

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA ESTACIÓN DE LIMPIEZA MECÁNICA MEDIANTE EL PROCESO DE SANDBLASTING UTILIZANDO GRANALLA MINERAL EN CICLO CONTINUO PARA UNA UNIDAD DE MANTENIMIENTO Y TRANSPORTE

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE OF A MECHANICAL CLEANING STATION THROUGH THE PROCESS OF MINERAL SANDBLASTING SHOT USING CONTINUOUS CYCLE UNIT FORM A INTENANCE AND TRANSPORT

Torres Santiago¹

¹Carrera de Ingeniería Mecánica, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército, Campus Sangolquí, Sangolquí, Av. Gral. Rumuñahui S/N
e-mail: santiago.torresj1@gmail.com

RESUMEN

El presente proyecto, tiene como fin presentar una alternativa económica pero a la vez eficaz, frente a los ya conocidos equipos de limpieza mediante sandblasting, que se pueden encontrar en el mercado local, estos son equipos de succión y de presión. Siendo los equipos de presión los que presentan mejores resultados en trabajos sobre superficies metálicas aunque a un costo considerablemente alto.

Este proyecto incorpora dos condiciones de aplicación para granalla mineral, abrasivo seleccionado por su alta eficiencia, bajo costo y bajo riesgo para el operador; y son: una cabina de aplicación sandblast a piezas pequeñas, mediante proyección de partículas abrasivas lanzadas por fuerza centrífuga utilizando una turbina de abrasivos, junto a una pistola de aplicación externa, la cual trabaja mediante succión por efecto venturi, para aplicaciones especialmente de limpieza de nivel comercial según la Norma SSPC6, útil en mantenimiento de nivel 5 (overhaul) de vehículos motorizados, incluye cabinas, tolvas de volquetas, etc.

De este equipo sandblast se realizó la construcción de un prototipo operativo experimental de primera validación, que simula el funcionamiento real.

En conjunto con este equipo sandblast, se presenta el diseño de un sistema de extracción de polvo para partículas de hasta 15 μm , para la extracción de partículas generadas por las superficies tratadas. También se agrega el diseño de un sistema de reutilización de

abrasivo, en vista del costo de la granalla mineral, y su posible reemplazo.

Se llega a la conclusión de que la estación de limpieza es rentable según la relación costo beneficio, por lo cual de ser implementada es altamente competitiva, obteniendo beneficios en el tercer año de operación.

PALABRAS CLAVE

Estación de limpieza, Equipo sandblasting, Granalla mineral, Ciclo continuo, Norma SSPC SP6

ABSTRACT

This project aims to provide an economical alternative yet effective, compared to known cleaning equipment by sandblasting, which can be found in the local market, these are teams suction and pressure. As pressure equipment presenting the best results in workon metal surfaces but at a considerably higher cost.

This project incorporates two conditions apply to mineral grit , abrasive selected for its high efficiency, low cost and low risk to the operator , and are implementing a cabin sandblast small parts , by projecting abrasive particles thrown by centrifugal force using a turbine abrasive gun with external application , which works by suction by venturi effect for cleaning applications especially commercial level according to Standard SSPC6 useful in maintaining level 5 (overhaul) of motorized vehicles, including cabs , hoppers dump trucks, etc. .

This equipment sandblast was building a working prototype first experimental validation, which simulates actual operation.

In conjunction with this equipment sandblast, presents the design of a dust extraction system for particles up to 15 microns, for the removal of particles generated by the treated surfaces. Also added a system design reuse abrasive, given the cost of mineral grit, and possible reemployment.

It concludes that the cleaning station is profitable as the cost benefit, which if implemented is

highly competitive, making profits in the third year of operation.

KEYWORDS

Cleaning station, Team sandblasting, Mineral shot, Continuous cycle, Standard SSPC SP6

1. INTRODUCCIÓN

Una Unidad de Mantenimiento y Transporte, se dedica al mantenimiento preventivo y correctivo hasta de cuarto nivel, de toda la maquinaria utilizada en la construcción de obras civiles. Esta maquinaria, abarca equipo pesado, equipo a rueda y equipo complementario; de manera general se puede hablar de volquetas, cabezales, excavadoras, cargadoras, rodillos, tractores, motoniveladoras, pavimentadoras, etc., mismos que de acuerdo a los planes de mantenimiento establecidos por los fabricantes y dependiendo del grado, ingresan a una unidad para el correspondiente mantenimiento, cumpliéndose con las más altas normas de calidad.

Como parte esencial del proceso de mantenimiento se debe hacer la remoción y posterior aplicación de nueva pintura en todas las superficies metálicas externas de cada una de las maquinarias. Con el fin de optimizar el proceso de mantenimiento en la superficie de las carrocerías y evitar la limpieza manual, proceso inadecuado y que además representa pérdidas en tiempos de reparación.

El presente proyecto de grado se presenta como una alternativa viable y de bajo costo dentro del proceso de mantenimiento. Con ello se espera no solo optimizar el proceso de la preparación superficial sino tiempo y costo utilizados.

La estación de limpieza a ser diseñada contempla el uso de granalla mineral de escoria de cobre, un abrasivo que puede ser proyectado en la superficie metálica que se desee preparar, para el mantenimiento, de una manera adecuada, eliminando óxidos y restos de pintura. Además de no afectar al operador, tomando las medidas de seguridad apropiadas. Para el diseño de esta estación de limpieza, se pretende aprovechar la energía de impulsión de un compresor de 3hp y la energía cinética;

misma que será generada por una turbina de granallado, que es el principal elemento de proyección del abrasivo. Además de este elemento la estación estará conformada por dos tolvas, una de alimentación y otra de descarga unida a dos distribuidores de apertura manual, de los cuales uno dará paso a la turbina, y el otro dará paso a la conexión de la manguera de aplicación externa; debido a que la tolva de descarga debe estar a mayor altura, para cumplir este propósito, el diseño contempla el uso de un elevador de cangilones, que será justificado en su momento.

Debido a que el equipo a ser diseñado, genera polución procedente de la superficie tratada, se presenta el diseño de un Sistema de Extracción de Polvo, con el fin de no solo disminuir los riesgos en el operador sino también de mantener un ambiente limpio de trabajo del equipo sandblasting.

En vista del abrasivo a ser utilizado y el costo que tiene frente a la arena usualmente utilizada en el proceso, este debe ser reutilizado, pero teniendo en cuenta el tipo de aplicación, no se puede realizar un circuito cerrado de recirculación para el abrasivo, pues este elevaría considerablemente el costo de fabricación del mismo. Es por ello que se va a diseñar, como elemento anexo, un dispositivo vibratorio de separación con una red de tamices que servirán para aprovechar al máximo el abrasivo a ser utilizado y justificar así su costo. Sin tener en cuenta los beneficios para el operador, y la empresa.

2. MARCO TEÓRICO

SANDBLAST

La palabra en inglés proviene del vocablo Sand: arena, Blast: presión (arena a presión), sin embargo este sistema no emplea necesariamente arena para su funcionamiento, por lo que se definirá como un sistema de sopleteo con chorro de abrasivos a presión.

Este sistema consiste en la limpieza de una superficie por la acción de un abrasivo granulado expulsado por aire comprimido a través de una boquilla. La limpieza con sandblast es ampliamente usada para remover óxido, escama de laminación y preparación de superficies para la aplicación de un recubrimiento.



Figura 1 - Aplicación de sandblasting

Principios del Proceso

La limpieza de superficies a través de un chorro de abrasivo puede considerarse como una verdadera operación de "bombardeo", en la que un sinnúmero de partículas abrasivas son lanzadas a alta velocidad contra el objetivo. Inmediatamente antes del choque, las partículas están dotadas de energía cinética, que varía según su cantidad y dimensiones; con una velocidad constante, a menor radio, mayor es la cantidad de partículas lanzadas y es menor su energía cinética.

Las partículas sufren una violenta desaceleración en el instante del impacto, transformando parte de la energía cinética en calor, parte en energía de deformación o de fractura y parte en trabajo de limpieza, restando también una parte de energía cinética que no es transformada (partículas que rebotan).

La eficiencia de la conversión de energía cinética en trabajo efectivo de limpieza depende de factores relacionados con el ángulo de incidencia del chorro, las características del abrasivo utilizado y al tipo de impureza a retirar. Por ejemplo, cuanto más perpendicular sea el chorro con relación a la superficie de trabajo,

será mayor el componente de energía disponible para el rompimiento de impurezas sueltas y así el acabado superficial será más áspero.

Inmediatamente antes de chocar contra el objetivo, las partículas están dotadas de energía cinética, que es directamente proporcional a la masa de la partícula y al cuadrado de la velocidad, conforme la ecuación:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Ecuación 1

Donde:

E_c = energía cinética

m = masa de la partícula

v = velocidad de la partícula

La masa de una partícula esférica es dada por la relación:

$$m = \frac{\rho \cdot (4 \cdot \pi \cdot r^3)}{3}$$

Ecuación 2

Donde:

r = radio de la partícula

ρ = densidad del material

Por lo tanto, la energía cinética de una partícula esférica es dada por la relación:

$$E_c = \rho \cdot \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \pi \cdot r^3 \cdot v^2$$

Ecuación 3

Las ecuaciones arriba indican que pueden ocurrir variaciones significativas de la energía cinética del chorro con pequeñas variaciones en las cantidades y dimensiones de las partículas. De hecho, considerándose que la velocidad de las partículas, independiente de sus tamaños, se mantiene fija, se observa, a través de la relación arriba, que la disminución del radio de una partícula para la mitad de su valor inicial corresponde a una disminución de 8 veces su energía cinética.

Granalla Mineral de Escoria de Cobre

Este abrasivo también conocido como "abrasivo negro" o "**abrasivo ecológico**" se obtiene principalmente de la fundición de metal (cobre y níquel).

La escoria cumple con las normas internacionales, pues está muy por debajo de los parámetros permitidos para metales pesados.

Una vez usada, puede ser llevada a relleno sanitario, mezclarse con asfalto, agregársele cemento refractario y parchar hornos de cal o cemento entre otros

Tabla 1.2 - Características químicas de la granalla mineral

Nombre	Símbolo Q.	Porcentaje
Hierro	Fe	33,6%
Calcio	Ca	12,7%
Aluminio	Al	6,87%
Sodio	Na	2,6%
Cobre	Cu	2,1%
Potasio	K	1,3%
Magnesio	Mg	1,18%
Manganeso	Mn	1,1%
Zinc	Zn	0,48%

Tabla 1.4 - Características técnicas de la granalla mineral

Descripción	Valor
Abrasivo	Granalla de Escoria de Cobre
Color	Gris oscuro
Olor	No tiene
Densidad aparente (grs/cm ³)	1.535
Densidad específica (kg/m ³)	3300 - 3900
Dureza (escala Mohs)	7
Sílice libre	Menor al 0.1%
PH	6,5
Factor de uso (veces)	2 - 3
Humedad	0,3%

Las normas de mayor utilización en toda América Latina son las siguientes:

Tabla 1.5- Normas para sandblasting usadas en América Latina

Normas SSPC	Normas SIS
Steel Structures Painting Council	Swedish Standards Institution
Pittsburgh USA	Stockholm Suecia

CICLONES

Es un equipo recolector y separador de polvo que. Los ciclones remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga.

Tabla 1.6- Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 – 90	30 – 90	0 – 40
Alta eficiencia	80 – 99	60 – 95	20 – 70
Alta capacidad	80 – 99	10 – 40	0 – 10

Una caída de presión máxima permisible correspondiente a una velocidad de entrada al ciclón dentro del intervalo de 15.2 a 27.4 m/s. Por consiguiente, los ciclones se suelen diseñar para una velocidad de entrada de 22 m/s, aunque no es necesario apegarse estrictamente a este valor.

3. DISEÑO DE LA ESTACION DE LIMPIEZA

La estación de limpieza contempla tres sistemas que serán independientes, son: el Equipo Sandblasting, el Sistema de Extracción de Polvo y el Sistema de Reutilización de Abrasivo, siendo el principal el equipo.

El equipo sandblasting será el encargado de realizar la limpieza y preparación superficial, disminuyendo los riesgos para el operador, siempre que este se encuentre con el equipo de seguridad. El sistema de Extracción de Polvo sirve para disminuir aún más los riesgos al operador y mantener un ambiente de trabajo limpio, específicamente en lo referente a lo visual.

El Sistema de Reutilización de Abrasivo, sirve para poder separar la granalla todavía útil de contaminantes producto de la aplicación del sistema principal, y de restos de granalla que ya se han fragmentado y ya no son de utilidad para el proceso.

El propósito del presente proyecto, equipo sandblasting es realizar el diseño de una

estación que funcione en ciclo continuo, para lo cual se requiere del uso de dos tolvas, la primera será la tolva de alimentación, y la segunda será la tolva de descarga, la cual debe estar elevada del suelo en aproximadamente 3 metros, altura necesaria para alimentar la turbina (elemento dotador de fuerza centrífuga para las granallas), que trabajará en la cabina, además en este mismo punto se podrá acoplar la manguera de aplicación externa y que trabajará en conjunto con aire comprimido.

DISEÑO DEL SISTEMA DE CICLO CONTINUO

El diseño del sistema de ciclo continuo se lo hace, por medio de un elevador de cangilones. Diseño que se hace en base a los requerimientos de flujo de material que se necesita en la turbina y la alimentación de material necesaria para la segunda tolva.

La turbina maneja un caudal de 20 kilos por minuto (20 kilos/min), caudal suficiente para realizar un trabajo de limpieza según la normativa SSP6 a metal comercial, con granalla mineral. El otro factor importante es la altura de descarga de la granalla de la segunda tolva, la cual se fija en 2.5 m; respecto a esto, la distancia entre el tambor motriz y el tambor de pie, debe ser todavía un poco más grande para que pueda ocurrir la descarga, por lo cual se fija también en 3.0 m.

Para este tipo de maquinaria, y con el volumen a usar, es recomendable el empleo de bandas de la serie CORREAS ELEVADORAS EP 630/3, fabricadas por The Goodyear Tire And Rubber Company, basados en las normas RMA (PLYLON®) DIN 21102 e ISO R-283 (PLYLON® EP). Esta banda soporta un máximo de tensión de 240 lbf/plg y está constituida por 3 telas, una lona superior, otra inferior y una intermedia, todas con espesor de 3/16" y el resto es una capa de material denominado Pylon que es una goma que le da la flexibilidad a la banda, además esta banda es de alta resistencia a materiales abrasivos.

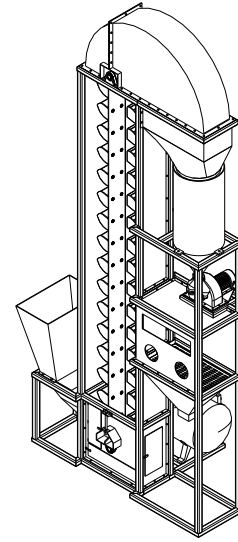
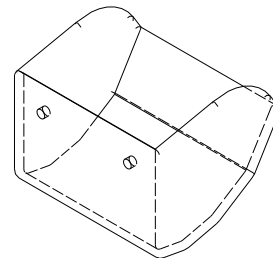


Figura 2 – Descripción del equipo sandblasting

Partes que conforman el equipo sandblasting

- Cangilones
- Banda
- Polea motriz
- Polea conducida
- Flecha motriz
- Flecha conducida
- Tolva de alimentación
- Tolva de descarga
- Turbina de proyección
- Motorreductor
- Compuerta de paso en tolva de alimentación
- Sensores de nivel
- Estructura de soporte

Cangilón.- Siendo una de las decisiones de diseño el tipo de cangilón a emplear, en la figura 3, se presenta una descripción de cangilón de polipropileno CCHD idóneo para el transporte de material abrasivo.



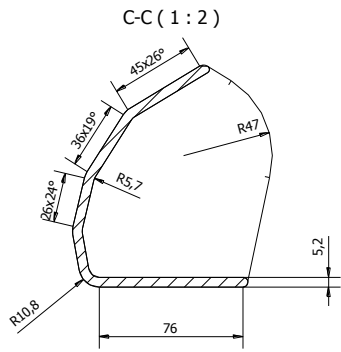
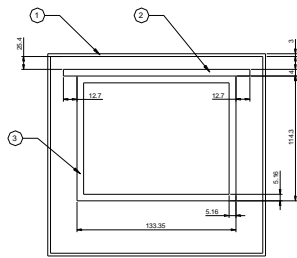


Figura 3 – Cangilón CCHD 5x4

Además se muestra un detalle del montaje ideal a fin de evitar roturas en la banda y evitar tensiones innecesarias en la banda, poleas y pernos de sujeción.



ELEMENTOS	
1	Carcasa de protección del elevador
2	Banda
3	Cangilón

Poleas.- con el fin de optimizar el flujo de material y evitar desgastes prematuros, pero buscando una óptima alimentación de material abrasivo a la tolva de descarga; la polea motriz es sólida con su zona de contacto vulcanizada para garantizar el movimiento de la banda sobre esta.

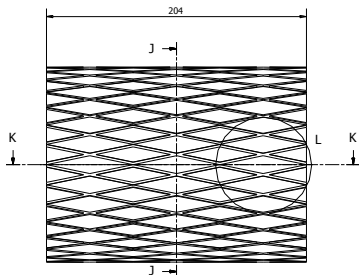


Figura 4 – Esquema polea motriz

La segunda polea o motriz, es una tipo jaula de ardilla, con el fin de buscar el proceso de autolimpieza, para que los restos de material abrasivo que cayesen hacia adentro de la banda, no dañen esta.

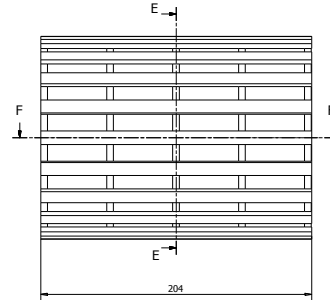
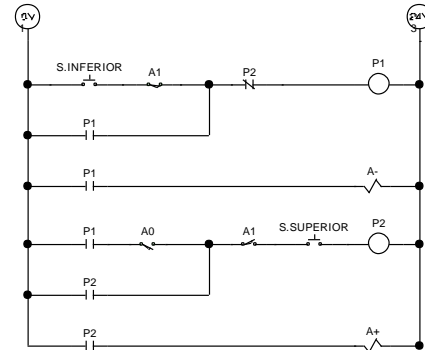


Figura 5 – Esquema polea conducida

Para evitar desperdicio de material abrasivo en la salida de la tolva de alimentación y poder tener un sistema semiautomático se diseña una compuerta que está en funcionamiento con sensores colocados dentro de la tolva de descarga y con el motorreductor. Para poder controlar toda esta operación a continuación se detalla el diagrama de control de esta compuerta.



La compuerta funciona con un actuador lineal neumático y una electroválvula 5/2

Así como la compuerta es analizada a flexión debido a la carga transversal que debe soportar

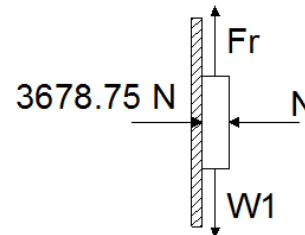


Figura 6 - Diagrama de cuerpo libre de la placa de paso en la tolva de alimentación

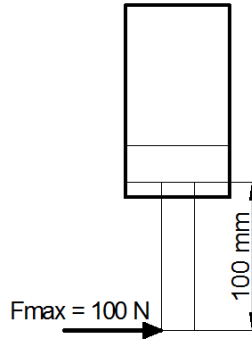


Figura 7 - Ilustración de carga transversal en vástago del actuador lineal

La fuerza máxima transversal de 100N es lo que pueden soportar como máximo el actuador lineal al analizar la siguiente gráfica

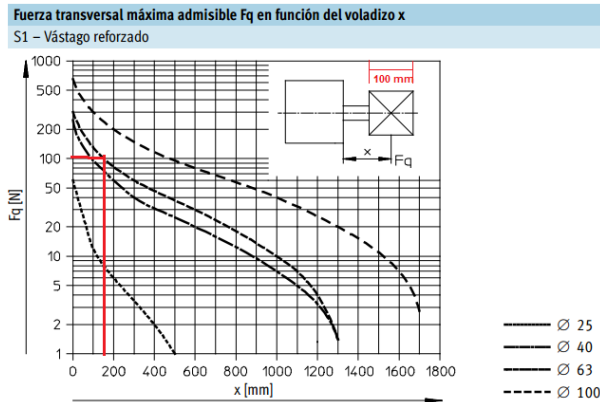


Figura 8 - Diagrama de fuerza transversal admisible en cilindro FESTO – ADN ISO 21287

DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCION DE POLVO

Con el fin de extraer el polvo y partículas contaminantes que quedan esparcidas en el aire, producto de la aplicación de la granalla mineral de escoria de cobre sobre las superficies a ser preparadas, se realiza el diseño de un sistema de extracción de polvo, para minimizar los riesgos al operador y mejorar el ambiente de trabajo.

Partes que conforman el sistema de extracción de polvo

Este sistema está conformado por una campana de extracción, un ducto de conducción del aire

contaminado, un ciclón, y un ventilador. También se considera la estructura de soporte de todos los elementos.

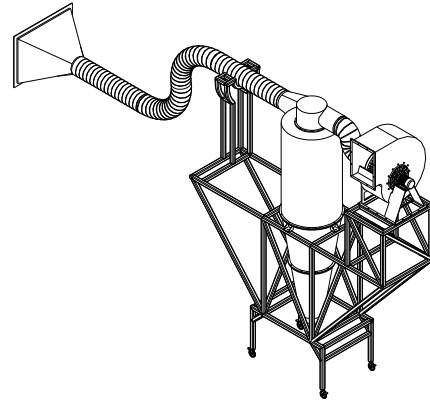


Figura 9 – Descripción del sistema de extracción de polvo

De este sistema los elementos de mayor importancia para el correcto funcionamiento del Sistema de Extracción son el ciclón, que es propiamente el separador de aire contaminado y polvo; y el ventilador generador del aire necesario de aspiración para extraer partículas de hasta 15 μm .

El ciclón seleccionado es del tipo Convencional capaz de remover partículas de hasta 5 μm , con una eficiencia del 75%, y partículas de hasta 20 μm con un 95% de eficiencia, ideal para este proceso.

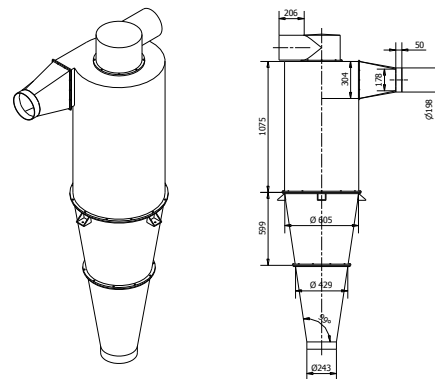


Figura 10 - Descripción del ciclón convencional

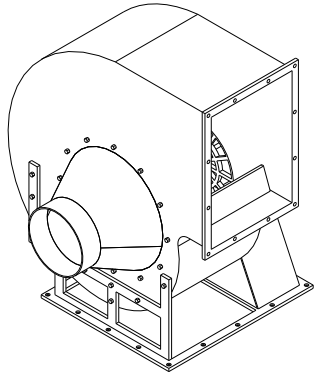


Figura 11 – Ventilador centrífugo de media presión

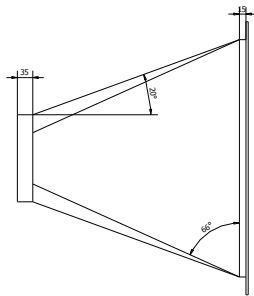
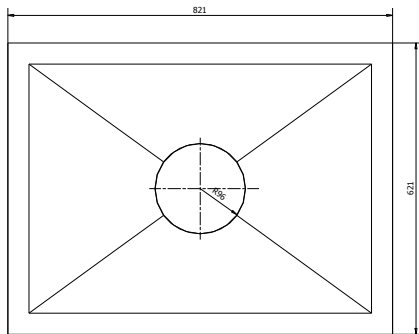


Figura 12 – Campana de extracción con brida de canto

DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE ABRASIVO

Luego de llevarse a cabo la aplicación del proceso de sandblasting, los restos del material abrasivo quedarán esparcidos por el lugar de trabajo y sus lugares aledaños, y debido a su costo el cual es más alto que la arena debe ser reusado apropiadamente.

Es por este motivo que se diseña una leva, que trabajará con un seguidor que estará acoplado a

una red de tamices y que sirve para separar la granalla todavía útil de las impurezas, a través de vibraciones.

Partes que conforman el Sistema de Reutilización de Abrasivo

Con el fin de optimizar las vibraciones a un bajo costo se considera tres levas de diseño polinomial, una flecha de acople de las levas y transmisión de movimiento, dos poleas de ejes perpendiculares, tres tamices ASTM #16, #25, #45

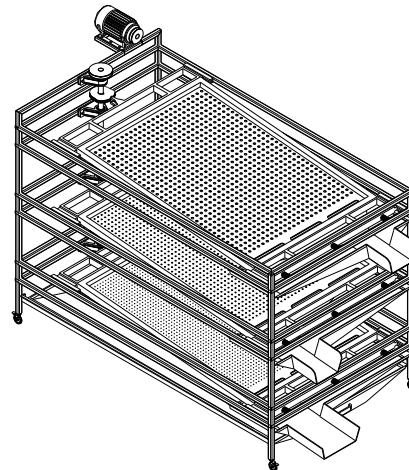


Figura 13 - Descripción del sistema de reutilización de abrasivo

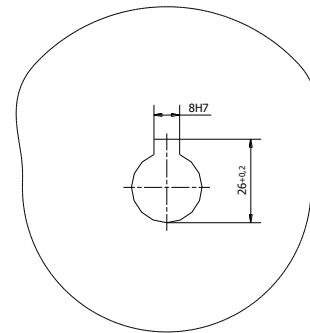


Figura 14 – Leva de diseño polinomial

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DEL EQUIPO SANDBLASTING

Se realiza la construcción de un prototipo del equipo sandblasting siendo de tipo experimental

operativo, horizontal, de primera validación. El prototipo debido a la condición operativa, se lo hace en una escala 1:2, según planos.

Otras consideraciones en la etapa de construcción y que no pueden llevar a escala son la velocidad de rotación de la banda elevadora de cangilones, que es 110 rpm, esta velocidad es la velocidad mínima de descarga por fuerza centrífuga, si la velocidad es inferior a esta el material simplemente no se depositaría en la tolva superior (de descarga), cayendo por el espacio libre entre el elevador de cangilones y la boca de la tolva.

La presión de salida de la pistola sandblast de aplicación externa determina el acabado superficial de las superficies, SSPC 6, que es brindada en conjunto con la boquilla de salida la cual para el abrasivo empleado debe ser la N°5.

Tabla 1.7 – Materiales utilizados en la construcción del prototipo

Material	Unidad	Cantidad
Acero AISI 1020 Ø3/4 in	metros	0,25
Acero AISI 1020 Ø3/4 in	metros	0,20
Tubo circular de Ø 4 in	metros	0,30
Angulo de 1/8 in	metros	2,00
Tool negro de 300 x 300 x 3 mm	metros	1,00
Tubo cuadrado 3/4 in	metros	24,00
Cangilones TAPCO 3x2 in	unidad	19,00
Pernos de 1/4 in con uña x 100	caja	1,00
Banda 1 lona, 4 in de ancho	metros	4,00
Granalla mineral grado 3	libras	100,00
Chumacera radial de 5/8 in	unidad	4,00
Motor trifásico de 1/3 HP	unidad	1,00



Figura 15 - Prototipo operativo-acople con manguera de aplicación



Figura 16 - Ajustes y Pruebas



Figura 17 - Descarga de material abrasivo por fuerza centrífuga



Figura 18 - Acople unión de extremos de la banda elevadora de cangilones

- Con el empleo de la estación de limpieza, se reduce a una tercera parte el tiempo empleado, en comparación con la aplicación de la limpieza manual.

CONCLUSIONES

- Se construyó un prototipo experimental de un equipo sandblasting, a una escala aproximada de 1:2 para validar los parámetros, características y especificaciones técnicas de diseño.
- El diseño realizado si bien es menos eficiente que un equipo a presión, la innovación propuesta con la inclusión de una turbina de proyección de granalla, permite acortar los tiempos de aplicaciones de mantenimiento, logrando incrementar la ventaja y eficiencia de un equipo de succión.
- El diseño de los sistemas de extracción de polvo y reutilización de abrasivo, son necesarios para alcanzar un nivel óptimo de la estación, pues sin estos no existiría un correcto uso del equipo sandblasting y se desperdiciaría el material abrasivo.
- Con el diseño de esta estación de limpieza se innovó en los procesos de limpieza mecánica, hasta ahora limitado con los equipos individuales, siendo su mayor desventaja el costo de adquisición.
- La relación costo/beneficio refleja que a un precio fijado de servicio de USD 5, a un promedio de 250 servicios al año, se recupera la inversión en un periodo de 3 años, teniendo una ganancia de 14 centavos por cada dólar invertido, siendo un proyecto viable.