 a 21 Mpa (25 a 3000 psi)

- Inyectores de agua coaxial: 2 a 4 Lts/min. (0.5 a 1 gpm) a 0.7 a 21 Mpa (100 a 3000 psi)
- Slurry blasting: (Figura 3. Configuración 1) 2 a 4 Lts/min. (0.5 a 3 gpm) a 0.7 Mpa (150 psi); (Figura 3. Configuración 2) 0.02 a 1.6 Lts/min. (0.0005 a 0.4 gpm) a 0.2 Mpa (25 psi);
- Water jetting con inyección de abrasivo: 10 a 38 Lts/min. (2.5 a 10 gpm) a 34 a 280 Mpa (5000 a 40000 psi)

1.3 ABRASIVOS

1.3.1 Selección de abrasivos. Virtualmente algún tipo de abrasivo usado comúnmente en un proceso de limpieza con chorro de abrasivo seco puede ser utilizado con el equipo de WetBlasting, tipo inyección axial y radial, porque ellos son suplementarios al equipo convencional de limpieza y además porque en algunos procesos los abrasivos no son humedecidos en las mangueras.

Cuando se desee seleccionar un abrasivo se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Contenido de sal: el contenido de sal del abrasivo puede contaminar la superficie que se esté limpiando.
- Dureza y calidad de corte: entre más filo y más dureza tengan las partículas de abrasivo. La productividad del abrasivo aumentará.

- Tamaño de partículas: utilizando un tamaño de partícula mayor, decrece la tendencia a crear barro en las esquinas e incrustaciones en sitios estrechos.
- Aglutinamiento de barro: el desarrollo de “mud caking” en la manguera por donde circula el abrasivo húmedo causa frecuentemente el amontonamiento de barro en dichas mangueras, este problema se presenta con muchos tipos de abrasivos. Por eso, solo los abrasivos con niveles bajos de contenidos de materiales solubles en agua y los cuales no sean quebrados con facilidad son utilizados en este tipo de equipos. (Slurry Blasting Equipment).

1.3.2 Abrasivos alternativos. En la mayoría de los procesos de limpieza de superficies metálicas, en donde es familiar encontrar abrasivos duros como; arenas minerales, escorias y aceros, ahí también se encuentran presentes muchas situaciones en donde puede ser empleado el proceso de limpieza de superficies metálicas con abrasivos blandos o de dureza media. Estos abrasivos por lo general no tienen contenido de sílice cristalina, la cual representa el más alto peligro para los operarios. Cuando se habla de abrasivos blandos se refiere a abrasivos que no dañaran o perjudicaran la superficie que se desea limpiar. Estos abrasivos, son usados con frecuencia para la limpieza, especialmente en procesos de manufactura tales como, la limpieza de componentes electrónicos.

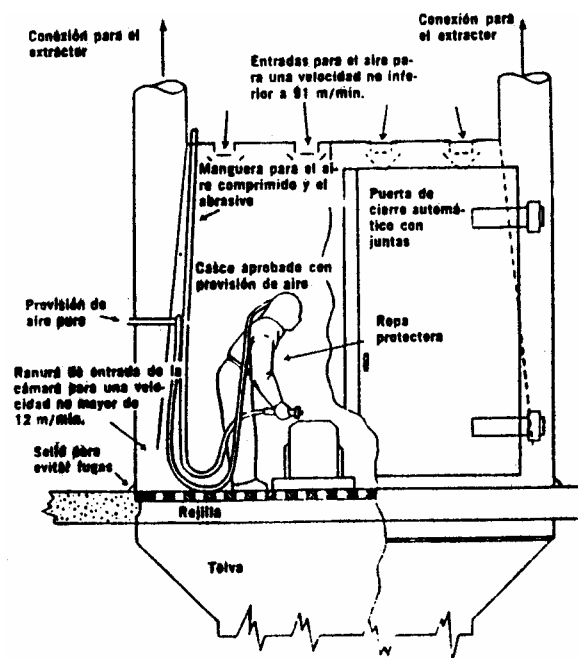
1.3.3 Características de la limpieza con arenas. Debido a que la arena de sílice encierra un peligro potencialmente grave para la salud debido al polvo, es preferible usar un abrasivo que no contenga sílice. Puede haber un abrasivo del que se obtenga el mismo o mejor rendimiento que de la arena de sílice y que

requiera un sistema más pequeño de manejo y ventilación, una alternativa es la utilización de abrasivos blandos de los cuales se habla más adelante y que pueden reemplazar la arena en determinados trabajos donde no es necesario obtener un perfil de rugosidad muy exigente para la aplicación de las pinturas. Si hay que usar arena como abrasivo ésta debe tener granos angulares y ser de alta pureza. Las arenas provenientes de bancos o lagos tienen granos de forma redondeada o subangular y, por consiguiente son menos eficientes. Además los granos se rompen con mayor facilidad que los de sílice de alta pureza y, por ende generan un problema mayor con la generación de polvo. Cuando se está utilizando arena en una operación de limpieza con chorro abrasivo el método de aplicación influirá en la magnitud del polvo producido. Los métodos con humedad producen menos polvo y por consiguiente se facilita el control de éstos. Desafortunadamente estos métodos no son adaptables a muchas operaciones y, por consiguiente, es probable que deba elegirse entre los métodos de preparación de superficies con soplo de abrasivo seco. Además la niebla cargada de arena que producen los métodos húmedos, es peligrosa y debe controlarse, obviamente en menor proporción.

Para la recuperación y separación de abrasivos se debe tener en cuenta que cada vez que se vuelve a usar uno de estos, sus partículas se tornan más pequeñas, producen más polvo, son más peligrosas y menos eficientes. Por tal razón después de recuperarlas puede ser necesario la utilización de un sistema de atrapamiento más eficiente el cual permita encapsular las partículas más pequeñas que igual son las más peligrosas para la salud de las personas. La

recuperación de los abrasivos se simplifica si se usa una tolva de recuperación. Al caer el abrasivo en esta tolva, las partículas pequeñas quedan suspendidas en el aire y deben ser llevadas hacia el recolector. A continuación se muestra un diseño de una tolva para la recuperación de abrasivos. Una limitante para la utilización de las tolvas de recuperación es su difícil traslado y empleo en trabajos al aire libre y de superficies grandes.

Figura 8. Cámara de limpieza con tolva para la recuperación de abrasivos⁹



En cuanto al manejo y almacenamiento de la arena se debe tener en cuenta que el polvo se produce en cualquier parte donde se transfieran arena, ya sea manualmente (con palas) o desde un transportador a una tolva. Es importante por consiguiente, el que todos los puntos comunes de transferencia, incluso el punto

⁹ De la traducción del artículo correspondiente a la data sheet 1-433-Rev.82 del National Safety Council. Limpieza con chorro abrasivo.

en el cual la arena se traslada a la zona de almacenamiento, este debidamente ventilado por un sistema de extracción. Los trabajadores que manejan arenas manualmente deben usar respiradores cuando sea necesario. Cualquier estudio de higiene debe incluir mediciones de polvo en esta zona.

1.3.4 Rendimiento de los abrasivos. Los cuatro parámetros que determinan el rendimiento de un abrasivo son estos: dureza (dureza Vs deformabilidad), forma (angular Vs circular), densidad (masa/ volumen unitario) y tamaño. El propósito de la limpieza de las superficies tales como acero o concreto antes de ser pintadas es remover los contaminantes que se encuentren presentes y dejar un ancho de perfil o rugosidad adecuado. Por eso, deberán ser usados, una densidad y forma apropiada de abrasivo duro para lograr la remoción de los contaminantes y el tamaño adecuado para obtener el perfil que se desea. Pero, ¿qué pasa si lo que se necesita es remover solo la pintura o incluso si solo se desea remover un sedimento de la superficie de la pintura? O ¿qué si la superficie que se desea limpiar es un metal que puede ser dañado o deformado por un abrasivo duro? Estas son situaciones donde pueden ser usados los abrasivos de dureza baja, como alternativa para proveer limpiezas de superficies sin la utilización de arenas.

1.3.5 La escala de Moh de durezas relativas. En 1822, Friedrich Moh propuso un crudo pero práctico método para comparar las durezas de los minerales, ahora lo conocemos como la escala de Moh. Esta escala muestra la resistencia relativa de los materiales al rayado. La dureza de Moh ha sido usada por las empresas que realizan procesos de limpieza de superficies con chorro de abrasivo como una

guía general para la posible rata de limpieza o profundidad relativa del ancho del perfil cuando se comparan abrasivos. La densidad de una partícula de abrasivo es una información importante porque, entre mas pesada sea la partícula de abrasivo revelara una más alta velocidad de impacto que una más liviana. Usando la misma presión en el proceso, así teniendo más energía se realizara mayor trabajo.

La condición “abrasivo blando” es una condición relativa. El más blando de los abrasivos es relacionado con la superficie más blanda. Un abrasivo blando que no raye la superficie es un abrasivo que tiene un lugar más bajo en la escala de Moh que la superficie. La densidad volumétrica es un indicador que muestra la habilidad del abrasivo para mellar la superficie. Esto también depende de que tan gruesa es la superficie y la presión que se está utilizando en el proceso de limpieza.

La escala de Moh es una escala para ratas de durezas con un rango que va desde el uno hasta el diez, siendo el uno el más blando y el diez el más duro. Moh tomo diez minerales bien conocidos y fáciles de evaluar los ordeno y organizo por medio de sus durezas al rayado. Si uno de los materiales estudiados se dejaba rayar por un mineral conocido de la lista, el material rayado era más blando que el mineral. Además, si el material podía rayar el mineral de la lista, el material era más duro. Los minerales estudiados eran los siguientes: Talco, Yeso, Calcita, Fluorita, Apatiíta, Feldespato, Cuarzo o sílice, Topacio, Corindón y Diamante. Esta escala podría ser más exacta haciendo una tabla, porque esta no es una escala. Por ejemplo, la diferencia de dureza entre el talco y el yeso no es la misma que la

diferencia entre el yeso y la calcita. Por eso, esta es solo una lista ordenada. La dureza de Moh de algunos materiales comunes son las siguientes:

Uñas de los dedos	2.5
Cobre de las monedas en U. S.	3
Acero de la hoja de una navaja	5.5 a 6
Acero endurecido o templado	7
Tela de esmerilar	8 a 9

Esos son algunos aspectos diferentes de un material que pueden ser considerados como una medida de dureza tales como; resistencia al rayado, a la abrasión, al doblado o la fractura. Es fácil confundir durabilidad o tenacidad con dureza. Un simple ejemplo es de la bola de caucho y de vidrio, el vidrio es más duro que el caucho pero el caucho es más durable. La escala de Moh, es solo una medida de la resistencia al rayado.

1.3.6 Procesos de limpieza con abrasivos blandos. La limpieza con abrasivos de dureza media usualmente requiere un cuidado especial en el proceso de ensamblaje y operación de los equipos. Como regla general, las más altas presiones posibles son usadas cuando el proceso con abrasivos duros optimiza la producción. Con abrasivos de dureza media el propósito del proceso tiene que conocerse porque otros factores tales como acabado final de la superficie, son tan importantes como la productividad.

Por eso determinar la presión óptima del proceso, que maximice la productividad, mientras se obtienen los resultados finales deseados, es más crítico y difícil

cuando se emplean abrasivos blandos esta puede no ser la más alta presión del proceso.

La superficie terminada es una razón importante para seleccionar un abrasivo blando. La madera reciclada por ejemplo, puede que no se requiera destruir el grano. La madera es un abrasivo relativamente blando, incluso los diferentes tipos de madera tienen diferentes durezas, el abrasivo combinado con la presión adecuada para el proceso necesitan ser seleccionados para no causar daños en la superficie. Las obras de albañilería, el concreto y las rocas pueden ser limpiadas con este proceso con un número de abrasivo. Un abrasivo duro, será usado si lo que se desea es remover los contaminantes y dotar a la superficie de la rugosidad necesaria para ser pintada. Pero, un abrasivo blando se necesitará cuando lo que se desea realizar es un proceso de restauración.

Con metales ligeros, tales como la cobertura de aluminio de los aviones, el abrasivo debe ser lo suficientemente duro para remover la pintura, pero no debe ser tan duro que pueda causar mellas o deformaciones en el metal. De nuevo, escoger el abrasivo adecuado y la presión correspondiente para realizar el trabajo, son importantes para lograr el objetivo que se desea.

Los diferentes tipos de abrasivos blandos serán expuestos a continuación en términos generales, especialmente en las áreas donde pueden ser utilizados. Los abrasivos blandos son herramientas que se han seleccionado para lograr objetivos específicos. La habilidad necesaria para remover contaminantes específicos de las

superficies puede necesitar pruebas. Es siempre recomendable realizar las pruebas en la superficie que se va a limpiar para determinar si el abrasivo y el método empleado satisface las exigencias del proyecto.

1.3.6.1 Esponjas. Las esponjas son fabricadas de espumas de poliuretano y estas son picadas para que actúen como abrasivo, usualmente se utilizan en un rango de 3.2 a 6.5 mm. La línea de las esponjas es de abrasivos blandos, las esponjas pueden ser formadas a partir de otras partículas.

Las esponjas son actualmente espumas. Las espumas pueden ser de celdas abiertas o cerradas. Las esponjas son de celdas abiertas, lo cual significa que los espacios de aire en la espuma están conectados, las espumas de celda abierta tienen una mayor capacidad para absorber materiales, incluyendo aceites, grasas y partículas de polvo finas. Las partículas de esponja pueden ser aplastadas o allanadas cuando estas golpean la superficie, esto toma parte de la energía que tenía la partícula, disminuyendo el rebote y permitiendo más tiempo para absorber los contaminantes.

Para utilizar esponjas en el proceso de limpieza de superficies, se requiere equipos especiales porque los abrasivos no fluyen bien en las tolvas convencionales. La unidad alimentadora para las esponjas tiene un actuador dentro de la tolva que agita a esta permitiendo que fluya. Una especie de taladro en la base de la unidad de control, alimenta la cantidad de abrasivo necesario al chorro de aire. La esponja es principalmente utilizada para trabajos de limpieza

tales como remover aceite y grasa de equipos y superficies sin causar daños en la pintura, esta también es utilizada para remover humo y hollín de las paredes, vigas y otras superficies duras. Estas también serían adecuadas para limpiar sustratos de la madera. Las esponjas tienen un corte más agresivo cuando son formadas de pedazos de plástico. Sin juntar los sustratos de la superficie, este material ha sido usado para remover graffiti, restauración de construcciones históricas y remover sustratos de las pinturas de superficies tales como tejas y fibra de vidrio.

Las esponjas pueden ser recicladas entre cinco y diez veces, el reciclaje es acompañado de una clasificación la cual se realiza en una serie de tamices. Las partículas más grandes son atrapadas en el más grande de los tamices mientras que las más pequeñas pasan a través de todos los tamices, el tamiz medio recolecta la media reutilizable de abrasivo.

1.3.6.2 Hielo seco. El hielo seco es un sólido formado a partir del dióxido de carbono. El proceso de limpieza está compuesto de partículas, las cuales pueden variar desde el tamaño de un grano de arroz (alrededor de 3mm). El promedio es muy caliente porque el dióxido de carbono es congelado a -78.5 °C. Las partículas a esta temperatura pueden causar daños a la piel y no se debe agarrar el abrasivo sin guantes y sin el equipo de protección adecuado para la piel.

El hielo seco requiere la utilización de equipos especiales para este abrasivo. Puede ser necesario hacer el abrasivo dentro del equipo. Esto se puede lograr obteniendo pedazos de un bloque de hielo seco o formando pellets desde dióxido

de carbono líquido, dependiendo de la manufactura del equipo. El proceso de realización del abrasivo puede ser reemplazado. El proyecto tiene que estar completamente cerrado de la fuente de dióxido de carbono hielo/líquido y deben ser utilizadas herramientas y equipos especiales.

El proceso de limpieza de superficies con hielo seco probablemente requiere grandes volúmenes de aire para limpiar efectivamente. Un compresor 117 Lts/s (250cfm) puede ser requerido. El proceso puede que sea bastante ruidoso y puede que se necesite la protección auditiva correspondiente. El hielo seco tiene una inusual propiedad y es que este se sublima a la temperatura del suelo, esto significa que pasa de sólido a gas sin pasar por líquido. Entonces cuando las partículas de abrasivo han golpeado sobre la superficie, estas desaparecen y algunas pequeñas partículas que queden aun sobre la tierra desaparecerán rápidamente por sublimación. Esto significa que la cantidad de desperdicio es mínima debido a que no se encuentra desperdicio por parte del abrasivo.

Los usos de la limpieza con dióxido de carbono incluyen aceite, grasas, remoción de hollín y restauración de concreto, vigas y obras de albañilería. La limpieza con hielo seco encuentra usos en el montaje en la industria, para limpiezas generales y mantenimiento. El hecho de que el abrasivo se sublima y no deje residuos sobre la superficie que se está limpiando hace que se disminuya el riesgo de afectar los motores, superficies de apoyos y equipos eléctricos entonces, no son necesarios los equipos de remoción ni los plásticos para cubrir las superficies. También ha sido usado para la limpieza de equipos que se encuentran en operación.

1.3.6.3 Bicarbonato de sodio. El abrasivo bicarbonato de sodio, también conocido como sal, es el mismo material utilizado en forma de polvo para cocinar, en pastas de dientes y en un gran número de productos para el consumo. Las partículas de abrasivo se pulverizan completamente cuando impactan con la superficie que se desea limpiar, formando un fino que es imposible de ver dentro de áreas cerradas y se acumula en lugares cercanos. Por eso, limpiar con bicarbonato de sodio, es con mayor frecuencia realizado con procesos húmedos. Por ejemplo WetBlasting. Se necesitan equipos especiales para introducir el bicarbonato de sodio a la corriente de agua o viceversa.

El bicarbonato de sodio es soluble en agua. Por eso, este puede ser retirado lavándolo después de que el proceso de limpieza haya sido completado. Esto reduce la cantidad de restos de abrasivos si se compara con la cantidad de restos de material removido de la superficie. Si la superficie que se está limpiando va a ser pintada, el bicarbonato de sodio, necesariamente debe ser retirado por medio de un proceso de lavado. El agua caliente es un disolvente más efectivo del bicarbonato de sodio. Probablemente será necesario un enjuague final de la superficie.

Se ha encontrado que el bicarbonato de sodio es efectivo para remover aceites y grasas. Un avance adicional es que los motores, bombas y superficies de apoyos no tienen que ser cubiertas o aisladas porque la solución de bicarbonato de sodio no dañará ni afectará estos. El bicarbonato de sodio ha sido usado en una gran

cantidad de maquinaria porque las partículas de polvo que se generan no son tan duras que afecten las partes en operación.

El bicarbonato de sodio ha sido utilizado en operaciones arquitectónicas tales como; remoción de humo, hollín, graffiti y restauración de construcciones históricas. Este encuentra usos en planes de mantenimiento generales, especialmente en la industria de los alimentos. El bicarbonato de sodio no produce chispas por tal razón puede ser utilizado en plantas de gas natural y en refinerías de petróleo.

El bicarbonato de sodio puede ser dañino para las plantas. Algunas plantas cercanas al área de trabajo deberán ser cubiertas. El bicarbonato de sodio es de naturaleza ácida, las soluciones con bicarbonato de sodio pueden ayudar o dañar los materiales. Por tal razón es indispensable asegurarse del tratamiento que se le dará al agua utilizada para la dilución del bicarbonato de sodio, ya que puede perjudicar a otros aparatos que se encuentren cercanos a la superficie que se está limpiando contribuyendo a la corrosión acelerada de estos. Es también importante asegurarse de que las cantidades de agua caliente utilizadas para retirar el abrasivo de la superficie sea la suficiente para diluir todo el material que puede estar presente en esta.

1.3.6.4 Abrasivos vegetales. Los abrasivos vegetales son aquellos que provienen de plantas vivas. Los mas comúnmente usados son obtenidos de las mazorcas de maíz, cáscaras de nuez, pedazos de frutas y cáscaras de arroz. Los

vegetales abrasivos tienen baja dureza y baja densidad volumétrica. Los abrasivos vegetales son usados principalmente usados para limpiar válvulas, aspas de rotores de turbinas, para remover grasas de los motores y para remover lodo u otros depósitos de una capa de pintura. Estos también son utilizados para remover escamas o pedazos de pintura especialmente cuando se va a repintar, ya sea en madera, fibra de vidrio o aluminio. Los abrasivos vegetales no generan chispas, por tal razón encuentran usos en áreas peligrosas donde todas las partes que se desean limpiar están adecuadamente colocadas en el suelo y adecuadamente ventiladas.

Los abrasivos vegetales son usados con los equipos normalmente usados en los procesos de limpieza con chorro de abrasivo. El abrasivo debe estar completamente seco para que pueda fluir efectivamente. Algunas cáscaras tales como las cáscaras de nuez, contienen aceite o sustancias colorantes que pueden no ser adecuadas para algunas superficies, especialmente cuando repintan.

1.3.6.5 Plásticos. Los plásticos como abrasivos fueron descubiertos en los 80's para la remoción química de pinturas de los aeroplanos. El proceso de limpieza con abrasivos plásticos es comúnmente realizado con un gran volumen de aire pero a una baja presión (69–345 KPa ó 10–50 psi). Las bajas presiones eliminan el retorcimiento de las superficies. Los abrasivos plásticos pueden ser reciclados entre 5 y 10 veces. El principal uso de los abrasivos plásticos se da en la industria aeroespacial y en la restauración de automóviles.

Las especificaciones militares de los estados unidos MIL-P-85891 abrasivos plásticos para remover pintura orgánica, clasifica estos en siete tipos. En la escala de Moh los abrasivos plásticos tienen una dureza de 2.0(tipo VII) son usados en superficies tales como fibra de vidrio y metales blandos, los que tienen una dureza de 3.0 en la escala Moh (tipo I, VI) son usualmente utilizados para remover pinturas de las superficies de aluminios blandos o cobre, los que tienen una dureza de 3.5 (tipo IV, V) remueven pinturas de aluminios más duros y aceros y los abrasivos tipo III (dureza de Moh 4) son utilizados para remover pinturas más duras.

1.4 INHIBIDORES

Los inhibidores son por lo general, químicos solubles en agua los cuales previenen la corrosión haciendo más pasiva la superficie del acero(disminuyendo la corrosión por medio del incremento de la polarización). Inhibidores típicos usados en el proceso de limpieza de superficies metálicas con soplos húmedos con o sin abrasivos son:

- Nitrato de sodio
- Fosfato de amonio
- Polifosfato
- Bicromato de sodio

Muchos inhibidores comerciales están hechos a partir de nitratos y fosfatos. El uso de inhibidores a base de cromo ha disminuido grandemente debido a los problemas de salud, seguridad y ambientales que se presentan con la presencia de este elemento.

Cuando los inhibidores son usados, los intervalos de ratio de inhibidor/agua típicos van desde 1:1 hasta 1:1000 o con rangos que van desde 100 a 3000 partes por millón. Existe poca información donde se pueda determinar las cantidades necesarias de inhibidor por área o la variación de los tiempos de protección de acuerdo a la severidad del medio donde se desea pintar. Al igual que existe poca documentación donde se pueda comparar los meritos o ventajas de los diferentes inhibidores. Los inhibidores pueden ser suministrados de diferentes formas, los inyectoros de inhibidor pueden ser acoplados o unidos positivamente a las bombas de agua para proveer un suministro uniforme y una concentración constante de estos en el agua que se utiliza en el proceso o mezclándolos en un recipiente de suministro de agua. Claro que esta técnica en procesos de gran envergadura puede ocasionar el uso de grandes cantidades inhibidores. Otras técnicas semejantes como adicionar el inhibidor en un recipiente pueden ser igualmente eficientes o aplicar el inhibidor en un proceso de enjuague después de que la superficie halla sido limpiada o aplicar el inhibidor con técnicas diferentes como con brochas, rodillos o con pistolas de pinturas, pueden ser también utilizadas. Los constructores o fabricantes de inhibidores o equipos para limpieza de superficies metálicas con chorro de abrasivo húmedo, algunas veces colocan

publicaciones con recomendaciones especiales. Se nombrarán a continuación algunas recomendaciones para la utilización de inhibidores.

1.4.1 Prevención del flash rust. El acero cuando es limpiado con esta técnica rápidamente se oxida, debido a un proceso de corrosión el cual es un resultado de un proceso electroquímico que involucra la formación de zonas anódicas y catódicas en la superficie, con lo cual se requiere de la presencia de un inhibidor de corrosión dosificado en la corriente de agua, inmediatamente antes de comenzar la operación o después de la operación, antes de que el *flash rust* aparezca, para evitar la formación de óxido temporalmente y aplicar el recubrimiento bajo la especificación de preparación de superficie requerida.

Las superficies limpiadas con agua tienden a formar flash rust. La rata de formación de flash rust depende de cuanto tiempo la superficie permanece húmeda, las condiciones del ambiente al igual que la temperatura y la humedad relativa, pureza del agua, contaminantes que han quedado en la superficie y los contaminantes en el abrasivo. Los contaminantes retardan la rata de formación del flash rust. Los inhibidores pueden además formar capas de contaminantes en la superficie o introducir residuos que interfieren con el desempeño de la capa de pintura.

1.4.2 Compatibilidad con las pinturas. Se debe consultar los proveedores de las pinturas para estar seguros que el inhibidor que se va a emplear no interfiera con la cura o el desempeño de la pintura. Además se deben consultar normas

como pueden ser; Normas prácticas para la evaluación de pinturas aplicadas sobre superficies tratadas con inhibidor para prevenir la formación de flash rust del acero, cuando es limpiado con un proceso que utilice chorro de abrasivo húmedo. Para tener información sobre la compatibilidad del inhibidor con la pintura que se desea aplicar.

2 DISEÑO DEL DISPOSITIVO Y COMPARACIONES DE LIMPIEZA

Teniendo en cuenta que para la fabricación del dispositivo que se utilizará para suministrar agua al chorro de arena/aire, es necesario determinar una serie de parámetros de diseño, los cuales condicionan y dan una serie de recomendaciones, tendientes a lograr buenos resultados en cuanto a la capacidad de humectación del agua que se suministra con respecto al flujo de arena que se utiliza. Y que algunos de estos parámetros se obtienen de literatura ya existente o de pruebas realizadas en otros estudios, se citarán las fuentes utilizadas y se anexarán los datos o normas que se considere necesario consultar para corroborar los datos obtenidos en este estudio.

En el reporte técnico SSPC-TR 2/NACE 6G198 referente a la limpieza con abrasivos húmedos se recomienda utilizar unas presiones y flujos de agua para inyectoras de agua radial entre 0.5 y 31 L/min (0.2 – 8gpm) y presiones de 0.2 y 21Mpa (25 – 3000 psi). Pero como se puede ver en la figura 1 de 1.1.2, existen tres configuraciones diferentes para suministrar agua a la corriente de aire/arena. Las cuales tienen requerimientos diferentes en cuanto a los flujos y presiones necesarias. Ahora bien, para el suministro de agua en la parte externa de la

boquilla de sandblasting. Lo cual se logra por medio del dispositivo que se acopla a la boquilla de sandblasting y que es lo que se desea construir en este trabajo se recomiendan flujos y presiones entre 20 y 31 L/min a una presión de 0.2 y 1Mpa (29 – 145psi). El intervalo de presiones recomendado es bastante amplio, pero una limitante que se tuvo en cuenta para la realización del dispositivo, fue la utilización de una presión de 40psi en la fuente de suministro de agua, para satisfacer principalmente dos objetivos: la eliminación de la presencia de una bomba capaz de suministrar presiones de trabajo en el orden de los 60 a 145psi y el aprovechamiento de la presión de suministro de agua en la ciudad la cual se podría utilizar en todas las áreas de trabajo donde se tenga acceso a una fuente de suministro de agua con estas características (40psi, 14L/min.) que son la cabeza de presión y flujo de agua que regularmente maneja aguas de Cartagena para el suministro de agua a la ciudad de Cartagena. Cabe anotar que habrán trabajos específicos en los cuales no se tendrá acceso a una conexión en la red de distribución de agua de Cartagena o en donde el trabajo que se desee realizar se encuentre a una altura sobre el nivel del suelo donde las características de suministro de agua de la fuente cambien, en trabajos de esta índole se tendrá que recurrir a una bomba de agua que suministre las condiciones necesarias de alimentación de agua.

De las pruebas realizadas con el dispositivo construido se obtuvieron los siguientes datos, las pruebas se realizaron con boquillas numero 5, 6 y 7 debido, a que son los tres tipos de boquillas más utilizadas en el sector industrial.

Tabla 1. resultados obtenidos con la utilización del dispositivo

Boquilla #	flujo de agua(L/min)	consumo de arena (m ³ /h)
5	5	0.3
6	7	0.41
7	10	0.58

Nota: los flujos de arena se obtuvieron a una presión de trabajo de 100psi y los flujos de agua se obtuvieron a una presión de 40psi.

De los datos obtenidos en las pruebas se puede observar que los flujos de agua son menores que los que se recomienda usar para el proceso de limpieza de superficies metálicas, cuando se emplea anillos de inyección radial de agua, con contacto del agua y la mezcla de aire/arena en la parte exterior de la boquilla. Para el suministro de agua se utilizó la conexión a la red de acueducto local que suministra 40psi. Como se menciona anteriormente esta presión es baja si se compara con el rango que recomienda la SSPC en su reporte técnico y permite utilizar una conexión donde se puede prescindir del empleo de una bomba de suministro de agua. Cuando se utilizaron la condiciones anteriormente descritas se obtuvo una reducción de la formación de partículas finas de polvo de un 100% aproximadamente y el abrasivo utilizado (arena) fue capaz de eliminar en un 90-95% las impurezas de la superficie que se limpio.

Es necesario considerar también, que los flujos de arena dependen de las boquillas de sandblasting que se utilicen y que de acuerdo a la cantidad de arena

que salga por la boquilla, variara el flujo de agua necesario para humedecer la mayor cantidad de arena posible. Se puede encontrar tabulado los consumos de arena por hora y los pies cúbicos de aire requeridos de acuerdo a la boquilla que se utilice y la presión de trabajo. En un manual de boquillas Marca Clemco. Para boquillas 5, 6 y 7. que son las más utilizadas en el sector industrial, los flujos de aire en C.F.M. (pies cúbicos por minuto) son: 137, 196, 254 respectivamente y consumos de arena (en libras por hora) y 812, 1152, 1584 respectivamente.

2.1 SELECCIÓN DE MATERIAL.

Para la selección del material del cual se construirá el dispositivo se deben tener presentes las siguientes especificaciones técnicas que son las más importantes;

- el material debe tener una buena resistencia a la corrosión y en lo posible que sea impermeable debido a que se encontrará sometido al contacto directo con el agua y con inhibidores de corrosión.
- El material debe tener un peso bajo, esto con el fin de evitar añadir un peso adicional grande a la boquilla, lo cual puede afectar la capacidad y tiempo de operación del operario.
- El material del cual se construirá el dispositivo debe ser lo suficientemente blando para facilitar el mecanizado
- El material debe ser de una fácil consecución debido a que, esta característica disminuye los costos del dispositivo

Cuando se observan las características principales que se deben cumplir en la selección del material se podría pensar en diferentes materiales como pueden ser; el aluminio o algún tipo de sus aleaciones, algún tipo de plástico, el cobre o bronce.

El aluminio y sus aleaciones se emplean para la fabricación de toda clase de piezas obtenidas por fusión y colada en arena, por forja y estampación, o bien por mecanizado en toda clase de máquinas herramientas, ahora bien a pesar de la facilidad que presentan las aleaciones de aluminio para la fabricación de piezas se optó por el mecanizado debido a que el dispositivo presenta una cavidad interior la cual es imposible lograr por métodos de fundición convencionales y se hace necesario la utilización de una arena especial de fundición. Además el material de aluminio puede tornearse a velocidades mucho mayores que los metales más pesados y los plásticos en general. En cuanto al porque de la utilización del aluminio en comparación con algún tipo de plásticos, se sabe que “la industria del aluminio ha producido alrededor de 22 millones de toneladas de aluminio primario en el año 1999. Además de la producción primaria, se han obtenido más de 7 millones de toneladas de metal de la chatarra reciclada. Casi el 100% de toda la producción de chatarra es reciclada, y más del 60% de la chatarra vieja. La proporción de aluminio producida desde la chatarra (aluminio secundario) está creciendo rápidamente, al no perder éste calidad ni propiedades respecto al primario. Debido a este crecimiento de aluminio secundario disponible para la industria, el costo como materia prima se reducirá considerablemente, con lo que al menos, el precio por tonelada podrá considerarse constante durante varios

años, ventaja esta que no puede mantenerse para otros productos industriales que se utilicen en la fabricación de los más diversos componentes, ya que, en el caso de poliésteres y en general polímeros plásticos, el precio por tonelada de materia prima siempre estará condicionado por el correspondiente al del barril de petróleo”.

Dentro de las aleaciones de aluminio se encuentran las aleaciones de magnesio y silicio, las cuales dan un metal que es multiusos. La aleación de magnesio presenta una mejor resistencia a la corrosión pero la aleación de silicio es la de más bajo costo, debido a que es la aleación de aluminio más comercial. Otros efectos que produce la presencia de silicio en el aluminio como principal elemento de aleación son: El silicio es bueno en las aleaciones metálicas y se emplea para fundido. Esto es porque incrementa la fluidez del fundido, reduce la temperatura de fundición, disminuye la contracción asociada a la solidificación y es muy barato como materia prima. Además el silicio tiene también una densidad baja ($2,34 \text{ g/cm}^3$), lo que favorece la reducción de peso de los componentes y elementos contruidos. Tiene muy poca solubilidad en el aluminio; por ello precipita virtualmente como silicio puro, el cual es duro y por tanto, mejora la resistencia a la abrasión. Lo cual es benéfico para evitar problemas de abrasión si se tienen partículas sólidas en el agua.

Resistencia a la corrosión; el aluminio y sus aleaciones no se oxidan con el tiempo y resisten a la corrosión, debido a la formación natural de una película de oxido, excepto en circunstancias muy raras. El metal puro y las aleaciones de

aluminio – magnesio son las que tienen una resistencia mayor. La cualidad se nota menos en las aleaciones que contienen metales pesados, en especial cobre, pero aún éstas son en este aspecto superiores al acero, hierro fundido y otros materiales. Más de la mitad del aluminio que se utiliza no se recubre nunca. Sin embargo, hay métodos para aumentar todavía más la resistencia a la corrosión, desde el sencillo tratamiento químico o pintura hasta la protección electrolítica y acabados especialmente aplicados, según las condiciones; y existen datos para la utilización del material en una gran variedad de condiciones corrosivas. El anodizado, por supuesto, es un proceso único para este metal. Además el aluminio puede presentar corrosión por contacto la cual se debe evitar no permitiendo el contacto con otras piezas metálicas porque el aluminio es anódico con respecto a la mayor parte de los restantes metales corrientes y si ocurre una acción electrolítica es el aluminio el que sufre el ataque más importante. Para prevenir una corrosión semejante, el aluminio tiene que estar aislado todo lo posible de otros metales mediante asfalto, pintura bituminosa, pintura epoxi o imprimación de cinc.

2.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE FABRICACIÓN

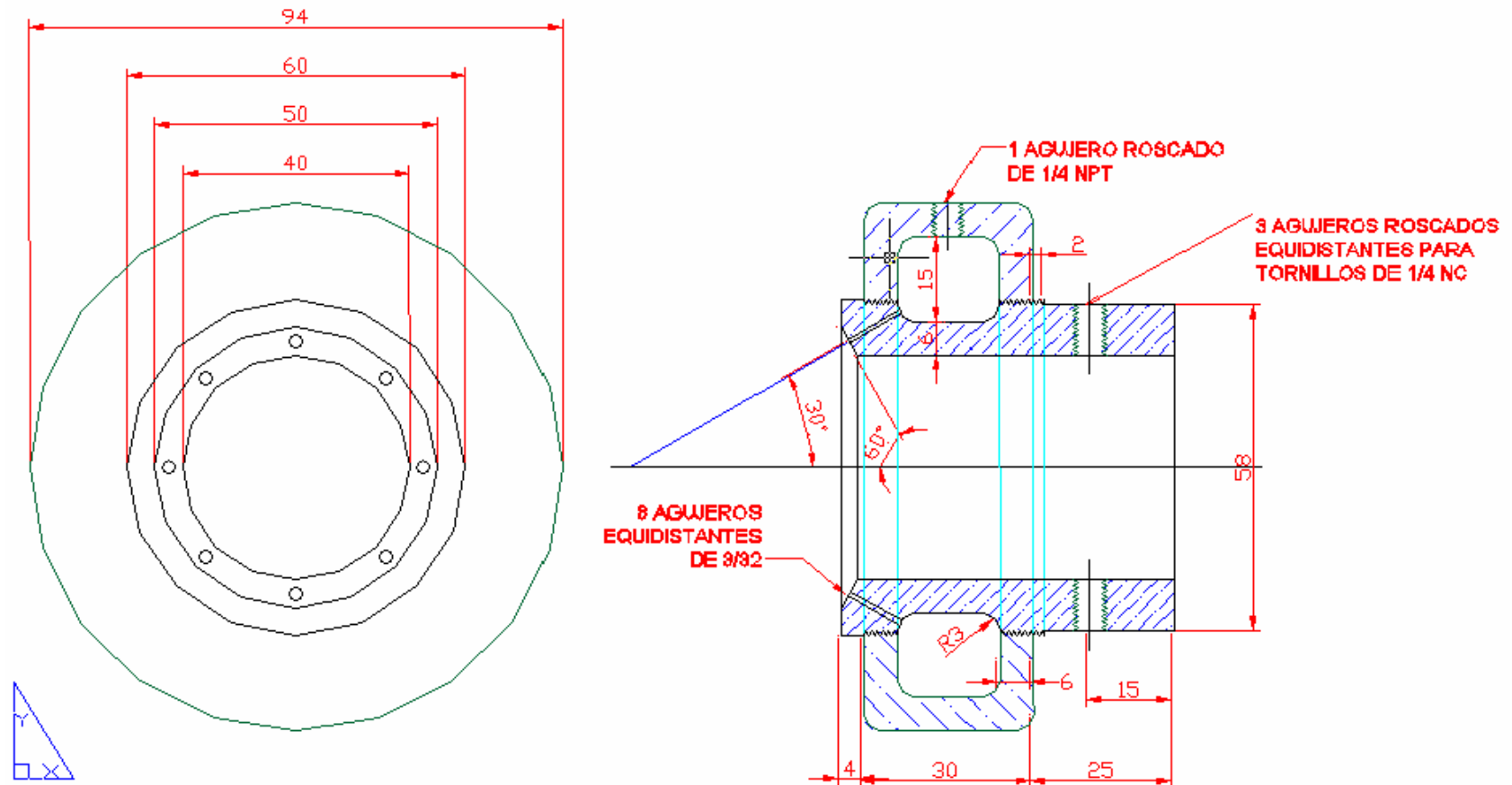


Figura 9 Dimensiones del dispositivo

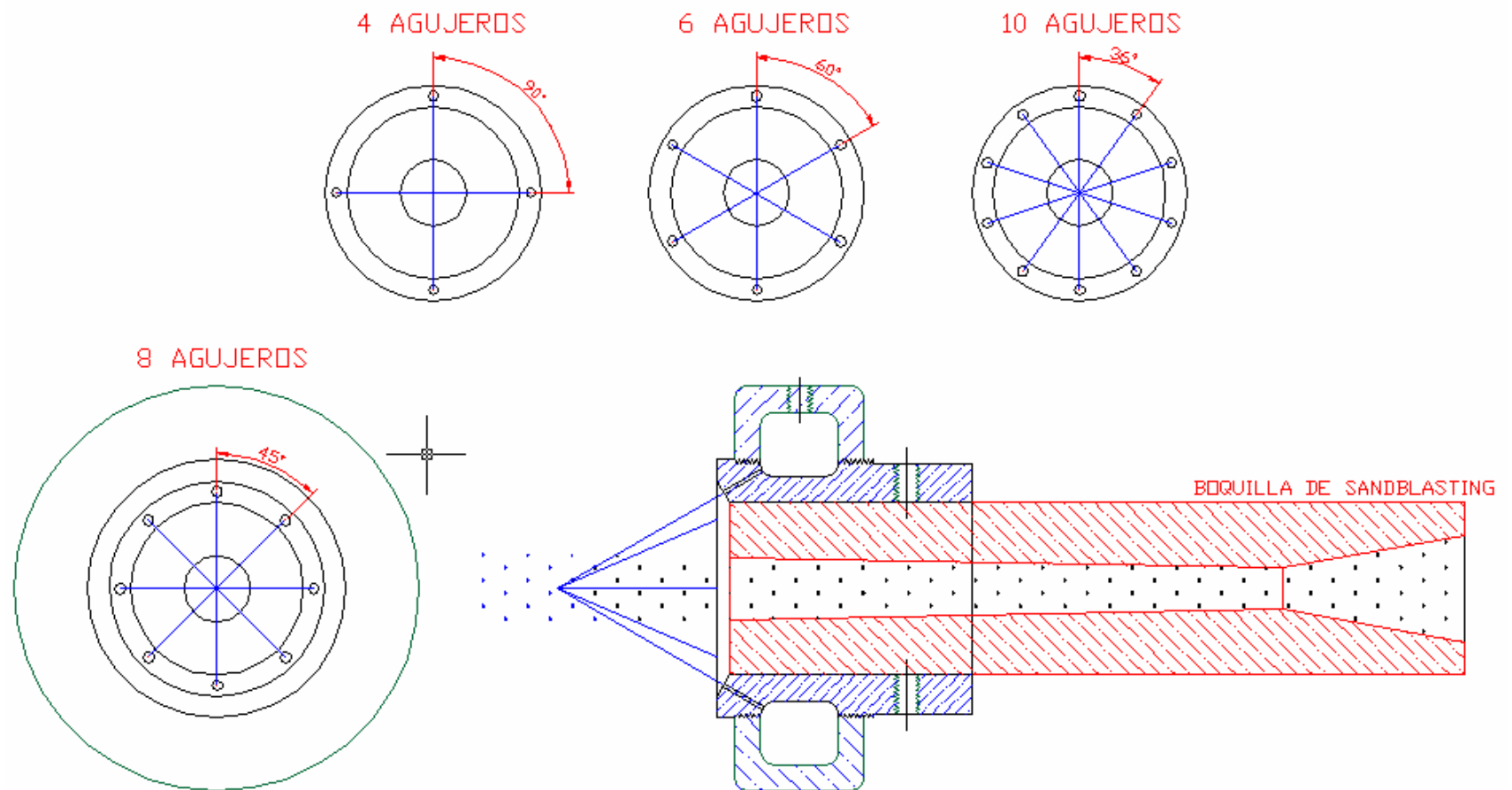


Figura 10. Configuración de agujeros y acople

Si se observa la configuración interna que tiene el dispositivo, en donde existe la presencia de una cavidad que permite distribuir homogéneamente el caudal de agua suministrado por cada uno de los orificios. Se hace necesario realizar el diseño de esta cavidad, para tal fin se supone que esta funciona como un recipiente a presión de pared delgada, el cual permite tener una presión de agua homogénea en todos los sentidos. calculando las dimensiones que debería tener la pared de la cámara para soportar los esfuerzos cortantes que se presentan y que actúan sobre las paredes de ésta, se obtuvieron los siguientes resultados: Se consideró el recipiente como un recipiente de pared delgada sometido a presión y se supuso que la cavidad no giraba alrededor de un punto fijo sino que formaba un recipiente rectangular con las aristas redondeadas. Además se notó que los mayores esfuerzos se presentan en la pared de mayor área. Los cálculos se realizaron para una presión de suministro de agua de 145psi que es la presión máxima recomendada para inyectores de agua radial con contacto de agua con el aire/arena en el exterior de la boquilla.

$2(0.42 * t)s - P(0.42 * 0.018) = 0$ de una ecuación de equilibrio entre la presión y los esfuerzos cortantes y con $0.42 = 2pr$ r es el radio desde el centro de la cavidad hasta el eje axial. Se obtiene: $t = \frac{0.0756P}{0.84s}$ s es el esfuerzo cortante a la fluencia del aluminio comercial que es de 200MPa^1 y se obtiene un espesor de la pared de 0.449mm. utilizando un factor de seguridad de 5 se obtiene un espesor de pared de 2.25mm.

¹ De www.APLEI.com Evaluación de aleación de aluminio Al-12Si

Como la construcción del dispositivo fue concebida maquinando cilindros de aluminio en el torno y con dos piezas que fueran desarmables para facilitar la limpieza de los orificios en caso de obstrucción con algún tipo de suciedad. Se tenía que disponer de un espesor en la pared de la cámara que permitiera resistir los esfuerzos que se generaban por la presión y que además permitiera obtener una distancia roscada que garantizara un acoplamiento satisfactorio. Por tal razón se construyó un espesor de pared de seis milímetros, que supera la dimensión necesaria en la pared pero que permite tener una longitud roscada que sella la cámara. El tipo de rosca que se utilizó para el acople de las dos piezas fue de 12 hilos por pulgada debido a que no se justificaba la utilización de un tipo de rosca especial ya que no se estaba trabajando a presiones grandes y los flujos que se manejaban tampoco son elevados. Cabe anotar que en el momento de acople se le aplica un sellante a la rosca para evitar cualquier fuga de agua.

En la figura 10 se pueden observar diferentes distribuciones de los orificios de suministro de agua, los cuales deben ser equidistantes y números pares para que las fuerzas radiales ejercidas por el chorro de agua se anulen. Para la construcción de los orificios se debe optar por un diámetro y un número de orificios que garanticen el flujo adecuado de agua a la presión de suministro (40psi). Sabiendo que el flujo de agua llegará al dispositivo por medio de una toma de agua de $\frac{1}{4}$ de pulgada la cual tiene un área de $4.9 * 10^{-2} in^2$ y que no debe haber acumulación de masa en la cámara y sabiendo además que con las brocas de $\frac{1}{32}$, $\frac{1}{16}$ y $\frac{3}{32}$ se pueden obtener áreas de:

Tabla 2. Comparaciones de las diferentes configuraciones en el dispositivo

Áreas (in ²)	# de orificios	Ø de la broca (in)
$3.06 * 10^{-2}$	10	1/16
$5.52 * 10^{-2}$	8	3/32
$6.9 * 10^{-2}$	10	3/32
$9.20 * 10^{-3}$	12	1/32

se puede notar además que el área más cercana al área del orificio de suministro es la configuración de ocho huecos con diámetros de 3/32, lo cual garantiza que no exista acumulación de masa en la cámara y que sea un flujo constante, además sabiendo que el área de intersección donde se da el contacto del agua que se está inyectando con el chorro de arena/aire es de $28.6 * 10^{-2} \text{ in}$ y que el área aproximada que ocupa la arena en el chorro de sandblasting es de $\frac{1}{4}$ del diámetro de la boquilla así como también se sabe que la mezcla de agua y arena debe ser 1/1 en volumen y 1/1.2 en peso se obtiene entonces una proporción en el área de la mezcla de $\frac{1}{5}$ de agua, $\frac{1}{5}$ de arena y $\frac{3}{5}$ de aire en volumen.

2.3 ANALISIS DE PARAMETROS EN LOS PROCESOS DE LIMPIEZA DE SUPERFICIES METALICAS

En la selección y evaluación de los equipos para la preparación de superficies metálicas, deben tenerse en cuenta una serie de factores o consideraciones. Entre

los factores que se deben considerar los más importantes y significativos son: ratas de limpieza, efectividad de la limpieza, seguridad, versatilidad y portabilidad de los equipos, costos y disponibilidad de los equipos. Estos factores varían de un proceso a otro al igual que de un equipo a otro. A continuación se describirán cada uno de estos factores, para comparar las principales diferencias que se pueden encontrar cuando se realiza un proceso de limpieza con abrasivo seco (sandblasting) y un proceso con soplo de abrasivo húmedo.

2.3.1 Ratas de limpieza. En general, las ratas de limpieza cuando se usa un proceso con chorro de abrasivo húmedo donde la inyección del agua no agrega energía erosiva al chorro, es mayor que cuando se utiliza un proceso con soplo de agua a alta presión. La rata de limpieza para los procesos mencionados inicialmente está aproximadamente en el rango de 80 a 90% de la rata de limpieza con abrasivos secos. Mientras que la limpieza de superficies con chorro de agua a alta presión con introducción de abrasivo, esta en el rango de 30 a 50% de la limpieza con abrasivos secos. La mayoría de las ratas de limpieza que se muestran en estudios, no incluyen los tiempos de organización del trabajo ni de alistamiento. Las ratas de limpiezas también dependen en gran medida de las habilidades del operador. En la mayoría de los casos, la rata de limpieza y los costos se esperan considerablemente más altos en los procesos con soplo de abrasivos húmedos que en los procesos con soplos de abrasivos secos. Algunas de las pruebas realizadas por fabricantes de equipos muestran más altas ratas de limpieza para algunas superficies (apéndice C). Las ratas de limpieza pueden ser

considerablemente mejoradas con el uso de equipos automáticos los cuales pueden soportar mayores fuerzas de repulsión de las boquillas que los operarios. Los procesos de limpieza que utilizan altas presiones en el agua o en el soplo de abrasivo seco y en menor grado los que utilizan soplo de abrasivo húmedo, disminuyen la visibilidad de los operarios. Esto, con frecuencia disminuye la rata de limpieza debido a que el operario no se da cuenta cuando la superficie esta lo suficientemente limpia, lo cual hace que pueda repetir algunas áreas limpias y/o olvidar otras. Además para las altas presiones, la distancia de separación y el ángulo de ataque afectan la rata de limpieza. Esto variará con la velocidad del chorro, naturaleza de la superficie y tipo de limpieza. Las ratas de limpieza en los sistemas como el slurry blasting y el soplo de abrasivo húmedo dependerá de la presión del aire utilizado en el proceso. Pocos de los sistemas de slurry blasting recomiendan bajas presiones (70 a 80 psi) debido a las dificultades que se presentan con el flujo de la mezcla. Estos sistemas son hechos para facilitar al operario el control de las unidades y remover las manos de pinturas superiores sin dañar la pintura que se encuentre debajo o adyacente.

Las unidades de limpieza que utilizan soplos de abrasivos a altas presiones generalmente dan ratas de limpieza $1/3$ o $1/2$ menores que los procesos de limpieza con soplo de abrasivos secos. Las ratas de limpieza aumentan con las presiones o los flujos, pero de igual forma aumenta la fuerza de repulsión y la dificultad para el control.

Muchas de las unidades de limpieza con abrasivo y agua a bajas presiones dan tasas de limpieza que podrían ser aceptables para muchos trabajos de tamaños medios o pequeños. La utilización de estos sistemas se hace más ventajoso en la limpieza de superficies con configuraciones difíciles, las tasas de limpieza para estas unidades es 15 a 25% en comparación con las unidades de limpieza chorro seco.

2.3.2 Efectividad en la limpieza. Los factores mas importantes para determinar la efectividad de la limpieza son:

- Inspección visual (remoción de óxidos, pinturas y desechos)
- Inspección química (remoción de capas de aceites, sales solubles como sulfatos y cloruros)
- Perfil de la superficie

Cada una de las unidades para soplo de abrasivo húmedo, fue capaz de producir metales cercanos al blanco. Como sea, en la mayoría de las demostraciones observadas en donde se tuvieron presentes áreas de difícil acceso como esquinas y ángulos, el operador no alcanzó una superficie de 100% SP-10. debido a que se dejaron parches de las superficies con estándares de superficie finalizada de SSPC-SP 6 o SSPC-SP 7¹⁰. Esto se atribuye principalmente a la disminución de la visibilidad en estos lugares de difícil acceso. Una superficie uniforme que cumpla con las exigencias establecidas en las normas (SSPC-SP 10) fue difícil de lograr con al utilización de soplo de agua a alta presión debido a la pequeña área de

¹⁰ Designación de las normas por medio de las cuales se puede comparar por inspección visual la calidad de la limpieza que se obtuvo, valiéndose de la utilización de fotos.

limpieza por cada pasada. Por eso, las más pobres limpiezas se obtuvieron en las esquinas y puntos de uniones donde la visibilidad fue la mas baja. Todos los sistemas de slurry blasting dan una mejor visibilidad y una limpieza un poco más exhaustiva que los procesos de limpieza donde el agua es adicionada en el chorro de aire/abrasivo. A continuación se muestran dos figuras en donde se puede apreciar la magnitud de la disminución del polvo en los sistemas de limpieza con soplo de abrasivo húmedo.

Figura 11. Limpieza con soplo seco y húmedo



Para la limpieza con abrasivo/agua a altas presiones, la fatiga del operario y la disminución de la visibilidad, dan como resultado la disminución de calidad de la

limpieza. La utilización de altas presiones en el agua (7000 psi) sin abrasivo, no es capaz de remover capas de pinturas epóxicas.

Una serie de artículos concuerdan al afirmar que la remoción sales solubles con métodos de limpieza con presencia de agua, son más efectivos que cuando se utilizan métodos secos. Estas sales con frecuencia son consideradas como contribuyentes a la formación del “flash rust” en superficies que han estado expuestas previamente.

Para la mayoría de las superficies el perfil obtenido en el acero, se mide usando comparadores. Los perfiles obtenidos no muestran diferencias entre la limpieza con inyección de agua al abrasivo y la limpieza seca. Los factores más importante para la obtención de los perfiles es el abrasivo usado y la presión en la boquilla. Para la limpieza con abrasivo/agua a alta presión el perfil depende del abrasivo usado, a 10000 psi el perfil obtenido se compara con el alcanzado con el proceso de limpieza con adición de agua al chorro de abrasivo/aire. El agua presurizada sin arena, aún a ultra alta presión no da un perfil de superficie.

2.3.3 Disponibilidad de los equipos. La limpieza con abrasivos secos ha estado en uso desde hace muchos años, con la utilización de equipos estandarizados y probados. En un menor grado también se ha dado con la limpieza con chorro de agua presurizado sin abrasivos (water jetting). El soplo de abrasivo húmedo en donde se le inserta agua al chorro de abrasivo/aire y el soplo de agua a alta presión con incorporación de abrasivo son procesos relativamente

nuevos con muchas innovaciones recientes y modificaciones en los equipos. Además los mecanismos son más complejos debido a la necesidad de boquillas especiales, cámaras para el mezclado y los efectos del barro dentro de las partes del sistema.

Por tal razón, se espera que estas unidades experimentara un mayor grado de problemas en su funcionamiento y paradas. Dentro de los problemas que se pueden presentar se encuentran: problemas con el swith de control de emergencias, obstrucción del flujo de las boquillas y perdidas de presión en las bombas.

Los servicios y responsabilidades de los fabricantes depende de muchos factores. Unos de los más críticos es la disponibilidad de partes de seguridad, conocimientos de las ventas y servicios de ingeniería y la experiencia de los fabricantes y distribuidores. Algunas de las unidades usan componentes comerciales, otras han fabricado y diseñado componentes especiales. Se espera que los problemas descritos anteriormente, se solucionen y que los problemas de diseño queden atrás, para que los equipos sean mas confiables, lo cual ya se ha venido logrando en diferentes fabricantes.

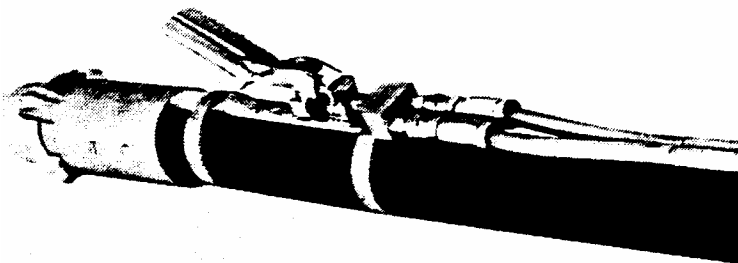
La unidad para suministrar presión al flujo (compresor de aire o bomba) es por supuesto el más critico de los componentes del sistema. Es importante proveer un compresor o una bomba de suficiente tamaño y poder para el trabajo.

2.3.4 Seguridad. El uso de equipos para limpieza con abrasivos secos, WetBlasting y water jetting pueden ser peligrosos y requieren el entrenamiento del personal de operación y la observación de las practicas de seguridad.

Los requerimientos de seguridad generales incluyen controles de emergencia en las unidades de presión, operación dentro de los limites recomendados para los compresores de aire y bombas, mangueras debidamente reforzadas, andamiaje adecuado, remoción innecesaria de suciedad desde el área de trabajo y demarcación y aislamiento del área de trabajo.

Una de las herramientas de seguridad más importante es la válvula que cierra la admisión de soplo de aire a la boquilla. Es frecuente observar operarios trabajando con equipos que no utilizan este tipo de válvulas o que se encuentran en mal estado. El seguro diseñado para cortar el flujo, cuando el agarre no es el adecuado, puede fallar o funcionar en algunas ocasiones. Por tal razón es importante realizar el mantenimiento de los equipos de WetBalsting y seguir las recomendaciones de los fabricantes, ya que estos corren el riesgo de que la arena húmeda bloquee el libre paso del flujo. Una revisión general deberá ser realizada.

Figura 12. Válvula de seguridad para una boquilla



cada día antes de que el equipo se ponga en funcionamiento, para arreglar partes defectuosas o reemplazarlas en caso tal de que sea necesario.

Todos los equipos de WetBalsting, hacen disminuir la cantidad de polvo pero, algunas partículas pequeñas pueden ser atrapadas por el agua y ser aún capaces de alcanzar los pulmones de los operarios. Por tal razón el uso de los respiradores apropiados y certificados por la NIOSH se recomienda. Es por esto, que las unidades de WetBalsting, son exitosas para controlar los problemas ambientales, pero siguen siendo un problema potencial para la salud de los trabajadores en una proporción menor a los sistemas de limpieza de superficies metálicas que no utilizan abrasivos húmedos. La tendencia es seguir trabajando para lograr el máximo control posible del riesgo de inhalación de partículas peligrosas para la salud de los trabajadores.

Existe la evidencia de que la utilización de sistemas de limpieza que usan abrasivos húmedos, elimina el riesgo de formación de chispas cuando se da el contacto de acero y abrasivo, es por esto que el uso de estos equipos en tanques

y válvulas que contienen materiales volátiles se puede realizar. Claro que se debe realizar un control estricto para la aprobación del trabajo.

2.3.5 Portabilidad y versatilidad. La facilidad que tienen ciertas unidades para ser transportadas, ensambladas y maniobradas es un factor importante a la hora de determinar las unidades apropiadas para realizar un trabajo determinado.

Naturalmente, las unidades pequeñas necesitarán pequeños compresores, bombas y tolvas por tal razón son más fáciles de transportar. Hay que decir de estos equipos que son los de más baja rata de productividad y eficiencia dentro de las unidades de bajo poder.

Una de las consideraciones más importantes es la fuente o suministro de agua y/o abrasivo. Las unidades de limpieza que utilizan agua con mayor rata de productividad requieren 10 Gal. de agua por minuto, para 6 horas de limpieza, lo cual generará un consumo de 3600 Gal. de agua. Si una fuente de agua no está fácilmente disponible (ej: en el puente de una carretera) el agua debe ser transportada por medio de carro tanques. Esto se convierte en una desventaja de estas unidades. En otros casos, la fuente de agua se encuentra disponible como puede ser en plantas de tratamiento de agua de las empresas o suministrada por los astilleros.

Otra consideración importante es la cantidad de arena requerida. De la experiencia se sabe que la cantidad de arena requerida varía de acuerdo al tipo de equipo y proceso que se utilice. Las unidades de slurry blast y pocas de las

unidades de soplo de agua con incursión de abrasivo usan relativamente cantidades pequeñas de arena en comparación con las unidades de limpieza con soplo de aire/abrasivo con incursión de agua. Como ya se sabe esto depende también de la unidad usada y del tipo de abrasivo empleado.

Para trabajos grandes la disponibilidad de las cantidades de arena necesarias puede ser el principal problema logístico. Esto sería una pequeña ventaja cuando se usan compresores pequeños y tolvas pequeñas. Claro que se deben usar las unidades del tamaño apropiado para el trabajo que se realiza. Los sistemas de slurry blasting fueron diseñados para trabajos de producción alta. En estas unidades la adición de agua a la arena se controla en un lugar independiente.

Para las unidades donde el agua es suministrada en la boquilla, cada boquilla requerirá una manguera de agua separada y posiblemente un sistema separado para dosificar el inhibidor, por tal razón los sistemas de slurry blasting pueden ser más eficientes para trabajos donde diferentes operarios pueden trabajar desde unidades de control particulares. Por otra parte, las unidades pequeñas completas de wetblasting pueden ser más apropiadas en trabajos donde la cantidad total de acero en ningún área, es lo suficientemente grande como para usar más de dos boquillas.

Las mangueras para agua a alta presión tienen una pérdida de presión relativamente pequeña. Esto permite al operario alcanzar un área de cientos de pies sin reubicar la(s) bomba(s). Para equipos de water jetting a altas presiones,

elevadores de presión suplementarios son necesarios para mantener las altas presiones. Además, tolvas presurizadas pueden ser usadas para forzar la arena a través de toda la manguera cuando esta es larga.

Las mangueras para limpieza húmeda o seca están normalmente limitadas entre 100-200 pies a menos de que se use un compresor de una gran capacidad. Esto generalmente se previene colocando las tolvas tan cerca de las boquillas como sea posible.

2.3.6 Costos. Para la evaluación de los costos intervienen diferentes factores, algunos de los cuales son difíciles de determinar. Estos incluyen ratas de producción y trabajo, costos generados por los equipos, gastos de mantenimiento, gastos operativos, personal de apoyo, seguros y materiales. La determinación de los costos tiene que hacerse de acuerdo con bases individuales y relacionado a los requerimientos del trabajo.

El precio de compra de las unidades estudiadas varían U\$2000 por encima o por debajo de U\$50000. las unidades menos costosas son las de baja presión en el soplo de abrasivo y agua. Estas unidades son equipadas con bombas de presiones relativamente bajas, las cuales no tienen la capacidad de exceder presiones de 3000-4000 psi.

Dentro de las unidades de bajo costo, están las unidades integradas para acoplarlas al soplo de abrasivo seco. Para las personas que ya tienen un sistema

para el soplo de abrasivo, este puede ser un camino de bajo costo para entrar en el wetblasting. Las consecuencias a las que se debe enfrentar el proceso con la adición de unidades para realizar wetblasting, generará los siguientes efectos en comparación con el soplo de abrasivo seco.

- Menores ratas de limpieza
- Mayores costos en el proceso de limpieza como tal.
- Mayores costos de mantenimiento

Los rangos de precios más altos incluyen las unidades para soplo de abrasivo/agua a alta presión y el sistema completo para la limpieza con soplo de abrasivo húmedo. Las ratas de limpieza de estas unidades son comparables a las que se logran con las unidades integradas.

El más costoso de los equipos es principalmente el de slurry blasting, estos contienen un sistema central de control el cual permite controlar individualmente a cada boquilla los niveles de aire/agua/abrasivo e inhibidor. Normalmente un operador para una unidad de control sencilla, puede controlar diferentes operarios, de tal forma que aumenta la producción en trabajos grandes.

3 SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN EL PROCESO DE SANDBLASTING Y WETBLASTING

Entendiendo que tanto la seguridad, como la buena salud de los operarios es importante en el proceso de limpieza de superficies metálicas con chorro de abrasivo. Se estudiará y evaluará el riesgo potencial de inhalación de partículas de sílice respirables, al cual se encuentran expuestos los operarios cuando, trabajan en un ambiente como el que se presenta al realizar un proceso de sandblasting. Estos resultados Justificarán la utilización del proceso de wetblasting, como uno de los métodos o técnicas disponibles para controlar el riesgo de la inhalación de partículas respirables de sílice cristalina. Al igual que se disminuirá el riesgo de contraer una enfermedad profesional (silicosis) en las personas relacionadas con este trabajo.

Es importante saber las consecuencias que puede generar este proceso a personas que no están relacionadas directamente con los sistemas de limpiezas de superficies metálicas, para tener mas elementos de juicio a la hora de elegir, unidades de atrapamiento, delineación de las zonas peligrosas y la protección

respiratoria necesaria en cada área donde se esté trabajando. Todo esto con el fin de proteger no solo a las personas que intervienen directamente en el proceso, sino también a aquellas que trabajan cerca de la fuente de emisión de polvo.

El proceso de limpieza con cuarzos de arena ha sido usado para limpiar superficies metálicas desde los comienzos de la década de los años 20's. Fue identificado como una fuente de emisión al polvo de sílice, además se cree que la silicosis se volvió más frecuente cuando el uso de este proceso se masifico.

Datos recolectados en 1972 y 1973 y evaluados por Samini, Neilson, et al.¹² Mostraron niveles extremadamente altos fuera de los lugares donde se realiza el sandblasting. Las concentraciones medidas de polvo de sílice libre, fuera de los lugares de trabajo excedían el nivel de exposición permisible (PEL) de $0.1 \frac{mg}{m^3}$ por 20 veces en operaciones bajas, 34,5 en operaciones medias y 372.8 en operaciones altas. Estas son razones suficientes para creer que la silicosis en los operarios de sandblasting esta subdiagnosticada. En un estudio realizado a 221 astilleros en U.S. se encontró que el 77% de estos utilizaba cuarzos de arena en algunos tipos de limpieza con abrasivos aun en superficies cerradas (interiores).

¹² Samini, B., A. Neilson, H. Weill, and M. Ziskind: The efficiency of protective hoods used by sandblasters to reduce silica dust exposures. Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 36: 140-148 (1975)

La presente organización para la salud ocupacional y administración de la salud (OSHA) permite un PEL de $0.1 \frac{mg}{m^3}$ con 8 horas tiempo promedio ponderado de exposición (TWA), de sílice respirable, estas restricciones han estado vigentes desde 1968.

3.1 DESCRIPCIONES

3.1.1 Descripción y uso de limpieza con chorro abrasivo. Esta limpieza consiste en proyectar con fuerza un chorro de partículas abrasivas contra una superficie, con aire comprimido, generalmente. Debido a que la arena de sílice se utiliza comúnmente en este proceso, los trabajadores que realizan limpieza abrasiva se conocen frecuentemente como sopladores de arena. Sus tareas incluyen lo siguiente:

- Limpiar la arena e irregularidades de las piezas de fundición.
- Limpiar y eliminar la pintura del casco de un buque, edificios de piedra, puentes de metal y otras superficies metálicas.
- Terminar lápidas, grabar o glasear vidrio y realizar ciertas labores artísticas.

3.1.2 Descripción de la sílice. El silicio elemental es uno de los elementos más difundidos en la corteza terrestre, no se encuentra en forma aislada en la naturaleza, sino formando compuestos. La sílice es un compuesto mineral no

metálico de consistencia dura, que resulta de la combinación de sílice y oxígeno el más abundante es la sílice libre o dióxido de silicio (SiO_2).

Cuando los trabajadores inhalan sílice cristalina utilizada en la limpieza abrasiva, el tejido pulmonar reacciona desarrollando nódulos fibróticos y produciendo una costra alrededor de las partículas de sílice atrapadas [Comité de Enfermedades de Silicatos y Silicosis 1988]. Esta condición fibrótica del pulmón se llama silicosis. Si los nódulos crecen demasiado grandes, la respiración se hace difícil y puede resultar en muerte. Las víctimas de silicosis también están sometidas a alto riesgo de contraer tuberculosis activa [Myers et al. 1973; Sherson y Lander 1990; Bailey et al. 1974]. La arena de sílice utilizada en la limpieza abrasiva se fractura típicamente en partículas finas y pasa al aire. La inhalación de dicho sílice parece producir una reacción pulmonar más aguda que el sílice que no está recién fracturado. Este factor puede contribuir a la aparición de formas de silicosis agudas y aceleradas entre los operarios de limpieza con arena a presión.

3.2 EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

3.2.1 Número de trabajadores expuestos. De acuerdo con las estimaciones, más de 1 millón de trabajadores estadounidenses están sometidos a riesgo de contraer la silicosis y más de 100,000 de estos trabajadores son empleados como

operarios de limpieza a presión de arena [Shaman 1983]. Unos 59,000 trabajadores del millón expuestos a sílice cristalino adquirirá con el tiempo silicosis [Shaman 1983]. Ninguna estimación publicada indica el número de operarios de sandblasting que contraerán silicosis, pero un estudio de 1936 realizado en Gran Bretaña [Merewether 1936] notificó que 5.4% de ellos (24 de 441) murieron de silicosis o silicosis con tuberculosis en un periodo de 3.5 años

En Colombia, se ha estudiado poco ésta patología y según la base de datos de la U. De A¹³. No se ha publicado ninguna investigación acerca de ella, a pesar que en algunos congresos se han realizado ponencias al respecto. Nuestro propósito con este trabajo es comenzar a llamar la atención sobre el aumento de la incidencia, las graves consecuencias en materias de invalidez, calidad de vida, muerte y consecuencias económicas de una enfermedad que es en gran medida prevenible.

Se tiene poca información en Colombia acerca de la prevalencias de las neumoconiosis. Hay poca experiencia en el diagnóstico de esta patología en nuestro país. A pesar de esta situación cada día aumenta más el número de casos, número de inválidos y el número de muertes por este problema claramente prevenible. Estos son los primeros intentos ordenados de aproximación a la

¹³ **Carlos Orduz García:** Internista U de A – Neumólogo. Coordinador Nacional, Comité Enfermedad Ocupacional y Medio Ambiente, Sociedad Colombiana de Neumología y Enfermedad del Tórax.

realidad nacional con un número de enfermos. Deberá hacerse una gran campaña de información y de adiestramiento para el diagnóstico, de igual forma para el manejo de esta patología ocupacional que ya no puede definirse como rara en Colombia.

3.2.2 Ocupaciones de riesgo de exposición a polvo de sílice. El trabajo en un ambiente polvoriento donde existe la sílice cristalina puede aumentar el riesgo de silicosis. Si varias personas trabajan en un lugar tal y una es diagnosticada con silicosis, las otras deben hacerse un examen para averiguar si ellas también la han contraído

Los siguientes son ejemplos de industrias y actividades en mayor riesgo de exposición:

- construcción (el limpiar con un chorro de arena, el trabajo con un martillo neumático, y la construcción de socavones)
- el trabajo en una fundición (el moler moldura)
- el cortar piedras (el aserrar, limpiar abrasivo con un chorro, astillar, y moler)
- la fabricación y el uso de abrasivos

Más de 100,000 trabajadores están en alto riesgo de exponerse a la sílice por limpiar con un chorro de arena, taladrar piedras, y la minería. Los trabajadores que hacen las siguientes labores también corren el riesgo de sobreexposición a la sílice cristalina: el quitar pintura y óxido de los edificios, puentes, tanques, y otras superficies; el limpiar fundiciones; el trabajo con piedra o arcilla; el grabar vidrio; y la construcción.

3.3 FACTORES QUE CONDICIONAN EL RIESGO Y AFECTAN LA POTENCIAL EXPOSICIÓN INCIDENTAL A SÍLICE RESPIRABLE

A continuación se evalúan algunas variables presentes en el proceso de sandblasting, las cuales pueden de una u otra forma influir en las concentraciones de sílice respirable presentes en el ambiente de trabajo.

Estas concentraciones son las que se desean analizar, estudiar y controlar en este trabajo. Con el fin de aumentar el bienestar y la salud de los operarios de este proceso. Además se desea dotar de información para el entendimiento y comprensión de los operarios a todos estos riesgos, para que se concienticen acerca del peligro potencial al cual se encuentran expuestos, tanto ellos como las personas que trabajen cerca de los lugares donde se realizan estos procesos.

3.3.1 Factores del agente.

3.3.1.1 Contenido de sílice en polvo: la posibilidad de desarrollo de silicosis depende del contenido de dióxido de silicio en el polvo respirable, a mayor contenido mayor capacidad fibrogenica.

En muchas mezclas, el SiO₂ cristalino es más duro que el resto de la mezcla y la mayor parte de las operaciones de trituración y rectificación producen polvo que queda suspendido en el aire con un porcentaje menor de SiO₂ cristalino, que el de la mezcla mineral original. Ocasionalmente, cuando la operación de rectificación

requiere una gran fuerza de impacto, se invierte la situación. Las operaciones de limpieza con soplo de abrasivo (seco o húmedo) imprimen energía a la arena para dotarla de la fuerza necesaria para remover los contaminantes, es por esto, que se incrementa la presencia de polvo de sílice cristalino en el medio ambiente donde se está llevando a cabo al limpieza En las arenas los porcentajes normales de SiO₂ cristalino es de 50 a 90%.

Para poder estimar la rata de generación de polvos de cuarzos respirables durante el sandblasting, Charles Brantlry y Parker Reist¹⁴ realizaron pruebas en una cámara de tubos de acero de 40 pies por 4 pies de diámetro con condiciones parcialmente controladas. Los resultados obtenidos en la cámara de prueba, mostraron que aproximadamente el 87% de polvo que se obtuvo en el ambiente de la cámara fue de polvo respirable. Como se logra esto, no se conoce completamente. Pero, si es claro que gran cantidad de partículas respirables se crean por el impacto de los cuarzos de arena con el acero a un ángulo de 45° y una distancia entre 10-12 pulgadas. Estimar la cantidad de partículas respirables en suspensión que se pueden transmitir por medio del aire es bastante difícil, debido a que esta característica depende de muchos factores externos como pueden ser: la dirección del viento, el numero de boquillas que se estén utilizando en el trabajo, la geometría del lugar donde se este trabajando. En esta cámara, efectos tales como la sedimentación de las partículas largas, concentración de la

¹⁴ Guardacostas en la octava división del estado de New Orleans e Ingeniero de la universidad de North Carolina en el departamento del medio ambiente respectivamente

turbulencia y la aglomeración estática probablemente actúan para remover partículas respirables.

Además la prueba mostró que la fractura de arena durante el sandblasting puede resultar igual a $78 \frac{g}{min}$ o $1.3 \frac{g}{sec}$ de polvo respirable generado por boquilla. No obstante gran parte de este material, subsecuentemente removido del aire, aproximadamente el 13% de la masa permanece en suspensión. Esta arena fracturada representa el mayor potencial de exposición para respirar cuarzos, dentro de el proceso de sandblasting.

3.3.1.2 Tipo de sílice. la patogenización de la sílice depende del tipo de cristalización. Las formas cristalinas son más fibrogenicas que las seudocristalinas y estas ultimas más que las amorfas. La exposición a cualquier tipo de sílice es potencialmente riesgosa dependiendo de su intensidad y duración.

3.3.1.3 tamaño de las partículas: son más peligrosas las partículas entre 0.5 y 5 micras por ser los tamaños que con mayor facilidad se depositan en los alvéolos pulmonares y las vías terminales. Tamaños mayores son retenidos por el sistema de depuración de las vías respiratorias para ser expulsados con la expectoración o deglutidos.

De igual forma la prueba en la cámara fue usada para determinar la distribución del tamaño de las partículas, del volumen de arena antes y después del proceso

de sandblasting. La arena antes del proceso tenía 0.024% por masa de polvo respirable. La arena después del proceso tuvo un porcentaje mucho más elevado de polvo respirable 0.7% por masa, mientras se generan 78gr de polvo respirable cada minuto del proceso (90 psi, 1450 lbs de arena por hora , 240 CFM, boquilla N° 7).

3.3.2 Factores de la exposición.

3.3.2.1 Concentración de polvo en el aire: la determinación de la concentración de polvo en el aire es fundamental para evaluar el riesgo ambiental. Se usa el método gravimétrico para determinar el peso de polvo recogido en un filtro el cual expresa los resultados en miligramos de polvo por metro cúbico de aire¹⁵. Las partículas que son menores de 5 micras alcanzan el alveolo pulmonar con mayor facilidad y se les denomina “polvo respirable”.

Una muestra de cómo afecta el tamaño de las boquillas las tasas de generación de polvo también se obtuvo en el estudio realizado por Charles Brantley y Parker Reist. Para boquillas de sandblasting N°6 y N°7, se obtuvieron los siguientes resultados. En la boquilla N°6 (6/16 de pulgada – garganta) las concentración

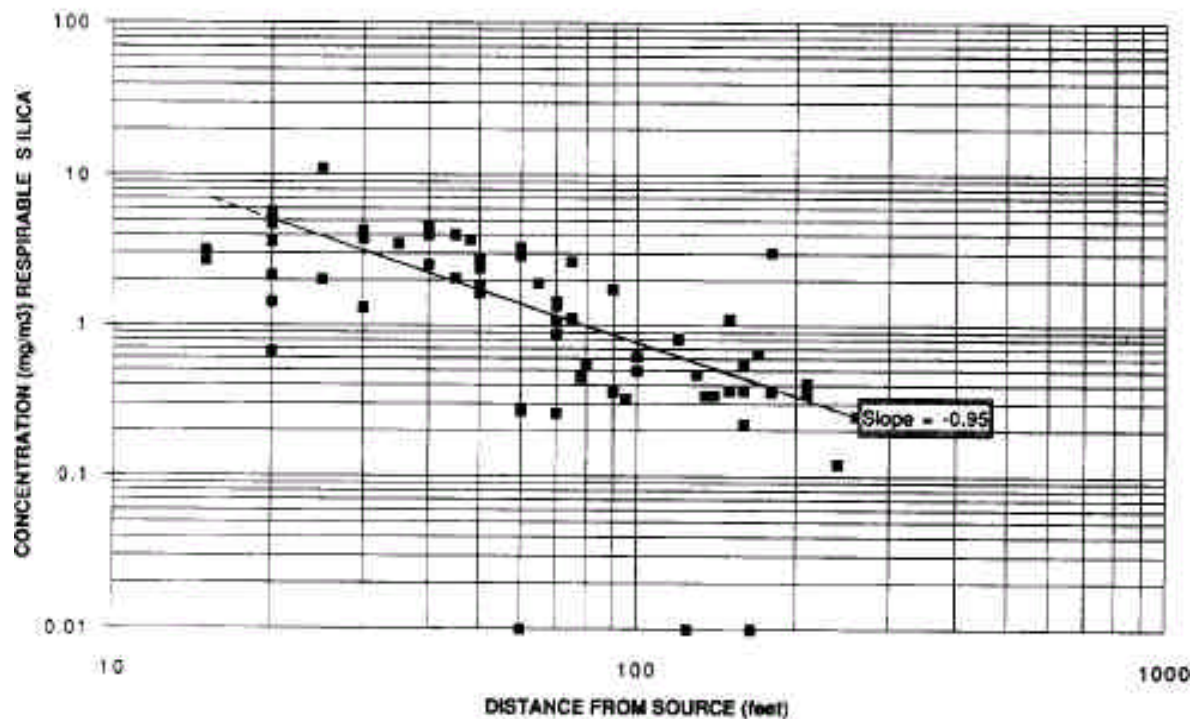
¹⁵ Para la obtención de las muestras fueron utilizados dos tipos de ciclones; uno de nylon con una configuración geométrica de poros de 3.5mm, diseñado para trabajar con un flujo de aire de $1.7 \text{ Lts}/\text{min}$ y el otro ciclón de aluminio con poros de 5 mm y diseñado para trabajar con flujo de $1.9 \text{ Lts}/\text{min}$. Además a los ciclones se les equipaba de filtros con de 0.8mm hechos de poliestireno. Los equipos seleccionados fueron analizados por un laboratorio certificado para sílice cristalina, usando métodos de espectrometría (absorción infrarroja).

promedio de cuarzos respirables medida con el equipo colector de aluminio fue $775 \text{ mg}/\text{m}^3$ y con el equipo de Nylon fue de $210 \text{ mg}/\text{m}^3$. Para la boquilla N°7 (7/16 pulgadas-garganta) se obtuvo $1485 \text{ mg}/\text{m}^3$ con el equipo de aluminio y $194 \text{ mg}/\text{m}^3$ con el de Nylon. La diferencia obtenida en las dos diferentes pruebas es significativa. Esto probablemente se debe a la calibración de la cámara donde se realizaron las pruebas, diferencias en las cargas y/o límites máximos de polvo para los diferentes equipos usados.

Muestras tomadas de un proceso de limpieza de superficies metálicas con sopleo de abrasivo seco en un lugar abierto, arrojo en rango de concentraciones entre 0 – $10.9 \text{ mg}/\text{m}^3$ de polvo de sílice respirable, lo cual supera el límite permisible de exposición dado por la OSHA 109 veces.

Graficando los datos obtenidos en el estudio por Charles Brantley y Parker Reist con los ciclones para el análisis de las concentraciones de polvo de sílice respirable, cuando se está realizando un proceso de sandblasting en una superficie que se encuentra al aire libre, se puede ver la manera como varía la concentración en función de la distancia de la fuente donde está siendo generada la nube de polvo.

Figura 13. Concentraciones vs. distancia a la fuente¹⁶

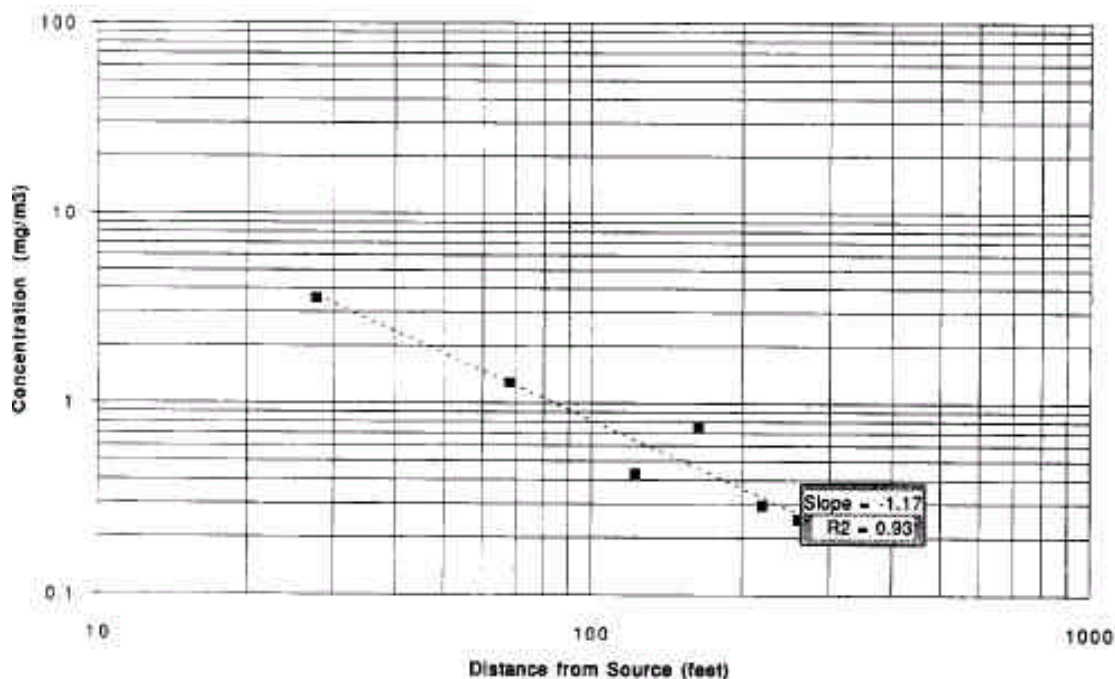


Para mayor claridad e interpretación acerca de cómo varían las concentraciones de sílice respirable con respecto a la distancia, los datos fueron agrupados en intervalos de distancia de 50 pies y se promediaron.

Lo anterior dio una regresión lineal con una pendiente de -1.17 y un R^2 de 0.93 .

¹⁶ De abrasive blasting with quartz sand: factors affecting the potential for incidental exposure to respirable silica.

Figura 14 Concentraciones vs. distancia a la fuente para intervalos de distancia de 50 pies¹⁷



De todo lo anterior se puede decir que la concentración de polvo de sílice respirable en el ambiente circundante de una operación de limpieza con abrasivo usando cuarzos de arena varía inversamente con la distancia ($D^{-1.17}$) de la fuente. De aquí que de forma general las concentraciones en los alrededores a cualquier distancia pueden ser estimadas.

Lo cual demuestra la posibilidad de someterse a altas exposiciones en los lugares donde se realiza un proceso de sandblasting y da evidencia fuerte de que el

¹⁷ De abrasive blasting with quartz sand: factors affecting the potential for incidental exposure to respirable silica

sandblasting con cuarzos de arena, debería ser controlado con cada proceso, estando sujeto a procedimientos detallados de aislamiento, marcación de las fronteras peligrosas y protección personal en caso tal de que el polvo no pueda ser capturado por tubos de ventilación locales o encapsulado con ventilación.

La evaluación de los procesos de limpieza con abrasivos usando cuarzos de arena para la exposición a sílice respirable puede ser alcanzada de una forma bastante aceptable, sin el uso de los filtros de membranas usados en el estudio realizado por Brantley y Reist. Si se tiene unas mediciones aceptables de el contenido de sílice libre presente en el volumen de arena o si se conoce la rata de generación de polvo respirable en un proceso de limpieza en particular. Los contenidos de polvo respirable tendrán aproximadamente la misma cantidad de sílice libre a menos que existan otras fuentes de polvo mayores contribuyendo a la exposición.

Los 67 datos tomados del medio circundante y que fueron analizados como una función de la distancia ($D^{-1.17}$) no se consideraron variables con la fuerza de la fuente (tradicionalmente expresada en $\frac{g}{sec}$). En la cámara se obtuvo una rata de generación de $1.3 \frac{g}{sec}$.

Utilizando el modelo de la fuente de difusión de Sutton¹⁸ para el análisis de las muestras, se asume una rata de emisión de $1 \frac{g}{sec}$, con una fuente de emisión con

¹⁸ Sutton, O.G.: Micrometeorology. New York:R.E. Kreiger publisher Co., 1953. pp.276-277.

un solo punto central, la concentración a 100 m de distancia desde la fuente será de $0.2 \frac{mg}{m^3}$. Para distancias menores a 100 m la concentración se puede estimar

con la siguiente formula

$$\frac{C_1}{C_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{1.76}$$

donde: C es la concentración y D la distancia desde la fuente. Los números 1 y 2 representan las posiciones respectivas.

Usando los las ecuaciones obtenidas por Sutton y por Brantley se puede estimar las concentraciones que se presentan en determinadas áreas y así de esta manera evaluar la protección respiratoria necesaria de acuerdo a la distancia que se encuentren las personas.

Diluciones significativas de polvo respirable generado en las boquillas de sandblasting ocurre casi instantáneamente dentro de una corta distancia (20 pies) de la boquilla. Esta dilución es causada primariamente por el momento del aire, que al salir de la boquilla se mezcla con una fuente libre de turbulencia. En operaciones de limpieza con abrasivos la disponibilidad del aire sin contaminación es critica, para la revelación de las más bajas concentraciones en la zona de limpieza y en los alrededores del sitio que se limpia.

Las boquillas modernas, con presiones de trabajo de 80 – 110 psi darán concentraciones proporcionales a las que se obtuvieron con 90 psi, 1450 libras de arena por hora, $240 \left(\frac{ft^3}{min} \right)$ y una boquilla N°7 para cada uno de los operarios.

Para una distancia de 3 pies de la boquilla, asumiendo que un operario se encuentra expuesto a su propia deflexión y sabiendo que la rata de concentración de polvo que se genera por boquilla es de $366 \frac{mg}{m^3}$ por boquilla, se estima que un operario se encuentra expuesto un TWA (tiempo promedio de exposición) a una concentración de $31 \frac{mg}{m^3}$. Samini et al. Midió un promedio de $37 \frac{mg}{m^3}$ para siete de los colectores ubicados fuera de los protectores de sandblasting. Esto puede ser lógico si se tienen en cuentas otros factores como el movimiento de rebote de las partículas largas, la difusión convectiva y la capacidad del viento para provocar la dilución aun antes de que el polvo alcance los primeros equipos de recolección de las muestras.

3.3.2.2 Efectos de la geometría del lugar en la concentración. En las dos pruebas realizadas tanto en la cámara como en la mediciones de campo indicaron que aún con menos de un encerramiento total si la dilución del aire es restringida pueden resultar u obtenerse muy altas concentraciones de exposición. Por ejemplo, las mediciones realizadas en una restricción parcial de aire y una restricción total, fueron 10.9 y $275 \frac{mg}{m^3}$ respectivamente. La más baja de las

mediciones fue tomada cerca del lugar de trabajo en un sitio totalmente abierto y la más alta fue tomada en un lugar cerrado con un pequeño orificio de entrada y otro de salida.

Aspectos de la geometría del sitio o el encerramiento del lugar de trabajo aun parcialmente sin ventilación sustancial, puede dar como resultado el incremento de las concentraciones de exposición en el área de trabajo que se encuentra alrededor del operario y por ende en el medio circundante.

3.3.2.3 Tiempo de exposición. el tiempo de exposición es otra variable importante para determinar el riesgo de adquirir silicosis y está relacionada con el nivel de concentración de polvo en el aire. En la forma clásica de la silicosis transcurren más de 5 años (de 10 a 15 años) desde que se inicia la exposición hasta que aparecen las primeras manifestaciones de la enfermedad. La ocurrencia de casos en un tiempo menor de 5 años es rara y obedece a concentraciones excesivamente altas.

3.3.3 Factores del trabajador. Existe gran variabilidad individual en la respuesta a los valores ambientales condicionantes del riesgo. Trabajadores en condiciones iguales presentan manifestaciones diferentes.

3.4 LIMITES ACTUALES DE EXPOSICION

El límite actual de exposición permisible de OSHA (PEL) para el sílice cristalino en el aire (cuarzo) es de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio ponderado de 8 horas (TWA) [29 CFR 1910.1000]. El límite de exposición recomendado por el NIOSH (REL) para sílice cristalino en el aire es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como TWA para hasta 10 horas/día durante una semana de trabajo de 40 horas [NIOSH 1974b]. Este REL tiene por fin evitar la silicosis. Sin embargo, la evidencia indica que el sílice cristalino es un carcinógeno ocupacional potencial [NIOSH 1988a; IARC 1987; DHHS 1991], y el NIOSH está revisando los datos sobre carcinogenicidad.

En Colombia estos límites de exposición se han publicado oficialmente en la primera edición del libro “Enfermedades Profesionales Guías Diagnosticas” en donde el ministerio de Salud de Colombia pretende dar herramientas a los médicos que le permitan ejercer su actividad de atención paciente – trabajador con la mayor tranquilidad posible. [Artículo 1, numeral 1, Decreto 1832 agosto 1994 Neumoconiosis debida a polvo de sílice OMS]

3.4.1 Mecanismo de acción.

3.4.1.1 Retención. las partículas de polvo de 5 – 15 micrómetros de diámetro, depositadas en las vías aéreas son eliminadas por acción mucociliar, pero las

partículas de 0.5 – 5 micrómetros que llegan a las vías aéreas terminales o más allá quedan retenidas. La mayoría de las partículas de un diámetro menor a 0.5 micrómetros. Permanecen suspendidas en el aire y son espiradas.

Las partículas de polvo retenidas en los pulmones son captadas por los macrófagos (Fagocitos mononucleares) y transportadas bien a las vías aéreas y eliminadas o bien llevadas al parénquima pulmonar. Cuando mueren las células que contienen el polvo, otras células captan las partículas liberadas, pero estas también son destruidas, creándose una reacción continua, que conduce a la formación de cicatrices localizadas (nódulos) sobre todo en la vías aéreas terminales.

3.4.1.2 Eliminación. La eliminación de las partículas de cuarzo, especialmente cuando están mezcladas con otro tipo de polvo, puede conducir a los bronquios y a la traquea en los primeros días que siguen a la inhalación. El porcentaje de polvo retenido aumenta con, el aumento de los niveles de exposición , la mayor exposición de polvo en el pasado y la presencia de neumopatías (especialmente tuberculosis). Las partículas retenidas en el parénquima pulmonar rara vez son transportadas mas allá de los ganglios linfáticos hiliares tanto la lesión se limita a los pulmones y a los ganglios linfáticos del hilio.

3.5 EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA EXPOSICIÓN AL SÍLICE CRISTALINO

3.5.1 Silicosis. Un trabajador puede adquirir cualquiera de tres tipos de silicosis, según la concentración aerotransportada de sílice cristalina:

- Silicosis crónica, que ocurre de ordinario después de 10 o más años de exposición al sílice cristalino con concentraciones relativamente bajas.
- Silicosis acelerada, que resulta de la exposición a altas concentraciones de sílice cristalino y se contrae de 5 a 10 años después de la exposición inicial.
- Silicosis aguda, que ocurre cuando las concentraciones de exposición son más elevadas y pueden ocasionar síntomas dentro de unas cuantas semanas a 4 ó 5 años después de la exposición inicial [Peters 1986; Ziskind et al. 1976].

El peligro se presenta al inhalarse polvo de sílice cristalino, el cual se deposita en los pequeños conductos aéreos del pulmón, el tejido pulmonar reacciona y forma un tejido fibroso o una cicatriz fibrosa alrededor de la partícula. Tal cicatriz fibrosa impide el fácil intercambio del oxígeno y del anhídrido carbónico en los pulmones. Además una cicatriz fibrosa no se estira tan fácilmente como un tejido sano. La silicosis (en especial la forma aguda) se caracteriza por dificultad de respiración, fiebre y cianosis (piel azulada); puede diagnosticarse erróneamente como edema pulmonar (fluido en los pulmones), neumonía o tuberculosis. Las infecciones fúngicas o micobacterianas agudas complican a menudo la silicosis y pueden ser

mortales en muchos casos [Ziskind et al. 1976; Owens et al. 1988; Bailey et al. 1974]. Se cree que las infecciones fungales o micobacterianas resultan cuando células macrófagas de los pulmones luchan contra estas enfermedades y son abrumadas con polvo de sílice e incapaces de destruir a las micobacterias y otros organismos [Allison and Hart 1968; Ng y Chan 1991]. Aproximadamente la mitad de las infecciones micobacterianas son ocasionadas por *Mycobacterium tuberculosis*, y la otra mitad son ocasionadas por *M. kansasii* y *M. avium-intracellulare* [Owens et al. 1988]. *Nocardia* y *Cryptococcus* también pueden ocasionar infecciones pulmonares en las víctimas de la silicosis [Ziskind et al. 1976]. Las investigaciones muestran de ordinario los pulmones llenos de sales de sílice y un material proteínico [Owens et al. 1988; Buechner and Ansari 1969].

3.5.2 Silicosis con tuberculosis pulmonar. Los trabajadores expuestos a la sílice tienen mayor riesgo de padecer tuberculosis, riesgo que aumenta tan pronto las alteraciones radiológicas son manifestadas. El riesgo aumenta con la gravedad de la silicosis, mientras que los factores que favorecen la propagación de la tuberculosis son, el hacinamiento en los lugares de trabajo, la nutrición deficiente y la elevada prevalencia de la infección en la comunidad.

3.6 INFORMES DE CASO

3.6.1 Caso No. 1— Una muerte. En enero de 1992, el Departamento de Salud de Ohio respondió al informe de un médico en la muerte de un trabajador de 55 años con silicosis acelerada y con infección *M. kansasii* asociada [ODH 1992]. El hombre era un operario de limpieza a chorro de arena en un taller de preparación de metales y se declaró que había estado realizando operaciones de limpieza abrasiva por 10 años, posiblemente sin protección respiratoria adecuada. El Departamento de Salud de Ohio realizó una visita al lugar de trabajo en el taller de preparación de metales. La limpieza a chorro siempre se había realizado manualmente en una sala cerrada y era considerada como un paso necesario para eliminar “la piel de cebolla” que se formaba después de someter el metal a tensión de calor.

El propietario del taller empleaba a 17 trabajadores y operaba en tres turnos. Todos los turnos tenían un operario de la máquina de limpieza con arena al que se le entregaba una máscara respiratoria con suministro de aire con una caperuza. La limpieza a presión se realizaba durante unas 6 horas en cada turno. Durante el resto del turno, el operario de la máquina llevaba puesto una máscara respiratoria de partículas desechable y echaba con pala la arena usada a una depresión en el suelo para reciclado. Los trabajadores notificaron que los compañeros de trabajo habían tenido problemas mientras que trabajaban como operadores de la chorreadora de arena y el empleador contrataba característicamente de seis a siete nuevos operarios cada año para reemplazar a los que se marchaban.

Una muestra personal del turno completo recogida en la parte exterior del casco del operador de la chorreadora de arena indicó que la exposición potencial a sílice cristalino en el aire era mayor de 200 veces la REL del NIOSH de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [NIOSH 1974b]. El tipo de máscara respiratoria que llevaban los operarios durante esta operación tenía un factor de protección asignado de (APF) de 25 [NIOSH 1987b]. El APF, es la protección mínima prevista proporcionada por una máscara respiratoria que esté en buenas condiciones de funcionamiento o una clase de respiradores a un porcentaje dado de usuarios capacitados y con equipo bien ajustado. Así pues, el llevar una máscara respiratoria con un APF de 25 proporcionaría en teoría una protección adecuada de concentraciones peligrosas de hasta 25 veces el REL del NIOSH—una protección mucho menor que la necesaria para una exposición potencial superior a 200 veces el REL.

Una muestra de aire de la zona recogida dentro de la sala de limpieza a chorro contenía aproximadamente 500 veces el REL del NIOSH para sílice cristalino. Una muestra del aire recogida inmediatamente fuera de la sala de limpieza a chorro contenía 8 veces el REL del NIOSH, lo que indica una contención deficiente del polvo por la habitación de limpieza (que no estaba sellada) y una fuga de polvo peligrosa del equipo de limpieza con arena.

Se advirtieron otros problemas con respecto a las presiones de flujo de aire en el casco, ventilación inadecuada, uso esporádico de la máscara respiratoria y recogida de polvo. La salida de la tolva para el recolector de polvo dejaba caer un polvo fino directamente en el suelo de la planta. Este polvo se acumulaba y exponía a muchos trabajadores ya que estaba disperso por toda la planta. Un operario de una chorreadora de arena empleado en la actualidad declaró que, si bien la exposición era una molestia, él consideraba que el polvo era parte del trabajo.

3.6.2 Caso No. 2—Una muerte. En noviembre de 1988, un médico en la región occidental de Texas declaró tres casos de silicosis entre operadores de chorreadoras de arena al Departamento de Salud del Condado de Ector [CDC 1990]. Los tres pacientes habían estado empleados en una instalación en la que limpiaban con arena tuberías de perforación de yacimientos petrolíferos. Uno de los trabajadores, un hombre de 34 años, murió posteriormente como resultado de silicosis aguda.

Tras un informe posterior por el médico en enero de 1989, el Departamento de Salud del Condado de Ector y el Departamento de Salud de Texas se pusieron en contacto con médicos locales e identificaron a siete operadores de chorreadores de arena adicionales que habían sufrido silicosis desde 1985. De los 10

trabajadores identificados, 9 habían trabajado en la misma instalación, que empleaba a unas 60 personas, aproximadamente.

Una investigación realizada por los departamentos de salud del condado y del estado incluyó un análisis del historial de cada trabajador. Los radiólogos locales evaluaron las radiografías torácicas. Para cuatro casos, un lector B¹⁹ también repasó la radiografía más reciente del pecho del paciente para tratar de detectar evidencia de neumoconiosis utilizando para ello las pautas de la OIT de 1980 [Comité de la OIT sobre Neumoconiosis 1981]. El Departamento de Salud de Texas analizó los informes de patología de tejido pulmonar y realizó un estudio ambiental de la planta en la que habían estado empleados nueve trabajadores.

Cada uno de los 10 trabajadores tenía historiales de exposición ocupacional al sílice y radiografías torácicas que concordaban con la neumoconiosis; 8 tenían un informe de patología de tejido pulmonar de nódulos silicóticos o silicosis aguda [Comité de la Enfermedad Ocasionada por los Silicatos y la Silicosis 1988]. Todos eran hombre hispanos de 24 a 50 años en el momento de efectuarse el diagnóstico. Siete de los trabajadores tenían menos de 30 años. Aunque la tuberculosis se consideró en todos los pacientes notificados (tres de ellos tuvieron

¹⁹ Un médico certificado por NIOSH para detectar la neumoconiosis en las radiografías utilizando las pautas de la Oficina Internacional del Trabajo (OIT).

pruebas reactivas de la piel a la tuberculina), todas las muestras de esputo y de tejidos de todos los pacientes dieron negativo para M. tuberculosis.

La totalidad de los 10 trabajadores habían utilizado maquinaria de limpieza con chorreadora de arena. La duración de la exposición a la operación de limpieza con arena osciló entre 18 meses y 8 años (mediana: 4.5 años). Nueve trabajadores notificaron que no habían tenido exposición previa al sílice; el trabajador restante había operado equipo de perforación de campos petrolíferos con chorro de arena durante 3 años antes de trabajar en la instalación originalmente identificada durante 5 años.

El proceso de limpieza a presión de arena en esta instalación requería que una varilla de chorro que utilizaba una mezcla igual de pedernal y granate (20.5% de sílice cristalino) pasara a través del tubo perforador para separar los contaminantes y preparar la superficie interior para un nuevo recubrimiento de plástico protector. Aunque la operación de limpieza estaba encerrada por gabinetes de chorro conectados a sistemas de expulsión del aire, los gabinetes estaban en mal estado y permitían salir a la zona de trabajo nubes de polvo. Las cabinas protectoras con las que se pretendía reducir la exposición sacaban el aire de zonas que tenían una contaminación sustancial de sílice. Los trabajadores apartaban manualmente con pala el material de limpieza a chorro de arena empleado en la maquinaria para volver a utilizarlo.

En noviembre de 1988, muestras del aire de zonas de respiración personal documentaron exposiciones de sílice cristalino en el aire comprendidas entre 400 y 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los trabajadores en la zona de limpieza a chorro. Estos datos concordaron con los resultados declarados por OSHA durante una inspección ambiental análoga en la que las exposiciones superaron sustancialmente el PEL actual de OSHA (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para sílice respirable [29 CFR 1910.1000]). Las máscaras respiratorias con suministro de aire no se habían utilizado durante la operación de limpieza a chorro de arena y los trabajadores declararon que sólo llevaban puestos respiradores de partículas desechables.

3.7 DIAGNOSTICO

3.7.1 Presuntivo. Se basa en dos criterios, historia laboral de exposición crónica y en las manifestaciones radiológicas. Las demás pruebas y la exploración clínica aportan poco al diagnostico de silicosis pero tienen utilidad para el diagnostico diferencial.

3.7.2 De certeza. hecho el diagnostico presuntivo se puede proceder a la biopsia ganglionar o pulmonar. Esta ultima sirve mas para descartar otras enfermedades que para confirmar el diagnostico de silicosis.

3.7.3 Diferencial. la aparición de las alteraciones típicas radiológicas nodulares precoces con coalescencia en las zonas superiores, la carencia de signos físicos o de mucha tos y el fallo inespecífico pulmonar hacen que el diagnóstico de silicosis sea sencillo de realizar en los grupos expuestos al polvo. En los distintos casos, el diagnóstico depende de la historia profesional y de la exclusión de tuberculosis, cáncer de pulmón, sarcoidosis, artritis reumatoidea, por los métodos clínicos y de laboratorio habituales. La presencia de infecciones complicantes, tales como la tuberculosis, debe confirmarse mediante el cultivo del esputo y las pruebas serológicas apropiadas.

3.8 VIGILANCIA MEDICA

3.8.1 Exámenes preocupacionales. El reconocimiento de ingreso debe incluir los antecedentes médicos y una exploración física en la que se da una especial atención al sistema cardiorrespiratorio. Debe tomarse radiografía de tórax de 14*17 en posición PA, para ver si el individuo tiene tuberculosis pulmonar o cualquier otra neumopatía. Se practicara espirometría con el fin de detectar alteraciones que puedan ser incompatibles total o parcialmente con su estancia en la empresa. Se buscara conocer exposiciones o agentes agresores del aparato respiratorio, polvos, humos, vapores y cigarrillo.

3.8.2 Exámenes ocupacionales. Desde el punto de vista médico, el reconocimiento periódico debe ser igual al del ingreso. La frecuencia depende del nivel de exposición al polvo. Si las medidas de control son satisfactorias, puede

repetirse el reconocimiento cada tres años. El objetivo del reconocimiento es prevenir la aparición de la enfermedad durante la vida laboral del trabajador. Los reconocimientos periódicos no ayudan a prevenir el desarrollo de una silicosis después de la pensión. A pesar de esto, deben guardarse todas las radiografías, los resultados de pruebas de función pulmonar y los datos sobre la exposición individual acumulada para el análisis epidemiológico.

Si un número significativo de trabajadores presenta silicosis a los 20 o 25 años del primer empleo, deben revisarse completamente las medidas de control de polvo en el lugar de trabajo.

3.8.3 Asistencia. El paciente debe ser retirado inmediatamente de una exposición adicional al aparecer los primeros signos de silicosis o de tuberculosis activa. Aunque inicialmente no es necesario restringir otro trabajo o actividad, el paciente debe permanecer bajo vigilancia médica continua. No hay tratamiento para la silicosis.

En las últimas fases de la silicosis puede requerirse un tratamiento de la insuficiencia cardíaca o respiratoria.

Importa prevenir la tuberculosis en los pacientes silicóticos. Cuando la incidencia de la tuberculosis en la comunidad es alta, debe considerarse la vacunación y la quimiopprofilaxis, aunque su valor no ha sido totalmente demostrado. Los pacientes con tuberculosis deben ser tratados precozmente. La quimioterapia ha de ser

vigilada cuidadosamente y tiene que ser la que corresponda a las cepas de bacilo tuberculoso predominante.

3.9 MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y CONTROL

Debe aplicarse estrictamente la supresión del polvo con medidas técnicas de control (utilización de métodos de limpieza de superficies con soplo de abrasivo húmedo) y debe eliminarse cualquier cantidad de polvo residual mediante la ventilación adecuada. Es preciso medir regularmente las concentraciones de polvo respirable y el contenido de sílice libre en el polvo.

Durante las averías de los dispositivos técnicos normales de control del polvo o en las situaciones de emergencia, los trabajadores utilizarán mascarillas. Los operarios de camiones o grúas necesarios para el transporte de los abrasivos o para el libre movimiento de los aperadores de las boquillas deberán disponer de cabinas con aire acondicionado o en su defecto con la protección respiratoria adecuada.

Las medidas que se adopten deben tener como finalidad la supresión de las condiciones de trabajo peligrosas o insalubres. Estas medidas se pueden combinar con la aplicación de sistemas adecuados de ventilación en la generación de material particulado.

- El método más radical y más eficaz es suprimir el riesgo²⁰. Este método es el más difícil de aplicar, cuando un riesgo no puede eliminarse, se debe procurar minimizar sus efectos y la gravedad. Se debe reducir al mínimo el contacto con las sustancias químicas, empleando en lo posible para su manipulación, sistemas mecanizados de transporte , vaciado, mezclas y aplicación.
- Cuando no es posible eliminar el riesgo o reducir su gravedad a un grado considerado aceptable, se procura alejar a los trabajadores de la zona peligrosa.
- En la mayoría de los casos, se requiere establecer la confinación de la fuente que produce el riesgo, se precisa la utilización de ventilación local exhaustiva.
- Cuando no es posible utilizar las medidas anteriores o cuando estas no alcanzan una protección suficiente, se deben suministrar a las personas expuestas elementos de protección personal. Esta es la ultima opción de defensa, a la que solo se debe acudir después de haber agotado todas las posibilidades ofrecidas por otros métodos, pues requiere la participación activa del trabajador y presenta en algunos casos limitaciones.

Teniendo en cuenta las formas en que debe ser eliminado el peligro de exposición de los lugares de trabajo cuando se necesite realizar la preparación de una superficie, se crearon los métodos de limpiezas de superficies metálicas con sople de abrasivo húmedo como una alternativa que controla sustancialmente la

²⁰ Debido al alto riesgo de silicosis entre los limpiadores a presión de arena y la dificultad de controlar la exposición, el uso de sílice cristalino para las operaciones de limpieza con chorro se prohibió en Gran Bretaña en 1950 [Ley de Fábricas de 1949] y en otros países europeos en 1966 [ILO 1972]. En 1974, el NIOSH recomendó que la arena de sílice (u otras sustancias que contuvieran más de 1% de sílice libre) se prohibieran como material de limpieza abrasiva y que se utilizaran materiales menos peligrosos en las operaciones de limpieza con chorro [NIOSH 1974b].

generación de polvo de sílice respirable disminuyendo la cantidad de polvo generado o precipitándolos al suelo, evitando así la exposición de los operarios y de las personas que trabajen en áreas adyacentes al lugar donde se esta llevando a cabo la limpieza. En adición a esto se deben tener en cuenta las normas vigentes para la utilización de los protectores de respiración personales necesarios en cada proceso. A continuación se darán las practicas utilizadas en el proceso de limpieza de superficies metálicas con soplo de abrasivo seco. Estas recomendaciones son también útiles en el proceso de limpieza con soplo de abrasivo húmedo.

3.9.1 Prácticas de protección respiratoria. La silicosis aguda es menos común hoy que en los años treinta debido a que se utilizan controles técnicos para reducir la exposición al sílice cristalino en el aire y también porque el uso de abrasivos alternativos con menor o ninguna presencia de sílice está aumentando. No obstante, los datos indican que la mayoría de los operarios de chorreadoras abrasivas siguen trabajando sin protección respiratoria adecuada [NIOSH 1974a]. Además, los trabajadores adyacentes a las operaciones de limpieza abrasiva (por ejemplo, pintores, soldadores y trabajadores manuales) no llevan a menudo protección respiratoria [NIOSH 1990b]. Los operarios que efectúan tareas de limpieza con chorro abrasivo deben ser equipados con guantes de loneta gruesa o cuero y con mangas largas y polainas, según resulte apropiado, mandiles de loneta gruesa o cuero, zapatos de protección y protección facial y visual adecuada (a menos de que se use una capucha con suministro de aire).

3.9.2 Respiradores. los operadores que realizan tareas de limpieza con abrasivo se les debe proporcionar respiradores con suministro de aire instruirles sobre el uso de estos equipos en las siguientes situaciones:

- Cuando trabajan dentro de cámaras;
- Cuando utilizan equipos portátiles; y
- Bajo cualquier circunstancia en las cuales el operario no se encuentre físicamente separado del material abrasivo por medio de un recinto con sistema de extracción.

Los respiradores con suministro de aire deben ser ensayados y contar con la certificación del NIOSH o de la MSHA en los EE.UU. o por cualquier otra entidad nacional equivalente que posea la certificación del gobierno Colombiano para realizar estas pruebas.

El aire para los respiradores con suministro de aire no debe tener contaminantes perjudiciales, como monóxido de carbono o niebla de aceite. El aire deberá suministrarse por medio de un compresor de baja presión que no necesite una lubricación interna con aceite o grasa.

A los trabajadores que realizan tareas en zonas vecinas a lugares sin encerrar donde se realicen trabajos con chorro abrasivo se les deberá proveer de protección respiratoria adecuada. Las exposiciones a concentraciones de polvo relativamente bajas se pueden evitar mediante el uso de un respirador con filtro para polvos apropiado y con certificación. Los equipos de protección respiratoria deben entregarse en forma individual a los trabajadores para su uso exclusivo.

Se deben seguir las recomendaciones de los fabricantes en lo referente a los procesos de inspección, limpieza y mantenimiento. De ser posible, deberá centralizarse en la planta, en el taller o en el departamento, la responsabilidad de inspeccionar, limpiar y mantener a todos los protectores respiratorios que se usan sistemáticamente, al final de cada turno.

Al observar piezas gastadas o deterioradas, estas deben remplazarse. Los dispositivos y los tubos de admisión del aire deben lavarse y desinfectarse después de cada día de uso. Deben mantenerse un registro de todas las inspecciones, indicando fechas, con los resultados tabulados.

Los respiradores que no se usan sistemáticamente, pero que se mantienen listos para su uso en caso de emergencia, se deben inspeccionar antes y después de usarlos, y por lo menos una vez al mes mientras estén almacenados. Los

respiradores deben guardarse para protegerlos contra el polvo, los rayos del sol, el calor excesivo, frío extremo, humedad o sustancias químicas perjudiciales. Los respiradores deben guardarse de forma tal que no sufran daños el dispositivo y el tubo de admisión del aire y para que las mangueras de suministro de aire no sufran deformaciones.

Los controles de ventilación para reducir las exposiciones al sílice cristalino no se utilizan en la mayor parte de la industria [NIOSH 1990b]. Samimi et al. [1974] descubrieron que incluso en las operaciones a corto plazo de limpieza con chorro de arena (menos de 2½ horas de limpieza durante un día de trabajo de 8 horas), la concentración promedio de sílice cristalino fue de 764 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), con un contenido de sílice promedio de 25.5%. Esta concentración promedio de polvo fue el doble de la norma de 1974 establecida por la Administración de Salud y Seguridad Ocupacionales (OSHA).

En un estudio de 1974 de las prácticas de protección respiratoria durante la operación de limpieza abrasiva [NIOSH 1974a], los factores de protección para las máscaras respiratorias abastecidas con aire con cascotes oscilaron entre 1.9 y 3,750. Esta amplia gama se atribuyó a las condiciones variadas del equipo más que a la superioridad de ninguna marca. El mantenimiento fue universalmente deficiente o inexistente, y las personas responsables de la protección respiratoria selectiva para la limpieza abrasiva estuvieron inadecuadamente informadas

acerca del uso apropiado y el buen mantenimiento de dicho equipo. Los factores de protección más elevados estuvieron asociados con altas tasas de flujo de aire en el casco, pero éstas aumentaron los niveles del ruido como resultado de la turbulencia del aire. El estudio también indicó que las entradas de aire eran demasiado ruidosas y que los cascos de los operarios tendían a caerse de las espaldas de los usuarios cuando se inclinaban.

No deberán utilizarse máscaras respiratorias como único medio de prevenir o reducir al mínimo las exposiciones a los contaminantes aerotransportados. Deberán implantarse controles eficaces en la fuente tales como sustitución de materiales, automatización, contención, ventilación de expulsión del aire local y buenas prácticas de trabajo para reducir al mínimo la exposición de los trabajadores al polvo de sílice. El NIOSH prefiere dichas medidas como medios principales de proteger a los trabajadores. Sin embargo, cuando los controles no pueden mantener las exposiciones por debajo del REL del NIOSH, deberán implantarse controles con el uso de protección respiratoria durante la limpieza con chorro abrasivo.

Cuando se utilizan máscaras respiratorias, el empleador debe establecer un programa de protección respiratoria integral, tal como el esbozado en la Guía del NIOSH de Protección Respiratoria Industrial [NIOSH 1987a] y según se requiere

en la Norma de Protección Respiratoria de OSHA [29 CFR 1910.134]. Elementos importantes de esta norma son los siguientes:

- una evaluación de la capacidad del trabajador para realizar el trabajo mientras lleva puesto una máscara respiratoria,
- capacitación regular del personal,
- vigilancia ambiental periódica,
- prueba de ajuste de la máscara respiratoria,
- mantenimiento, inspección, limpieza y almacenamiento del equipo de protección respiratoria y,
- selección de máscaras respiratorias adecuadas aprobadas por el NIOSH.

El equipo de protección respiratoria debería evaluarlo regularmente el empleador.

El NIOSH recomienda que los trabajadores lleven la máscara respiratoria de operaciones de limpieza con chorro abrasivo del tipo CE operado en modalidad de presión positiva (APF de 2,000) durante trabajos con sílice cristalino. Para otras operaciones, el Cuadro 1 da el equipo respiratorio mínimo requerido para cumplir el REL del NIOSH para sílice cristalino en determinadas condiciones. Los operarios deberían llevar la máscara respiratoria protectora que sea factible y que concuerde con las tareas a realizar. Para más información sobre la selección de máscaras respiratorias, consulte el NIOSH Respirator Decision Logic [NIOSH por el NIOSH y MSHA [NIOSH 1991b].

Cuadro 1. Recomendaciones de NIOSH para la selección de los respiradores

<p>Condición</p>	<p>Protección respiratoria mínima* requerida para cumplir el REL del NIOSH (50 µg/m³)**</p>
<p>Menos o igual a 500 µg/m³ (10 x REL)***</p>	<p>Cualquier respirador purificador del aire de media máscara con filtro de partículas de gran eficacia</p>
<p>Menos o igual a 1,250 µg/m³ (25 x REL)</p>	<p>Cualquier respirador purificador del aire, mecánico con filtro de partículas de gran eficacia, o Cualquier respirador con suministro de aire equipado con una caperuza o casco y operado en modalidad de flujo continuo (por ejemplo, la máscara respiratoria de chorro abrasivo del tipo CE operados en modalidad de flujo continuo).</p>
<p>Menos o igual a 2,500 µg/m³ (50 x REL)</p>	<p>Cualquier respirador purificador del aire, de cubrecara completa, con filtro de partículas de gran eficiencia, o Cualquier respirador purificador del aire, mecánico, con cubrecara bien ajustado y filtro de partículas de alta eficiencia.</p>

<p>Menos o igual a 50,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,000 x REL)</p>	<p>Cualquier respirador con abastecimiento de aire equipado con media máscara y operado en modalidad de presión a demanda u otra presión positiva.</p>
<p>Menos o igual a 100,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2,000 x REL)</p>	<p>Cualquier respirador con suministro de aire equipado con cubrecara completo y operado en modalidad de presión a demanda u otra presión positiva (por ejemplo, un respirador de chorro abrasivo tipo CE operado en modalidad de presión positiva).</p>
<p>Entrada planificada de emergencia a ambientes que contengan concentraciones desconocidas o concentraciones de menos o igual a 500,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10,000 x REL)</p>	<p>Cualquier aparato respiratorio a alto contenido equipado con un cubrecara y operado en modalidad de presión a demanda u otra modalidad en presión positiva**** o Cualquier máscara respiratoria de suministro de aire equipado con cubrecara completo operado en modalidad de presión a demanda u otra modalidad de presión positiva en combinación con un aparato respiratorio auxiliar autocontenido operado en modalidad de presión a demanda u otra modalidad de presión</p>

	positiva.****
Lucha contra incendios	Cualquier aparato de respiración autocontenido equipado con cubrecara y operado en modalidad de presión a demanda u otra modalidad de presión positiva.****
Escape solamente	Cualquier máscara respiratoria de cubrecara completo purificador del aire con filtro de partículas de gran eficacia, o Cualquier tipo de aparato respiratorio de alto contenido, utilizado para escapar de lugares de peligro de diseño apropiado.
<p>*Solo debe utilizarse equipo aprobado por el NIOSH/MSHA</p> <p>** Estas recomendaciones tienen por fin proteger a los trabajadores de silicosis; solo los respiradores más protectores se recomiendan para proteger a los trabajadores carcinógenos.</p> <p>*** Factor de protección asignado (APF) multiplicado por el REL de NIOSH. El APF es el nivel mínimo previsto de protección proporcionado por cada tipo de máscara respiratoria.</p> <p>**** Máscaras respiratorias que proporcionan la mayor protección.</p>	

3.10 EDUCACIÓN Y PARTICIPACIÓN

Con la asesoría de la ARP se realizarán actividades educativas sobre los riesgos que ocasionan la materia a la cual se encuentran expuestos los trabajadores, el manejo seguro, las medidas de prevención y control, los sistemas de almacenamiento y se dará a conocer la ficha toxicológica de la sílice cristalina. Se explicará que los efectos de la exposición a este tipo de material se ven agravados por el consumo de cigarrillo, por lo tanto se deben implementar programas para reducir el hábito de fumar. Cada trabajador expuesto debe vincularse a los programas de capacitación desde el momento de ingreso a la empresa, mediante la inducción específica sobre los factores de riesgo exigentes, normas de seguridad y responsabilidades.

Para realizar las actividades de promoción y capacitación se realiza un diagnóstico previo de las necesidades de la empresa. En el diseño y ejecución de los programas de educación se debe buscar la participación del empleador y de los trabajadores. Se usan metodologías participativas y talleres en donde promueva la identificación del riesgo por parte de los trabajadores y el empleador. Se revisará el grado de comprensión y el dominio de los temas, mediante la aplicación de evaluaciones periódicas o al finalizar cada taller. De acuerdo con los resultados

se implementaran refuerzos con carteles películas folletos o la repetición de la charla. Otras actividades incluyen la divulgación de normas seguras de trabajo, acordes con el proceso productivo y la realización de inspecciones planeadas.

3.11 GESTIÓN ADMINISTRATIVA

Dentro de las políticas de la empresa deben formarse de inmediato a la ARP, toda alteración de la salud asociada con la contaminación ambiental para que en conjunto inicien la investigación correspondiente. Cualquiera alteración se reportará al encargado de la salud ocupacional, al comité paritario, al medico de salud ocupacional y a la ARP, además se comunicara al jefe inmediato para iniciar una investigación, corregir las situaciones de riesgo y evitar casos nuevos. Se debe llevar registro de todas las actividades de salud ocupacional de las inspecciones planeadas, programadas o no y las listas de chequeo utilizadas.

El trabajador afectado se remitirá a la EPS correspondiente par que esta inicie la investigación y los estudios patológicos requeridos que lleven a determinar la profesionalidad de la alteración de la salud e iniciar el tratamiento necesario. Dada la gravedad de la consecuencia ocasionada por la exposición al contaminante, el paciente debe ser remitido con toda la información que se tenga. En caso de confirmar las sospechas de enfermedad profesional se reportará a la ARP en

forma inmediata. Los encargados de salud ocupacional deben iniciar una investigación exhaustiva para identificar las posibles prácticas inseguras, fallas en los sistemas de control y la posible exposición del trabajo fuera de la empresa.

Un solo caso que se presente de enfermedad profesional, se tomará como centinela y debe movilizar a todos los niveles de la empresa incluyendo los directivos para realizar la investigación: También se evaluará el sistema de vigilancia para realizar los ajustes, el estudio de nuevos correctivos y medidas de control que eviten la repetición del suceso.

CONCLUSIONES

Después de realizar los estudios pertinentes y conocer más a fondo las características que se presentan cuando se realiza un proceso de limpieza con sopleo de abrasivo húmedo, se puede decir que este tipo de procesos se pueden dividir en dos grandes grupos los que utilizan abrasivos y los que no. Entre los procesos que utilizan abrasivos para la preparación de las superficies se puede hacer otra división los que utilizan como fuente de energía el aire comprimido y los que utilizan como fuente de energía el agua a alta presión. Ahora bien los procesos de limpieza de superficies metálicas que no utilizan abrasivos no se trataron a fondo en nuestro estudio. Entre los procesos de limpieza con sopleo de abrasivo húmedo, se tiene:

- Limpieza con sopleo de abrasivo con inyección de agua al chorro arena/aire (WetBlasting); de este proceso se puede decir existen diferentes formas de lograr la inyección del agua al chorro de arena/aire y que cada una de estas formas da características específicas al proceso. Además se sabe ya que este proceso en comparación con los otros procesos de limpieza con sopleo de abrasivo húmedo es el que da la mayor tasa de limpieza, pero a su vez es el que tiene un menor grado de control con respecto a la cantidad de polvo generado. Las superficies terminadas que se pueden lograr con la

- utilización de este proceso son cercanas al metal blanco y solo en pocas partes de difícil acceso no se puede alcanzar (lugares como esquinas y ángulos).
- Otra alternativa en los procesos de limpieza con soplo de abrasivo húmedo es el slurry blasting, cuya principal diferenciación radica en la forma por medio de la cual se logra el mezclado del agua/arena/aire. Principalmente existen dos formas de lograr el mezclado de estos materiales: teniendo una tolva presurizada donde se encuentren mezclados todos los materiales y la cual se encuentra conectada al compresor y la otra forma la cual utiliza dos tolvas una conectada al compresor de aire para la arena y otra donde se mezclan agua/inhibidor que se encuentra conectada a una bomba. Ahora bien la principal dificultad para aplicar este tipo de procesos radica en lo especializado de sus equipos los cuales además no brindan la suficiente confiabilidad al proceso, debido al gran riesgo de que se obstruyan las mangueras, válvulas y boquillas. Este riesgo se presenta debido a que la consistencia que alcanza la mezcla es muy pastosa y difícilmente fluye lo cual incrementa el riesgo de obstrucción de equipos. Este proceso es el que brinda un mayor grado de control a la cantidad de polvos que se generan y por ende es el que ofrece una mayor visibilidad. Los equipos necesarios para realizar este proceso son costosos, y las tasas de limpieza que se obtienen son un poco menores a las logradas con los procesos de WetBlasting.

- De los procesos de limpieza con soplo de abrasivo húmedo en donde la fuerza que suministra la energía viene del agua, y en donde el material que se adiciona al chorro no es el agua sino el abrasivo se puede decir que existen tres variaciones para realizar el proceso: a baja presión, alta presión y ultra alta presión. La adición de abrasivo a estos procesos se hizo para lograr un perfil de anclaje en la superficie que se estaba limpiando, pero la principal dificultad que se encontró en este tipo de procesos radica en la imposibilidad o gran dificultad que genera en adición del abrasivo cuando se utilizan presiones altas. A medida que se incrementa la presión se aumenta la rata de limpieza y se aumenta la posibilidad de lograr un perfil de anclaje pero, hay que considerar que para altas presiones la fuerza de repulsión que se genera es muy grande y la dificultad para controlar el chorro es mayor, esto genera un mayor gasto físico en los operarios y disminuye la productividad de estos. Una forma de solucionar este problema es con la utilización de métodos automáticos y semiautomáticos con la desventaja del incremento en los costos de los equipos. Por todas estas dificultades este tipo de procesos se ha limitado a las presiones bajas que son los que dan menor calidad en la superficie finalizada, ya que logran un perfil de anclaje pequeño y en algunas ocasiones no lo alcanzan y además son de bajos rendimientos.

Hay que decir que la mayoría de las personas o entidades vinculadas con la preparación de superficies (contratistas, contratantes y fabricantes) se mostraban reacias a la utilización de procesos que utilizan el soplo de abrasivo húmedo,

debido a que no se creía posible la neutralización o pasivación de los efectos del oxido instantáneo con la utilización de inhibidores de corrosión y además no se tenía pleno conocimiento de la compatibilidad de las pinturas con estos materiales, en algunos trabajos el representante de las pinturas no garantizaba la efectividad de la pintura para lograr la protección de la superficie. Estas son dificultades que se han ido superando y en estos momentos los procesos de limpieza con sopleo de abrasivo húmedo ofrecen una buena confiabilidad, lo cual ha tenido repercusión con el aumento en la demanda de este tipo de procesos. Entre las áreas en donde se ha cobrado gran demanda la utilización de procesos de limpieza de superficies con sopleo de abrasivo húmedo, están las industrias alimenticias en donde no se desea la contaminación de los productos con los residuos de abrasivos que puedan quedar en los equipos, la limpieza de superficies en donde se encuentre limitada la circulación de aire (tanques), la limpieza de superficies en donde exista la presencia de gases inflamables y que no se admita la generación de chispas y la limpieza de superficies que se encuentren adyacentes a otras construcciones o lugares donde se encuentren presentes personas, entre otras.

En cuanto al diseño del dispositivo, no fueron necesarios la realización de muchos cálculos debido a que en documentos y normas que se compraron a la SSPC. Se dan una serie de parámetros que guiaron y limitaron el diseño de este. Por ejemplo se conoce que los ángulos óptimos que se deben usar para el suministro de agua al chorro de arena/aire debe estar entre 15 y 30 grados, debido a que en este rango se puede lograr un buen porcentaje de arena húmeda y a su vez, estos son los ángulos que brindan un menor grado de interferencia a la capacidad

erosiva del chorro. Además que el rango de presiones recomendadas para la utilización del proceso en donde el suministro de agua se hace mediante un anillo que se acopla al final de la boquilla y que permite la formación de un cono a la salida de la boquilla de sandblasting, debe estar entre 0.2 y 1 MPa. Para garantizar la mayor cantidad de arena húmeda posible y así el mayor control en la generación de polvo.

Debemos tener pleno conocimiento de que el sistema de limpieza de superficies metálicas que presenta las más altas tasas de limpieza, mayor productividad y que a la vez tiene los costos más bajos es el proceso de limpieza con soplo arena/aire sin la adición de agua, por tal razón en trabajos que se realicen en zonas donde no exista el riesgo de exposición de otras personas diferentes a las involucradas en el proceso de limpieza se debe realizar este tipo de proceso.

Otra de las conclusiones que se puede sacar y tal vez la más importante después de la realización de este trabajo esta relacionada con la salud y seguridad de los trabajadores. Para ninguna persona que trabaje en una ambiente en donde se utilice el soplo de arena y se incurra en la exposición al polvo de sílice respirable se debe obviar los parámetros de seguridad y protección respiratoria necesarios para trabajar en estas áreas. Así que este trabajo deja constancia de la peligrosidad de trabajar en ambientes en donde las concentraciones de polvo de sílice cristalina supere los límites permisibles anteriormente establecidos por la OSHA y que el gobierno Colombiano a ratificado (0.1 mg/m^3). Se puede concluir también que la mayoría de los operarios que realizan limpieza de superficies

metálicas no tienen pleno conocimiento de las normas y practicas de seguridad que deben seguir por tal razon, frecuentemente violan las practicas adecuadas de seguridad. Se deja también constancia de la necesidad y responsabilidad que tienen tanto las entidades encargadas de la evaluación de los riesgos profesionales (ARP) como los patronos para emprender campañas y gestiones administrativas que vayan dirigidas a los trabajadores con el fin de concientizarlos de los riesgos a los que se encuentran expuestos y los cuidados que deben tener cuando se encuentren realizando este tipo de trabajos de limpieza de superficies metálicas.

Se puede además calcular de una forma teórica y bastante aproximada la forma como varía la concentración de polvo de sílice cuando se esta realizando un proceso de limpieza con soplo de abrasivo seco en un área abierta. Lo cual da herramientas para determinar las área de mayor peligro y la selección de los protectores respiratorios adecuados. Se debe conocer también la presencia del riesgo potencial de inhalación de polvo cuando se realiza el proceso de limpieza con soplo de abrasivo húmedo y los cuidados que se deben tener, que a pesar de ser menores no se pueden ignorar.

BIBLIOGRAFÍA

- a. BERNARD Appleman y JOSEPH Bruno. Evaluation of the effectiveness of wet blast cleaning on surface preparation. Pittsburgh: SSPC, 1985, seccion 2,5.
- b. Join technical report: Wet abrasive blast cleaning [on line]. SSPC-TR 2/NACE 6G198. Pittsburg 1998. disponible en Internet: www.sspc.org.
- c. BRANTLEY Charles and REIST parker. Abrasive blasting with quartz sand: factors affecting the potential for incidental exposure to respirable silica. New Carolina: U.S. coast guard, eighth coast guard district, 501 magazine. 1994. p 946-952.
- d. MARTÍ J. A. y DESOILLE H. Medicina de trabajo. 2 ed. Barcelona. Masson. 1993. p 438-445.
- e. Cómo prevenir la silicosis y los accidentes mortales durante el uso de máquinas a presión. [on line]. NIOSH No. 92-102. 1992. " actualizado el 11 de Feb. De 1997". Disponible en Internet en: www.cdc.gov/spanish/niosh/index.html.
- f. Neumoconiosis en Colombia, situación en Antioquia. Presentación de 189 casos. [on line]. Carlos Orduz García. Disponible en Internet en: www.encolombia.com/medicina/neumología/rev-neum13n3-contenido.htm.
- g. La Prevención de Silicosis. [on line]. Elaborado por el departamento de trabajo de los EE.UU. 1996. Disponible en Internet en: www.cdc.gov/spanish/niosh/index.html.

Anexo A. Regulaciones para la limpieza con soplo de abrasivos

REGULATIONS AFFECTING ABRASIVE BLASTING

<u>Regulated Item</u>	<u>Regulatory Agency</u>	<u>Summary of Regulation</u>
Silica (respirable) ^a (8 hour average)	OSHA	Maximum of 10 / (% SiO ₂ + 2) mg/m ³
Silica (total dust) ^a (8 hour average)	OSHA	Maximum of 30 / (% SiO ₂ + 2) mg/m ³
Inert Dust (respirable) ^a (8 hour average)	OSHA	Maximum of 5 mg/m ³
Inert Dust (total dust) ^a (8 hour average)	OSHA	Maximum of 15 mg/m ³
Particulate Matter ^b (24 hour average)	EPA	Maximum of 260 microgram/m ³
Visible Emissions ^c	State & Local	Example: (PA) Maximum of 20% opacity reduction for 3 minutes an hour
"Nuisance" ^c	State & Local	Example: (VT) "not discharge...air contaminants which will cause... detrimental nuisance or annoyance
Fugitive Dust ^d	State & Local	Example: (CA) Maximum of 100 ug/m ³ excess of upwind over downwind

a - Code of Federal Regulations (CFR): 29 CFR 1910

b - 40 CFR 50:6.7

c - Bibliography: Reference 10

d - Bibliography: Reference 12

Anexo B. Ratas de limpieza típicas obtenidas con sandblasting

TYPICAL CLEANING RATES FOR DRY SAND BLASTING^a (Sq. Ft./Hour)

Final Surface	Nozzle Diameter (Inches)	Initial Surface Condition ^b		
		Adherent Mill Scale (Rustgrade A)	Rusting Mill Scale (Rustgrade B)	Pitted Rusted (Rustgrade D)
Near White (SSPC-SP 10)	1/4	95	110	65
	3/8	210	240	150
Commercial (SSPC-SP 6)	1/4	110	130	80
	3/8	250	290	180
Brush Off (SSPC-SP 7)	1/4	300	340	210
	3/8	670	770	480

a - Data derived from Industrial Maintenance Painting, 3rd Edition, P.E. Weaver, 1967, published by National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas.

b - Guide to Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces (SSPC-Vis 1), from Steel Structures Painting Manual, Volume 2: "Systems and Specifications," 4th Edition, J.D. Keane, J.A. Bruno, Jr., and A.M. Levy, 1985, published by Steel Structures Painting Council, Pittsburgh, Pennsylvania.

Anexo C. Comparación entre diferentes tipos de equipos para la preparación de superficies

FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION TEST RESULTS

	High Pressure ^a Water Blast	Air Sand ^b Wet Blast	Dry Sand Blast
Air Pressure (psi)	-----	80-90	80-90
Nozzle Dia. (inch)	-----	3/8	3/8
Water Pressure (psi)	2500	-----	-----
Flow Rate (gpm)	4 ^c	0.16 ^{c,d}	-----
<u>SUBSTRATE</u>			
<u>OIL-BASED PAINT, 10-15% RUSTED</u>			
Final Condition	SSPC-SP 7	SSPC-SP 7	SSPC-SP 7
Cleaning Rate (sq. ft./hr)	85	380	450
Sand Consumption (lbs./sq. ft.)	0	2	1.7
Est. Cost/sq. ft.	\$0.46	\$0.13	\$0.11
Final Condition	-----	SSPC-SP 6	SSPC-SP 6
Cleaning Rate (sq. ft./hr.)	-----	180	210
Sand Consumption (lbs./sq. ft.)	-----	4.3	3.7
Est. Cost/sq. ft. ^e	-----	\$0.28	\$0.23
Final Condition	-----	SSPC-SP 10	SSPC-SP 10
Cleaning Rate (sq. ft./hr.)	-----	90	120
Sand Consumption (lbs./sq/ ft.)	-----	8.8	6.4
Est. Cost/sq. ft. ^e	-----	\$0.56	\$0.40

NOTES:

- a - Simpson Water Blast Unit PG4-1500 with Graco "King" hydraulic pump
- b - Water was sprayed into dry blast beyond the nozzle
- c - Inhibitor used was 0.3 NaNO₂, 13% (NH₄)₂HPO₄
- d - At flow rates of 0.25 gpm, sand caked up on beam
- e - Cost includes equipment rental, labor, fuel, inhibitor, abrasive, and water
- f - Air particulate matter samples obtained 25 yards downwind from operations were as follows:
 - * dry blast: 525 to 800 micrograms/m³ averaged over 24 hours
 - * wet blast: 146 to 322 micrograms/m³ averaged over 24 hours

Anexo D. Dimensiones del dispositivo

