

Diseño de Máquina Granalladora

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Autor: Reymer Pérez Hidalgo

HOLGUÍN 2021



Diseño de Máquina Granalladora

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN
AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Autor: Reymer Pérez Hidalgo

Tutores: Dr. C. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo

Dr. C. Ana María Quesada Estrada

HOLGUÍN 2021



RESUMEN

Las superficies de las piezas recién salidas de forja poseen un nivel de rugosidad muy elevado, por esto se recurre al método de granallado o el chorro de arena. Se ha comprobado que el granallado producirá mejores resultados que el chorro de arena, dotando así a la pieza de un correcto acabado. Para utilizar el método de granallado se requiere conocer el tipo de material, el tamaño y forma de las partes y la condición de la superficie a limpiar, más la especificación que define la terminación superficial, ya que las mismas tienen influencia directa sobre la selección del sistema de granallado, del abrasivo y la definición del procedimiento. Pero no se tiene en cuenta el correcto diámetro de las granallas para su aprovechamiento al máximo. La granalla en la empresa Héroe 26 de julio se fabrica a partir de metal fundido en una máquina; esta máquina fabrica las granallas según las revoluciones suministradas por un motor a una polea de un distribuidor, este gira dejando salir las granallas, las cuales salen de la máquina con un diámetro admisible para el empleo en el tambor de limpieza; pero no se pueden aprovechar al máximo debido a que la mayoría no cumplen las condiciones para el proceso de shot penning, por lo que es necesario la determinación de las revoluciones de la máquina granalladora. En el presente trabajo tiene como objetivo general es proponer un diseño de una máquina productora de granallas homogéneas.



ABSTRAC

The surfaces of The surfaces of the newly forged pieces have a very high level of roughness, which is why the blasting or sandblasting method is used. It has been proven that shot blasting will produce better results than sandblasting, thus giving the piece a correct finish. To use the shot blasting method, it is necessary to know the type of material, the size and shape of the parts and the condition of the surface to be cleaned, plus the specification that defines the surface finish, since they have a direct influence on the selection of the blasting system, abrasive and definition of the procedure. But the correct diameter of the shot is not taken into account for its maximum use. The shot at the Héroes 26 de Julio company is manufactured from molten metal in a machine; This machine manufactures the shot according to the revolutions supplied by a motor to a pulley of a distributor, this rotates letting out the shot, which leaves the machine with an admissible diameter for use in the cleaning drum; but they cannot be used to the maximum because most of them do not meet the conditions for the shot penning process, which is why it is necessary to determine the revolutions of the shot blasting machine. The general objective of the present work is to propose a design of a machine for producing homogeneous shot.



ÍNDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u>	6
<u>CAPITULO 1. Fundamentacion teorica de la investigación</u>	10
<u>1.1 Características generales de los procesos de fundición</u>	11
<u>1.2 Limpieza de los fundidos. Metales ferrosos y no ferrosos</u>	14
<u>1.2.1 Limpieza por sandblasting</u>	18
<u>1.2.2 Limpieza con granallas</u>	23
<u>1.2.2.1 Cámara de limpieza</u>	30
<u>1.2.2.2 Tambor de limpieza. Características y régimen de trabajo</u>	32
<u>CAPÍTULO 2. Materiales y métodos</u>	34
<u>2.1. Descripción de la máquina granalladora y su principio de funcionamiento</u>	34
<u>2.2. Sistemas de transmisión por correas</u>	39
<u>2.3 Clasificación de los sistemas de transmisión por correas</u>	41
<u>2.4 Tipos de poleas</u>	43
<u>2.5 Concepto de momento torsor</u>	45
<u>2.6 Determinación de las revoluciones para la obtención de granalla aplicable en shot penning</u>	¡Error! Marcador no definido.5
<u>Conclusiones</u>	50
<u>Recomendaciones</u>	52
<u>Bibliografía</u>	51





INTRODUCCIÓN

Las piezas fundidas al salir del molde poseen una superficie extremadamente rugosa, incluso en ocasiones puede llegar a tener poros de tamaños considerables, por eso se hace necesario la aplicación de limpieza de superficies fundidas mediante una máquina industrial capaz de darle mejor acabado a las superficies de las piezas fundidas, es decir, establecer un método capaz de corregir dicha rugosidad. El presente proyecto valora y propone un diseño de una maquina limpiadora de superficies mediante el método de granallado. Este método es utilizado en los procesos de fabricación mediante las fundiciones otorgándole a las piezas un nivel de rugosidad menor al original, por lo que las piezas deben poseer mayor grado de calidad superficial. Los procesos de granallado están históricamente ligados a la denominación generalizada de “arenado”, aun cuando no sea arena el abrasivo de trabajo.

En el caso más general del granallado, este método se emplea para eliminar herrumbre, cascarilla de laminación, restos de pintura obsoleta y preparar la superficie adecuadamente para recibir las nuevas capas de revestimiento protector; pero también se utiliza para: obtener terminaciones superficiales decorativas, principalmente en acero inoxidable, bronce y aluminio; limpieza y remoción en elementos tales como, matrices de extrusión, forjado, moldes de inyección y soplado de plásticos y vulcanizado. Rebabados en piezas de fundición o inyección, mediante partículas muy abrasivas. Microrrebabados en pequeños componentes mediante partículas de grano fino. Texturado de matrices de inyección de plástico, bronce, zamac, etc. Limpieza y eliminación de sales de tratamientos térmicos y decoloración producidas en partes endurecidas o aceros de alta dureza.

Para el tratamiento superficial manteniendo estrictas tolerancias dimensionales (mínima abrasividad). Preparación de superficies otorgando muy bajas rugosidades para tratamientos galvánicos, como ser niquelados, cromados, anodizados, plateados, cromoduro, etc.

Terminaciones antirreflectivas para instrumental, tableros, limpiaparabrisas, etc. Graneados microscópicos para retener lubricantes o desmoldantes. Obtención de



rugosidades específicas para diferenciar áreas de deslizamiento o retención. De contaminación radiactiva en elementos de reactores o centrales nucleares.

En el tratamiento de shotpeening para incrementar resistencia a la fatiga en partes críticas de componentes de turbinas, motores, resortes, engranajes, etc. Modelado de chapas delgadas de aluminio para industria aeronaval. El granallado es irremplazable en la mayor parte de las utilidades anteriormente enumeradas, sin embargo, lo es aún más en el caso de mayor difusión, que constituye la preparación de superficies para aplicaciones posteriores de pintura. En este caso, todavía se utiliza el raspado, mediante cepillos de alambre (manuales o mecánicos) y piedras esmeriles.

El proceso de granallado de superficies a través de la utilización de materiales abrasivos tuvo sus inicios hace más de 100 años, cuando en 1870, Tilghman descubrió y patentó el principio de limpieza con chorro de arena. Inicialmente el granallado con arena se hacía a ciclo abierto, o en ambientes confinados sin sistema de ventilación apropiados. De esta forma, no tardaron en aparecer los primeros problemas de silicosis para los operadores. Desde entonces, fueron introducidas muchas alteraciones en la técnica de limpieza, desarrollándose nuevos tipos de equipos y de abrasivos.

Los abrasivos metálicos fueron utilizados por primera vez en 1885, en Inglaterra, pero su aceptación industrial ocurrió solamente alrededor de 1920, cuando comenzaron a aparecer evidencias de las ventajas económicas y técnicas como: menor desgaste de los equipos, mejor rugosidad superficial, mayor productividad, menor costo por tonelada acabada, menor volumen de material abrasivo manipulado, y principalmente por evitar la silicosis. Los primeros abrasivos metálicos utilizados eran producidos en hierro fundido coquillado, que a pesar de ser muy superiores a las arenas, se rompían rápidamente, provocando desgaste relativamente rápido del equipo.

Posteriormente fueron desarrollados las granallas de hierro fundido maleable y de acero y los alambres de acero cortados, todos con propiedades muy superiores a las de hierro fundido coquillado. Las granallas de acero se emplean actualmente en un sinnúmero de aplicaciones tales como: limpieza de piezas después de la fundición, decapado mecánico de metales, retirada de rebabas de piezas metálicas, plásticos y gomas, empañado de superficies plásticas, vidrios, metales y cerámicas, shotpeening de metales. De forma



general, se puede decir que el granallado es el bombardeo de partículas abrasivas a alta velocidad (65 - 110 m/s) que al impactar con la pieza tratada produce la remoción de los contaminantes de la superficie.

Hasta la década del 30, el granallado se realizaba solamente con picos de aire comprimido. Aun ahora es el único método que se puede utilizar para ciertos trabajos como el mantenimiento de estructuras armadas. El granallado en líneas de producción y en forma automática se hizo posible con la aparición de la turbina centrífuga de granallado. El sistema de granallado por turbina centrífuga es mucho más productivo que el de aire comprimido, además, logra una mayor uniformidad en la preparación superficial.

El tipo de material, el tamaño y forma de las partes y la condición de la superficie a limpiar, más la especificación que define la terminación superficial, tienen influencia directa sobre la selección del sistema de granallado, del abrasivo y la definición del procedimiento. Hay casos en que pueden ser necesarios otros métodos de limpieza antes y después del granallado, para lograr mejores resultados en los revestimientos. (Industrias de fundición Tupy LTDA 2019).

Teniendo en cuenta las particularidades industriales antes citadas, se identifica el siguiente **problema científico de la investigación**: En la actualidad en las empresas fundidoras del país no se evidencia la existencia de una máquina para la producción homogénea de granallas.

Objeto de estudio: máquinas granalladoras.

Campo de acción: máquina granalladora para la producción granallas homogéneas.

Objetivo general: Proponer un diseño de una máquina productora de granallas homogéneas.

Hipótesis: Si se propone el diseño de una máquina productora de granallas homogéneas, se abaratarían los costos de producción en la limpieza por samblasating de las piezas fundidas, que disminuirían los costos de maquinado para corregir las superficies de las mismas.



Tareas científicas:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre los métodos de limpieza de las piezas fundidas y sus diferentes tipos de tecnologías.
2. Hacer una descripción de las máquinas granalladoras y su principio de funcionamiento.
3. Elaborar una propuesta de diseño de una máquina disparadora de granallas homogéneas.

Métodos de investigación utilizados:

Métodos teóricos:

- Histórico – lógico: fue utilizado para distinguir los antecedentes y fundamentos teóricos de la investigación al encontrarse resultados relevantes a nivel nacional e internacional.
- Análisis – síntesis: permitió dar cumplimiento a las tareas al seguir la lógica de la investigación.
- Inducción – deducción: utilizado en la investigación de otros casos de estudios relacionados con el tema, facilita la identificación de aspectos generales que permiten la formulación del análisis teórico.
- Análisis documental: utilizado en la búsqueda de información de estudios relacionados con el tema de la investigación

Métodos empíricos:

- Consulta con expertos: aplicada en la consulta de expertos en ingeniería mecánica y operarios encargados de la producción de granalla.
- Medición directa: para obtener las dimensiones de la granalla en la ausencia de documentación técnica con dicha información.

Resultados esperados:

Una propuesta de diseño de una máquina productora de granallas homogéneas.



CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.

El proceso de granallado de superficies surgió hace más de 100 años en 1870 cuando Tilghman descubrió y patentó el principio de limpieza con chorro de arena. Los abrasivos metálicos fueron utilizados por primera vez en 1885, en Inglaterra, pero su aceptación industrial ocurrió solamente alrededor de 1920, cuando comenzaron a aparecer evidencias de las ventajas económicas y técnicas como: menor desgaste de los equipos, mejor rugosidad superficial, mayor productividad, menor costo por tonelada acabada, menor volumen de material abrasivo manipulado, y principalmente, por evitar la silicosis. La limpieza de una superficie a través del chorro de granallas puede considerarse como una verdadera operación de bombardeo, en que un sinnúmero de partículas abrasivas es lanzado en 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 (Industrias de fundición Tupy LTDA).

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 (Torres Jaramillo, Santiago Ramiro, 2013).

El granallado es una técnica de tratamiento superficial por impacto con el cual se puede lograr un excelente grado de limpieza y simultáneamente una correcta terminación superficial. En líneas generales es utilizado para la limpieza de piezas de fundición ferrosas y no ferrosas, piezas fundidas, etc.; en el decapado mecánico de alambres, barras, chapas, etc. Shotpeening aumenta la resistencia a la fatiga de resortes, elásticos, engranajes, etc., limpieza y preparación de superficies donde serán aplicados revestimientos posteriores (pintura, cauchos, etc.).



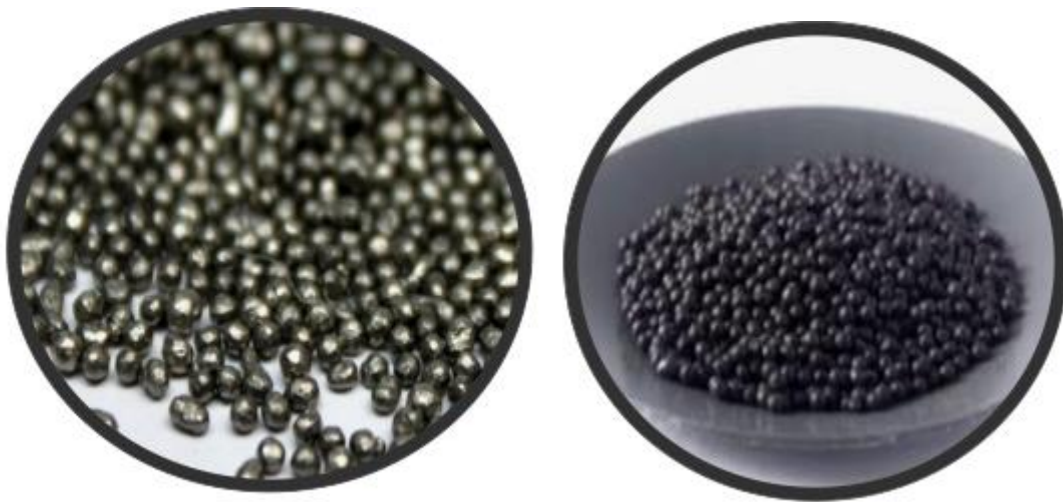


Fig. 1.1 Ejemplos de granalla

1.1 Características generales de los procesos de fundición.

La fundición es una de las primeras tecnologías utilizadas para la fabricación de producción de productos de origen metálico. Aproximadamente desde el siglo VII a.C. se fabrican productos de fundición evolucionando desde utensilios básicos para ornamentación y seguridad, hasta complejas geometrías de turbinas hidráulicas. Esto ha generado una gran tradición y especialización en la producción de piezas cada vez más complejas. Aunque desde sus comienzos hasta estos últimos siglos la fundición se ha centrado en metal como material de fundición y se ha ampliado su aplicación a otras familias de materiales. La fundición consiste en una serie de operaciones mediante las cuales se obtiene un molde que reproduce la forma de la pieza a fabricar y en el que se vierte el metal en el interior de un molde previamente fabricado. Se emplea fundamentalmente en piezas como motores, cigüeñales, componentes de turbinas hidráulicas, trenes de aterrizajes para aviación, entre otras.

Dentro de todas las variantes existentes en la fundición en arena la más común de ellas es la fundición de arena en verde que consiste en la fabricación del molde, siendo este de una mezcla de arena de sílice en un 80 a 90 % y bentonita 4 a 9 % humedecida en un 9 %. La arena de sílice concede la refractariedad necesaria para resistir las altas temperaturas de trabajo a la hora del vaciado de la colada. La cohesión la brinda el



contenido de agua e impurezas aportado a la mezcla la cual permite la durabilidad y resistencia necesaria para la conservación del molde sin fragmentarse.

El moldeo en verde se trata de un procedimiento puramente artesanal en el que la habilidad del moldeador es fundamental en el resultado final de la pieza, requiere gran especialización para un óptimo resultado. Básicamente consiste en el vaciado del metal fundido en un molde de arena que reproduce un modelo de la pieza que se desea, dejar que se produzca la solidificación y enfriamiento para posteriormente proceder al desmoldeo y obtener la pieza. Este procedimiento requiere de instrumentación y técnicas particulares, así como una teoría aplicable en el diseño de cada uno de los sistemas involucrados.

En fundición, la exactitud en el dimensionado final de la pieza depende una parte del proceso y otra de la naturaleza de cada dimensión. Los principales errores son: Errores de moldeo, errores en la dimensión del molde, contracción anómala y distorsión en el enfriamiento y rugosidad superficial.

El modelo se debe diseñar reproduciendo fielmente la forma exterior de la pieza a fabricar y teniendo en cuenta aspectos como su disposición en el molde, sobredimensionado y la necesidad de la colocación de machos para dar formas interiores.

Los moldes se suelen dividir en varias partes, generalmente en dos, una parte superior que dará forma al molde de la caja superior y otra que lo hará en el molde de la caja inferior. Estos suelen estar contruidos de madera, plástico o metal. La norma UNE EN 12890:2001 establece las distintas calidades de los moldes en función de los materiales que estén contruidos. La madera es el material más común por su facilidad en la generación del modelo. El recubrimiento de su superficie con una fina capa de pintura facilita su extracción pues evita su adhesión con la arena en verde, confiriendo además impermeabilidad.

Las superficies del modelo deben diseñarse de forma que en su extracción no se produzcan desprendimientos de las paredes del molde. Por ello, se deben respetar ángulos mínimos en la dirección de desmoldeo, así como áreas óptimas de los canales de alimentación que provoquen velocidades razonables del fluido metálico en el interior del molde. El ángulo de salida para el desmoldeo para moldes de madera se encuentra entre 3° y 0,5° según indica UNE EN 12890:2001. Al verter el metal líquido y este ocupar la cavidad del molde, se produce contracción en el enfriamiento hasta la temperatura ambiente provocando que la pieza final tenga dimensiones algo menores a las deseadas.



Teniendo en cuenta este fenómeno, el modelo se debe generar de acuerdo con el grado de contracción del metal de trabajo. Existen numerosas recomendaciones bibliográficas que guían en el sobredimensionado del modelo necesario para contrarrestar la contracción volumétrica. Estas recomendaciones indican tolerancias en las contracciones que van desde un $\pm 0,3$ % de la mayor dimensión hasta un 2 % de la menor dimensión.

Por lo general, la pieza resultante requiere un posterior mecanizado que retire la posible rebaba y aumente la precisión dimensional en alguna de las zonas de la misma. En UNE EN 12890:2001 se establecen las sobremedidas para el mecanizado de piezas fundidas tanto ferrosas como no ferrosas.

Durante la solidificación de una pieza de fundición, la propagación y el crecimiento gradual del sólido se realiza en forma de masa enmarañada de dentritas, la cual presenta dificultad para el paso de la alimentación. Esta dificultad, para el líquido de paso a través de la pieza, provoca una diferencia de presión que crece del interior al exterior. Los altos esfuerzos de tracción en el líquido residual llevan al sólido a colapsar plásticamente por el proceso de fluencia. El movimiento del frente de solidificación hacia el interior del sólido reduce la tensión del líquido lo cual puede causar que la presión disminuya, llegando a ser lo suficientemente grande como para producir el colapso del flujo en la fluencia.

Así pues, pueden ocurrir en un mal diseño de los sistemas de alimentación que la presión en la solidificación caiga, lo cual impulsa la generación de porosidad de contracción. De este modo, si la alimentación de la pieza es la adecuada, los mecanismos de generación de porosidad no se activarán. Sin embargo, la complejidad de las piezas de fundición genera la no correcta alimentación de algunas regiones de la pieza con el posterior resultado de aumento de la tensión hidrostática interna que puede formar poro interno. El avance del frente líquido genera un embudo cónico suave, lo cual genera la aparición de microporos en la región central de la pieza. Se ha de indicar que su ubicación final no estará justamente en el centro térmico de la región central debido a que el poro flotará a la parte superior de esta región de líquido aislado.

La solidificación se produce a temperatura constante para metal puro de fundición, siendo esta la temperatura de fusión. Para aleaciones, la solidificación se produce en un rango de temperaturas en el que la temperatura de inicio será la temperatura de líquidos y completándose la solidificación en la temperatura de sólidos. A medida que el frente de solidificación avanza, este debe ser alimentado por metal líquido para contrarrestar la disminución de viscosidad debida al gradiente de temperatura. El frente avanza a través



del metal fluido a partir de las paredes del molde disipando calor latente de fusión. De este modo se produce la nucleación y posterior crecimiento de las partículas solidificadas. Producida la solidificación de un punto se reinicia el enfriamiento. La estructura de grano típica que aparece para metales puros es ligeramente distinta a la que aparece en aleaciones, debido a la convivencia para aleaciones de solidificación en forma de dentritas columnares con metal líquido.

Esta convivencia se transforma en una primera zona de enfriamiento llamada zona blanda que contribuye negativamente pues puede conllevar factores adversos como segregación y microporosidad. Para metal puro, la zona blanda tiende a cero. El crecimiento de grano posterior a esta primera zona se genera de forma preferente perpendicular al molde en forma de agujas, conociéndose como granos columnares. Para distancias mayores a las paredes del molde y en fundiciones de metales puros, los granos crecen equiaxiales y grandes, generándose nucleación homogénea en el centro del molde. Para aleaciones, dependerá de la composición del eutéctico. Para altas velocidades de enfriamiento o altos tiempos de solidificación, se generan estructuras detríticas gruesas, reduciéndose para tiempos menores. Este fenómeno implica que a medida que se reduce el tamaño de grano se incrementa la resistencia y la ductilidad, reduciéndose la microporosidad y la tendencia al agrietamiento. El tiempo de solidificación será el tiempo total que tome la completa solidificación del metal fundido en el interior del molde. Este tiempo depende del tamaño y forma de la fundición, así como del molde utilizado. (García Chacón, José Alberto 2014)

1.2 Limpieza de los fundidos. Metales ferrosos y no ferrosos.

La limpieza abrasiva utiliza pequeñas partículas propulsadas por una corriente de aire o un chorro de agua para incidir en la superficie, eliminando contaminantes a través de la fuerza de su impacto. Existe una amplia variedad de medios abrasivos de diferentes tamaños para cubrir necesidades específicas. La limpieza abrasiva suele ser elegida para eliminar calaminas resistentes y pinturas, especialmente en superficies amplias, pero de difícil acceso con otros métodos.

La limpieza abrasiva es también con frecuencia el único método de limpieza posible para aceros sensibles al debilitamiento por hidrógeno. Este método de limpieza se utiliza asimismo en la preparación de metales como el acero inoxidable y el titanio, para que la pintura produzca una adherencia mecánica en sustitución de recubrimientos de conversión que no puedan ser aplicados fácilmente sobre esos metales.



Tanto el chorreo por presión, como los sistemas de succión con boquilla, requieren una potencia importante para generar el aire comprimido o vapor a presión que se utiliza para acelerar y propulsar el abrasivo. Los sistemas de chorreo a presión con boquilla suelen utilizar un suministro de aire de 685 kPa para propulsar el abrasivo a través de una tobera especial. Las toberas o boquillas de chorreo por aire tienen formas diversas. La mayoría de los sistemas disponen de toberas intercambiables, hechas de aleaciones, o boquillas con partes cerámicas resistentes al desgaste. Todos los tipos de abrasivos pueden ser manipulados con sistemas de chorreo a presión en diversos contextos.

Generalmente considerado el tipo más sencillo de equipo de chorreo abrasivo, las cabinas de chorreo por succión pueden ser utilizadas de manera manual o disponer de toberas fijas u oscilantes. La boquilla de la cabina de succión es una tobera de inducción que crea una mezcla de chorreo a través del efecto sifón del aire liberado a través del cuerpo de la boquilla.

Las ruedas de propulsión de abrasivos sin aire que utilizan aspas requieren en torno al 10% de la potencia requerida por los sistemas de chorreo por aire para lanzar volúmenes equivalentes de abrasivos a las mismas velocidades. La vida de las partes expuestas de las ruedas de chorreo (propulsor, caja de control, aspas, recubrimientos de la carcasa) depende en primer lugar del tipo y condición del abrasivo utilizado y de los contaminantes que son objeto del proceso de limpieza. La granalla de acero limpia ofrece la mayor vida útil de la rueda y de los recubrimientos de la carcasa. Un desgaste mucho mayor es resultado de la utilización de abrasivos no metálicos como la arena, el óxido de aluminio y el carburo de silicio. Las microesferas de cristal y la granalla no ferrosa ocasionan un desgaste relativamente reducido.

Las máquinas de chorreo tipo rueda centrífuga pueden ser relativamente sencillas, con una sola rueda de chorreo, una cinta transportadora más sencilla, un sistema de reciclaje del abrasivo y un dispositivo de recogida del polvo.

Choreado en seco

Prácticamente todos los metales pueden ser limpiados al menos con uno de los procesos de chorreo abrasivo disponibles, pero el medio abrasivo tiene que ser seleccionado cuidadosamente para los metales blandos y frágiles y sus aleaciones, como el aluminio, el magnesio, el cobre, el cinc y el berilio.



Equipo fijo para la limpieza por chorreo seco. La limpieza por chorreo seco es probablemente el método más eficiente y eficaz desde el punto de vista medioambiental para la limpieza y el acabado abrasivo, una ventilación apropiada ayuda a mantener el área de trabajo limpia, mientras que los extractores de polvo facilitan de forma sencilla su eliminación. Para garantizar una ventilación adecuada de las cabinas de chorreo suelen utilizarse colectores de polvo con filtro de tela con un conducto adecuadamente diseñado. Los filtros de tela suelen estar equipados con extractores en el lado del aire limpio del colector.

Existen diferentes tipos de equipos para la limpieza por chorreo seco, basándose ante todo su selección en el tipo de piezas a limpiar y en el flujo relativo requerido:

a) Máquinas de cabina: la cabina aloja el mecanismo de propulsión del abrasivo, mantiene la pieza en posición y confina el material abrasivo y el polvo. Las máquinas de cabina pueden ser diseñadas para operaciones manuales, semiautomáticas o totalmente automatizadas para trabajar sobre una pieza única, sobre un lote o en un proceso de chorreo de flujo continuo.

b) Máquinas de flujo continuo: equipadas con dispositivos para un soporte y transporte apropiados, las máquinas de flujo continuo son utilizadas para la limpieza por chorreo continuo de flejes, bobinas o cables de acero. Estas máquinas son también utilizadas para limpiar piezas de fundición y forjado en grandes series. Las máquinas de flujo continuo incorporan dispositivos de reciclaje de abrasivos y un sistema completo de extracción para la eliminación de polvo y partículas pequeñas.

c) Máquinas de chorreo con volteo: consisten en una cinta transportadora continua, uno o varios dispositivos propulsores de chorreo y un sistema de reciclaje de los abrasivos. Estas máquinas voltean la pieza a la vez que realizan el chorreo sobre la misma. Con el movimiento de la cinta transportadora, la pieza se voltea lentamente, exponiendo todas sus superficies al chorreo abrasivo. Esta máquina no se utiliza para limpiar piezas tras el mecanizado, debido a que su movimiento deteriora las superficies mecanizadas.

Equipo portátil para la limpieza por chorreo seco. Cuando las piezas a limpiar son demasiado grandes para ser colocadas en las máquinas de chorreo, se pueden utilizar equipos portátiles, como equipos de chorreo por aire. Normalmente se utiliza una arena de bajo coste, porque en un equipo portátil es difícil recuperar o recircular el abrasivo.



Los equipos de reciclado portátiles constituyen un nuevo desarrollo en el chorreo por presión de aire. Estos equipos utilizan una manguera con un medio a presión, contenida en otra más amplia, de evacuación. Después del impacto, el medio es recogido a través de la manguera externa hacia la unidad central para su recuperación y reciclaje. Con este equipo se pueden realizar importantes trabajos de exterior con medios especializados y sin problemas ambientales.

El chorreo con microabrasivos es otro método portátil de chorreo por aire. Tanto el tamaño de las partículas abrasivas (entre 10 y 100 μm) como el de las aperturas de las boquillas (entre 0.4 y 1.2 mm de diámetro) es muy reducido. El chorreo con microabrasivos suele ser una operación de mano para la eliminación de precisión de rebabas, la limpieza o la preparación de superficies. La sequedad y la uniformidad de las partículas resultan críticas y los abrasivos no pueden ser reutilizados. (Martínez Flamenco, Immer Abimael 2014)

Chorreado con medio húmedo

El chorreado con medio húmedo difiere del chorreo seco en que las partículas abrasivas utilizadas suelen ser mucho más finas y están suspendidas en agua tratada químicamente, formando una especie de lodo. Este compuesto acuoso es bombeado y agitado continuamente para prevenir su solidificación y es impulsado por aire comprimido a través de una o varias boquillas dirigidas hacia la pieza de trabajo.

A diferencia del chorreo seco, el objetivo del chorreo húmedo no es la eliminación basta de calaminas resistentes, rebabas o suciedad sino la producción de efectos relativamente leves sobre la superficie de la pieza de trabajo. En muchas piezas pequeñas, incluidas las agujas hipodérmicas y los componentes electrónicos, las rebabas son eliminadas mediante chorreo húmedo.

Con frecuencia es necesaria una limpieza previa al chorreo para prevenir la contaminación del lodo de recirculación. Los métodos de limpieza previa incluyen métodos de desengrase convencionales. Los óxidos más resistentes y la tierra seca se eliminan con chorreo seco. Pueden utilizarse tipos y tamaños de abrasivos muy diversos para el chorreado con medio húmedo. Los tamaños van de una malla de 20 (muy gruesa) a una de 5 000 (ultrafina). Entre los tipos de abrasivos utilizados se encuentran materiales orgánicos o agrícolas, bicarbonato sódico, sílice, cuarzo, óxido de aluminio, etc.

Los líquidos más comúnmente utilizados para transportar las partículas abrasivas son aditivos a base de agua como los inhibidores de óxido, agentes humectantes y



compuestos anti-obstrucción y anti-solidificación. En algunas aplicaciones se han utilizado destilados de petróleo como portadores de abrasivos para eliminar residuos de aceites y cascarillas o rebabas finas. Los destilados de petróleo, no obstante, sólo pueden ser utilizados con unidades de chorreo húmedo diseñadas específicamente, debido al peligro de inflamación.(Martínez Flamenco, Immer Abimael 2014)

Chorroado con hielo seco (nieve de CO₂)

Se trata de una forma de chorreo abrasivo en la que son propulsadas sobre la superficie a tratar partículas duras de CO₂ helado, por medio de aire o de otros gases. La granalla de CO₂ sirve para eliminar pinturas, grasas y aceites. Algunas piezas pueden ser sensibles a los cambios térmicos que produce la granalla, por lo que se hará necesaria una prueba previa. Las piezas de grosor fino pueden verse dañadas con el impacto. La granalla puede fabricarse en diferentes tamaños y propulsarse a diferentes velocidades para mejorar los ratios de limpieza y reducir los daños superficiales.

Como alternativa se utilizan “copos de nieve” blandos de CO₂ helado. La nieve de CO₂ es muy eficaz en la eliminación de partículas. Ha sido utilizada para eliminar pequeñas partículas de componentes ópticos, giroscopios, espejos muy finos y otras superficies delicadas. Algunas fuentes señalan experiencias exitosas de eliminación de capas de fluidos, flujos y huellas digitales. No sirve para eliminar óxido, pintura, grasas o capas gruesas de aceite. El proceso está más indicado en limpiezas con visibilidad directa.

La ventaja de la granalla y de la nieve de CO₂ es que se subliman al contacto con el material a limpiar. Eso hace que el operario únicamente tenga que desechar la suciedad en sí.

Las cuestiones de seguridad incluyen la ventilación y la protección de las personas respecto del contacto con la nieve fría. (Martínez Flamenco, Immer Abimael 2014)

1.2.1 Limpieza por sandblasting

El primer antecedente del sandblast, se conoce en Inglaterra Reino Unido, en donde en agosto de 1870, Benjamin C. Tilgman, diseñó la primera máquina para sopleteo con chorro de abrasivos que patentó con el número 2 147. Esta máquina ha sido modificada a través del tiempo para cumplir con diferentes objetivos, pero el principio de funcionamiento siempre ha sido el mismo.



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 le 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 (Fig. 1.2). La limpieza con sandblast es ampliamente usada para remover óxido, escama de laminación y cualquier tipo de recubrimiento de las superficies preparándolas para la aplicación de un recubrimiento. Dentro de los abrasivos más frecuentemente usados están: arena sílica, óxido de aluminio, carburo de silicio, bicarbonato de sodio, granate, escoria de cobre, perla de vidrio, abrasivo plástico, granalla de acero, olote de maíz, cáscara de nuez, entre otros.



Fig. 1.2 Limpieza por sandblasting

Usos del Sandblast

Entre los usos más comunes se encuentran:

- Dar acabados en madera, acero, resina, plástico, etc.
- Grabar vidrio y cerámica.
- Remoción de lechada de concreto.
- Limpieza de muros de ladrillo y piedra.
- Remoción de grafiti.
- Remoción de marcas de herramientas.



- Limpieza de estructuras metálicas.
- Preparación de materiales para aplicación de recubrimientos, entre otras.

Algunos equipos de sandblast son utilizados en diferentes sectores productivos, en donde destacan:

- Industria textil.
- Industria química.
- Industria metalmecánica.
- Industria automotriz.
- Astilleros.
- Plantas petroleras.
- Grabado en vidrio y artículos promocionales.
- Industria de la construcción, entre otras.

No todos los equipos de sandblast son iguales, por lo que se debe tomar en cuenta varios factores antes de elegir alguno de ellos, de esta manera se podrá obtener la mayor eficiencia.

- Debe contar o seleccionar un compresor de aire capaz de producir un volumen de aire suficiente para mantener la presión en el equipo y así lograr un suministro continuo de aire.
- Asegúrese de que la manguera de aire del compresor al equipo sea del diámetro adecuado.
- Tomar en cuenta que tipo de superficie va a limpiar.
- Seleccionar el abrasivo indicado para ese tipo de trabajo.
- Contar con un espacio para realizar la limpieza de las piezas.
- El volumen de trabajo a realizar.
- El acabado deseado.

Abrasivos para chorro.

- El tipo de abrasivo determinará el costo y la efectividad de la limpieza con chorro de abrasivo. Entre los factores relacionados con el abrasivo que afectan el desempeño del equipo se encuentran:
- Tamaño. El tamaño de las partículas del abrasivo es sumamente importante para lograr un patrón de textura consistente al aplicar el chorro de abrasivo en la



superficie. Los fabricantes de abrasivos utilizan varias nomenclaturas y numeraciones para definir el tamaño de sus productos. La medida uniforme entre todas las partículas de abrasivo se convierte en un parámetro de mucha importancia cuando el fabricante de recubrimiento especifica un perfil determinado para la superficie. Partículas más grandes cortarían demasiado profundo, dejando puntas muy marcadas que probablemente sobresaldrán del recubrimiento, lo cual favorecería a la oxidación. Para compensar dicha diferencia entre las cavidades más profundas y las puntas más altas, se tendría que aplicar varias capas de recubrimiento, lo que incrementaría el tiempo de trabajo y el costo total.

- Las partículas grandes remueven múltiples capas de pintura, corrosión pesada o lechada de concreto y dejan perfiles profundos en las superficies. Los abrasivos tamaño mediano remueven óxido ligero, pintura floja y escamas de acero delgadas. Las partículas pequeñas dejan perfiles superficiales y son ideales para el chorreado de abrasivo de metales de poco calibre, madera plástica, cerámica y otras superficies semidelicadas, además son muy recomendables para marcar las superficies con algún logotipo que requiere precisión en el corte del abrasivo.
- Forma. Las diferentes formas en los abrasivos ofrecerán diferentes perfiles en la superficie siendo las dos principales configuraciones de los abrasivos la angular y las esféricas. Los abrasivos angulares trabajan mejor cuando se trata de desprender capas pesadas de pintura y corrosión. El abrasivo esférico en cambio es mejor para remover escamas de fabricación y contaminación ligera, también es utilizado para realizar el martilleo (shot peening) para el relevado de esfuerzos. El martilleo crea una superficie uniforme comprimida que hace que los resortes y otros metales sujetos a alta tensión tengan mucho menos posibilidades de fallar.
- Densidad. Densidad es el peso del abrasivo por volumen. Esta es la característica menos determinante que se tiene que tomar en cuenta para realizar un trabajo de sandblast, a menos que la diferencia de densidades sea muy amplia entre los distintos materiales. A medida que el material sea más denso, será mayor la energía con que se impacte contra la superficie.
- Dureza. La dureza del abrasivo determinará su efecto sobre la superficie que va a ser sandblastada. Si el abrasivo es más duro que el sustrato, dejará un perfil sobre la superficie. Si es más suave que la superficie, pero más dura que el



recubrimiento, solamente removerá el recubrimiento. Si es más suave que el recubrimiento solamente limpiará la contaminación de la superficie sin remover el recubrimiento. La dureza del abrasivo está medida en la escala de Mohs siendo 1 tan suave como talco y 15 materiales tan duros como el diamante. Los abrasivos del tipo de carburo de boro, carburo de silicio y óxido de aluminio, estarán dentro del rango 10 al 13.

- Fragilidad. Se refiere a la tendencia del abrasivo a fragmentarse en partículas más pequeñas como consecuencia del impacto, mientras más frágil sea el abrasivo, menos veces puede ser reutilizado y más polvo generará. La arena sílica es extremadamente frágil debido a su composición de cuarzo y nunca debe ser reutilizada. En el primer uso, más del 70% de la arena se convierte en polvo desprendiendo peligrosas partículas de sílice, la gente expuesta al polvo de sílice puede contraer una enfermedad llamada silicosis. La mayoría de los abrasivos fabricados y derivados de un producto, pueden ser reciclados varias veces, al igual que algunos abrasivos naturales como el granate y el pedernal. La escoria de cobre y de níquel se fractura en partículas más pequeñas que pueden ser reutilizadas. La granalla de acero puede ser efectivamente reciclada unas 200 veces o más.
- Muchas variables afectan usar varias veces el abrasivo, dentro de estas están: la presión de aire, dureza de la superficie y la eficiencia del equipo para sopleteo con chorro de abrasivo.
- Los equipos para limpieza con chorros de abrasivos (sandblast) pueden realizar diversas tareas como limpiar y preparar superficies la aplicación de recubrimientos, grabados de materiales, limpieza de contaminantes de la superficie, proporcionar acabados limpios y estéticos, difuminar defectos y marcas de herramientas, etc. Sin embargo, es necesario elegir el abrasivo más adecuado para el equipo de acuerdo con los resultados que desea obtener, debido a que una mala elección del abrasivo puede traer problemas de rendimiento en los equipo (Barrientos Belloso, William Alexander, 2014).

Abrasivo de escoria de cobre

Este abrasivo, también conocido como abrasivo negro o abrasivo ecológico, se obtiene principalmente de dos fuentes: la fundición de metal (cobre y níquel) y las calderas para generar poder eléctrico (carbón). La escoria de cobre ha aumentado su demanda debido a



su capacidad de limpieza, disponibilidad, bajo contenido de sílice (menos del 1%) gran rango de medidas y su relativo bajo costo. Sus partículas duras y angulares le otorgan gran velocidad y capacidad de corte, haciéndola perfecta para una gran cantidad de usos. En algunas aplicaciones, quizás sea necesario reducir la presión del aire para evitar que la partícula de la escoria de cobre se inserte en el acero. La principal desventaja al usar escoria de cobre es su alta fragilidad, debido a la cual genera gran cantidad de polvo y limita su nuevo uso, además de que la escoria debe ser revisada para verificar si se encuentra libre de contaminantes antes de comenzar a usarla.

1.2.2 Limpieza con granallas

El granallado es un método de trabajo en frío mediante el cual se inducen esfuerzos residuales de compresión en la capa superficial de los objetos metálicos. El método está fundamentado en el uso de un chorro de granallas proyectadas hacia la superficie del componente a tratar, a una alta velocidad (40 – 100 m/s) y bajo condiciones controladas.

Así, con la introducción de esfuerzos residuales de compresión en una capa superficial, se logra aumentar la resistencia a la fatiga del material debido a que cuando se producen esfuerzos de tracción en la capa superficial por la aplicación de una carga externa, estos tienen que vencer los esfuerzos residuales de compresión. Además, el granallado se utiliza como pre tratamiento superficial antes de aplicar algunas técnicas de recubrimientos, esto debido a que tanto se aprovechan los esfuerzos residuales de compresión, como también porque se produce una mayor adherencia de la capa de recubrimiento por las irregularidades superficiales producidas.

Cuando las partículas individuales de un chorro de granallas a alta velocidad impactan una superficie metálica, producen ligeras depresiones ovaladas que se extienden radialmente como resultado del flujo plástico del metal impactado. Por lo general, el efecto se extiende de 0,127 a 0,254 mm bajo la superficie, cuando el metal no está deformado plásticamente. Para que se forme esa huella es necesario que la superficie no esté endurecida por deformación. Así, en el equilibrio que resulta después del rebote del choque, la capa superficial estará con esfuerzos residuales de compresión, mientras que el metal que está por debajo de esa capa estará con esfuerzos residuales de tracción.

Bajo la superficie, el material comprimido intenta volver a su volumen inicial, como resultado de la contracción elástica del mismo, la cobertura de las huellas permite obtener un esfuerzo residual uniforme de compresión logrando que el material no regrese a su volumen inicial. Se reconoce que las grietas no se inician ni se propagan en un volumen



en compresión, esto debido a que la mayor parte de las roturas por fatiga y corrosión se inician en la superficie, los esfuerzos residuales de compresión que se introducen por este proceso de granallado aumentan sensiblemente la resistencia a la fatiga de las piezas metálicas tratadas con shot peening.

El denominador común de la mayoría de los modos de rotura a largo plazo son los esfuerzos de tracción. Esos esfuerzos pueden resultar de las sollicitaciones externas o ser residuales, creadas por procesos de fabricación como soldadura y el mecanizado. Los esfuerzos de tracción tienden a provocar un estiramiento de la superficie, lo cual puede producir inicio de grietas.

Los esfuerzos residuales de compresión provocan un acercamiento en los límites de grano lo cual genera el retraso o bloqueo del inicio de grieta, porque la propagación de las grietas se frena por la capa con esfuerzos residuales de compresión, aumentando la profundidad de la capa en compresión se aumenta la resistencia al agrietamiento del material. Además, el granallado es el método más económico y el más práctico para introducir esfuerzos residuales de compresión en los metales.

El granallado es un tratamiento orientado a mejorar la resistencia a la fatiga de componentes mecánicos metálicos. No debe ser confundido con el arenado que no es sino un tratamiento de limpieza de materiales. El granallado, puede llegar a alcanzar profundidades apreciables, y es utilizado para retardar o eliminar la aparición de grietas por fatiga. (Barrientos Belloso, William Alexander, 2014)

El granallado aporta a las piezas metálicas los efectos siguientes:

- Deformación plástica de una capa superficial del metal.
- Introducción de esfuerzos residuales de compresión en la capa superficial.

Con el objetivo de obtener una mayor eficacia del tratamiento superficial, el proceso de granallado se debe realizar en condiciones controladas para su repetitividad. De no ser así, no se podría hacer ninguna previsión a cerca del estado de la pieza después de dicho tratamiento.

Tipos de máquinas para granallado

Actualmente existen dos tipos de máquinas para realizar el proceso de granallado, las cuales se describen a continuación.

Máquina centrífuga de granallado



Su funcionamiento consiste en una rueda que gira a alta velocidad, en la cual en su circunferencia se han instalado una serie de boquillas, que proyectan las granallas sobre una superficie; las granallas son alimentadas por gravedad, la cual constituye una de las ventajas de la máquina tipo rueda:

- Por su tipo de operación, emite un potente flujo de granallas a alta velocidad, realizando el trabajo en un menor tiempo.
- Debido al rebote de las granallas, el trabajo se realiza en una cabina y la máquina se fija al piso.
- Las máquinas con grandes ruedas tienen un costo inicial elevado y sólo se justifica su adquisición para grandes producciones, las cuales tienen un mejor desempeño con respecto a las de aire presurizado.

El método de granallado centrífugo tiene una eficiencia mayor que la del método neumático de granallado. No obstante, aunque el método de granallado centrífugo carece de la flexibilidad del método de granallado neumático, tiene la habilidad de hacer un uso más eficiente de la energía. Estas máquinas se construyen a la potencia requerida para un propósito basado en la demanda y usualmente está en el intervalo de 20 a 25 HP. De acuerdo con el tamaño de la granalla de acero, esta perderá velocidad relativamente a cortas distancias, lo cual es de suma importancia para dimensionar la capacidad cúbica de la cabina. Además, un buen diseño de cabina es aquel que dispone de una buena ventilación que asegure una atmósfera limpia dentro de la misma durante la operación de granallado. Muchos componentes y piezas de trabajo que estén en su etapa final de fabricación pueden ser limpiados minuciosamente, de forma tal que se requiere una adecuada ventilación.

Máquinas neumáticas de granallado

Existen tres diferentes sistemas de uso de aire comprimido para fines de granallado, en los cuales la granalla es proyectada desde una boquilla, estas son:

- Inducción por sifón
- Inducción por gravedad
- Presión directa.

Inducción por sifón

En el método de inducción por sifón la granalla es aspirada hacia la boquilla. Este método no es complicado y se presta, asimismo, para un uso en cabinas de granallado manual.



La única afirmación que se puede realizar sobre el método de inducción por sifón es la simplicidad del sistema que permite un trabajo constante e ininterrumpido. El único inconveniente es que la mayoría de estas instalaciones no incorporan limpieza de granallas y graduación de granallas que para algunas aplicaciones no podría ser aceptable.

Inducción por gravedad

Este sistema ofrece una eficiencia mejorada, con la granalla estando elevada sobre la zona de proyección, desde ahí es permitida una caída libre de la granalla hacia la boquilla donde es impulsada por el aire comprimido. Este es un método ordenado que proporciona una operación continua elevando la granalla en el sistema de recirculación. El método esencial puede incorporarse cribado, graduado y limpieza de granallas.

Presión directa

Este método es el más usado en la industria. Está basado sobre el uso de un recipiente a presión en el cual la granalla es alimentada bajo presión a la boquilla. Una válvula de medida es incorporada al sistema para ajustar el volumen de granalla dentro de la corriente de aire. Existe un balance preciso entre el volumen de granalla y la medida del agujero de la boquilla. La ventaja de este sistema está en los ajustes que se puede hacer a la presión de aire. El depósito a presión puede ser incorporado como una unidad dentro de las cabinas cuando los sistemas son operados manualmente.

Por la flexibilidad el método de presión directa, este es superior a los otros métodos, en donde todos los tipos de granallas pueden ser usadas con la misma facilidad. Las presiones son fácilmente ajustadas, la distancia de la boquilla y el ángulo de impacto también pueden variarse. El uso de una boquilla permite que la corriente de granallas sea dirigida con precisión. No obstante, la desventaja en el sistema es el modo sin control de alimentación de granallas, la cual se realiza por medio de la válvula de alimentación. Siempre que sea posible las boquillas deberán ser mecánicamente controladas, las cuales deberán estar colocadas a la distancia correcta con el ángulo preciso y con la velocidad de movimiento exacta. La máquina también deberá estar equipada con un temporizador para que la duración de cada operación de granallado sea llevada a cabo con precisión.

Toda maquinaria para granallado deberá estar equipada con graduadores para asegurar una forma estándar de la granalla. La granalla quebrada deberá ser removida, así como también la granalla de menor tamaño. En pequeñas plantas granalladoras accionadas por



aire, no es común que estén acoplados sistemas de suministro automático de granallas, pero en las que el consumo es suficientemente alto son esenciales dichos suministros automáticos.

Clasificación y tipos de boquillas para granallado con aire comprimido

Elegir la boquilla adecuada para cada aplicación es simplemente un asunto de entender las variables que afectan el desempeño y los costos del trabajo. Existen cuatro parámetros básicos para responder cuál será el desempeño y costo óptimo:

- Patrón de trabajo
- Suministro del compresor de aire
- Diámetro de la boquilla
- Material de la boquilla.

Patrón de trabajo

El tipo que se elija determinará el patrón de trabajo que se obtendrá. Las boquillas generalmente presentan ya sea un diámetro recto o un diámetro Venturi restringido. Entre estas boquillas se tienen:

- Las boquillas de diámetro recto, se obtiene un patrón de granallado delgado, el cual es ideal para limpiar superficies angostas o en trabajos dentro de cabinas de granallado. Estas boquillas son muy utilizadas para trabajos pequeños como limpieza de partes, afinado de costillas de soldadura, limpieza de rieles, escalones, trabajos en parrillas o escultura de piedra u otros materiales.
- Las boquillas con diámetro Venturi crean un patrón de granallado amplio e incrementan la velocidad de la granalla en un 100 % a la misma presión. Este tipo de boquillas son la mejor elección para grandes volúmenes de producción en donde se aplica el chorro de granalla a superficies muy grandes. Las boquillas tipo Venturi largas, por ejemplo, tienen un incremento de cerca del 40 % en la productividad a comparación con las boquillas de inserto recto, mientras que su consumo de granalla puede ser reducido a ~40 %.
- Las boquillas doble Venturi y de entrada ancha son versiones mejoradas de las boquillas Venturi largas. Las boquillas doble Venturi han sido construidas como dos boquillas de Venturi simples en serie que generan un vacío gracias a los huecos entre ellas. De esta forma, permiten la inserción de aire atmosférico dentro del caudal de la boquilla en este segmento. El diámetro de salida es también más



amplio que el de una boquilla convencional. Así, ambas modificaciones están construidas con el fin de incrementar el tamaño del patrón de limpieza, también para minimizar la pérdida de velocidad del abrasivo.

- Las boquillas de entrada ancha (para altos volúmenes de producción) como su nombre lo indica, presentan una entrada más amplia que las boquillas Venturi normales, así como un diámetro de salida grande y divergente (1.16 N° 5). Al ser combinadas con mangueras y/o tubería de este diámetro interior de 1/4 a 1 pulg, pueden ofrecer un aumento en la producción del 15% sobre aquellas boquillas con una entrada más pequeña. También, cuando las boquillas de entrada ancha presentan un diámetro de salida grande y divergente (por ejemplo: Boquilla bazooka) pueden ser utilizadas a presiones más altas para incrementar a un 60% el patrón de granallado con menor uso de granallas.

También, se disponen de boquillas en ángulo para el granallado en sitios ajustados tales como canales de puentes, detrás de rebordes o en el interior de tuberías. Muchos operadores desperdician tiempo y granalla realizando el trabajo por medio del rebote de la granalla. El poco tiempo que toma cambiar una boquilla Venturi por una boquilla en ángulo se recupera rápidamente y el tiempo total de trabajo se reduce.

Suministro del compresor de aire

Como regla general, el sistema de suministro de aire debe ser capaz de proveer cuando menos 50% más del volumen de aire (cfm) requerido por la boquilla específica para realizar el trabajo a una presión dada, ya sean 100 o 140 lb. Esto ayudará a que la boquilla pueda continuar proporcionando un buen servicio aun a pesar de sufrir un ligero desgaste. Sin embargo, no se debe permitir un desgaste excesivo, ya que en este caso la producción decrecerá dramáticamente. Se considera siempre que el diámetro de entrada de la boquilla debe coincidir con el diámetro interior de su manguera de suministro de aire. Una combinación errónea puede provocar puntos de desgaste mayores, caídas de presión y una turbulencia interna excesiva.

Diámetro de la boquilla

Para una mayor productividad, se selecciona el diámetro de la boquilla basado tanto en el flujo de aire disponible como también de la presión de trabajo que se necesita para lograr el acabado y endurecimiento deseados. Por ejemplo: si se supone que se tiene un compresor de 375 cfm a 80% de su capacidad. Además, de la boquilla para granallado, el



compresor puede estar proveyendo aire a otros componentes como equipo neumático y el control remoto, quedando 250 cfm disponibles para la boquilla.

De acuerdo con la tabla de consumos de aire y granallas 250 cfm son lo suficiente para la sola operación de una boquilla de 7/16 pulg a 100 lb de presión, una boquilla más grande o una boquilla de 7/16 pulg ya desgastada requerirá un volumen de aire mayor para mantener la presión de 100 lb. Así, para lograr este requerimiento de flujo de aire extra, el compresor sobre trabajará o se reflejará en un decremento en la presión de trabajo. Por otro lado, si se elige una boquilla de diámetro menor al que el compresor pueda proveer resultará en un desperdicio de la capacidad instalada, lo que va en decremento de la productividad. Como se puede ver, es importantísimo elegir el diámetro que se ajuste mejor a las condiciones de trabajo (Barrientos Belloso, 2014).

Esfuerzos residuales producidos por el granallado.

Los esfuerzos residuales introducidos por el granallado son esfuerzos residuales de compresión. Estos esfuerzos residuales de compresión se superponen a los esfuerzos de tracción generados por cargas aplicadas y pueden hasta ser anulados. Así, en la superficie de la pieza se obtendrá un esfuerzo residual de compresión, el cual aumentará su valor a un esfuerzo residual de compresión máximo, disminuirá hasta llegar a un valor de cero, luego esta capa en compresión induce estados de esfuerzo de tracción en una capa siguiente en el material. A esta capa con esfuerzos residuales de compresión se le define como profundidad de compresión.

Superposición de esfuerzos de servicio y residuales.

Cuando se realiza un granallado sobre una pieza y subsecuentemente esta se somete a solicitaciones, sobre la superficie de esta pieza se desarrollará un estado de esfuerzo resultante de la diferencia entre el estado de esfuerzo producido por las cargas aplicadas y el estado de esfuerzo residual.

Las concentraciones de esfuerzos están localizadas en los radios de empalme, entalladuras, agujeros, intersección de agujeros, estriado, ranuras de chaveta, etc. La limpieza con granallas introduce esfuerzos residuales de compresión de gran amplitud para oponerse al factor de concentración de esfuerzo que resulta de esos accidentes geométricos. Este proceso es idóneo cuando se trata de materiales de altas características. El estado de esfuerzo de compresión depende directamente de la resistencia mecánica del material. Cuanto más sea el límite elástico, más fuerte será la amplitud de los esfuerzos residuales. Así, por lo general, en la medida que los metales



presentan mayor resistencia a la tracción, presentarán un mayor comportamiento a la fatiga. Estas estructuras cristalinas pueden resistir grados de esfuerzos muy importantes y así conservar mayores niveles de esfuerzos residuales.

Profundidad de la capa con esfuerzos residuales de compresión.

La selección de los parámetros del granallado y la dureza del metal a granallar influyen sobre la profundidad de la capa con esfuerzos residuales de compresión.

Además, para obtener las profundidades de los esfuerzos residuales sobre aceros de diferentes durezas se puede obtener mediante interpolaciones entre estas curvas.

(Barrientos Belloso, 2014)

1.2.2.1 Cámara de limpieza

Los cuartos de granallado son la mejor opción en la aplicación del proceso para elementos de gran tamaño y altos niveles de producción. Se construyen sobre medidas de acuerdo con las necesidades de cada cliente y bajo el mismo criterio se dotan de los elementos requeridos para su perfecta operación. Los cuartos trabajan con cualquier tipo de abrasivo y garantizan altos índices de producción. El proceso de reciclaje del abrasivo se realiza automática y simultáneamente con la operación de granallado, permitiendo el reinicio inmediato del trabajo cuando se agota la carga. Este sistema necesita cimientos extremadamente reducidas, incluso puede ser construido sin la necesidad de bases o aún en cabinas móviles tipo contenedor.

Partes del cuarto de granallado

1. Cabina modulada
2. Luminarias
3. Bocas de inducción de aire
4. Puertas
5. Protección de neopreno
6. Protección operario
7. Tanque de granallado
8. Elevador de cangilones
9. Purificador de abrasivo



10. Colector de polvo

11. Bocas de extracción de aire

12. Piso en chapa de acero

Características:

- Puertas: La puerta o puertas de servicio pueden ser metálicas de abertura manual, en cinta transportadora motorizadas o ser enrollada en el techo. La puerta o las puertas de los operadores cuentan con barra de antipánico para su apertura.
- Luminarias: Con sellado contra el polvo y el abrasivo, se dimensionan para obtener la iluminación conforme a la norma ISO 8995-1:2002.
- Cámara de trabajo: Construidas en placas de acero y atornilladas entre sí y moduladas para atender cualquier dimensión.
- Transportador horizontal de abrasivo: Posee un sistema de carros barredores o con sistema opcional de tornillo o banda transportadora o tolvas de captación junto al elevador de cangilones.
- Panel de control: Instalado en un armario blindado, equipado con sistema PLC para el control automático de las funciones del equipo, además cuenta con un sistema de seguridad que impide el proceso por chorro de abrasivo con las puertas abiertas.
- Tolva de granallado: Con certificación ASME VIII, con prueba hidrostática, control neumático. Opcionalmente, las tolvas cuentan con sensor de nivel para el abastecimiento automático del abrasivo.
- Elevador de cangilones y purificador de abrasivo: Los cangilones son construidos en fundición de alto contenido de cromo con alta resistencia a la abrasión. El elevador es accionado directamente por moto reductor. El purificador de abrasivo es altamente eficiente y fácilmente regulación.
- Sistema de extracción: La combinación de deflectores para admisión / salida de aire garantiza una excelente visibilidad, así como eliminan el desperdicio de abrasivo. El colector de polvo posee un flujo de aire descendente y filtros de cartuchos con elementos de poliéster con sistema de limpieza automática por pulsos controlados electrónicamente. Opcionalmente, entre otros elementos, el sistema puede contar sistema de disminución de ruido o filtro posterior tipo HEPA (Blasting Experts, 2019).



1.2.2.2 Tambor de limpieza. Características y régimen de trabajo.

Estas granalladoras realizan la limpieza por volteo de piezas. Por el tipo de proceso este sistema cubre un amplio espectro de necesidades, pero se puede decir que de forma general que están indicadas para cualquier pieza que por su forma y material pueda ser volteada. Todas las máquinas de volteo permiten ser integradas con facilidad en procesos continuos de fabricación, con diferentes sistemas de dosificación, carga y descarga.

Tambor metálico de giro constante (Fig. 1.3): Es adecuado para el granallado de piezas a granel que permitan ser volteadas. El giro suave y constante del tambor consigue una limpieza uniforme de las piezas. Se trata de un tambor construido totalmente en acero antidesgaste y sin articulaciones, por lo que no existe riesgo para las piezas ni para la propia máquina.

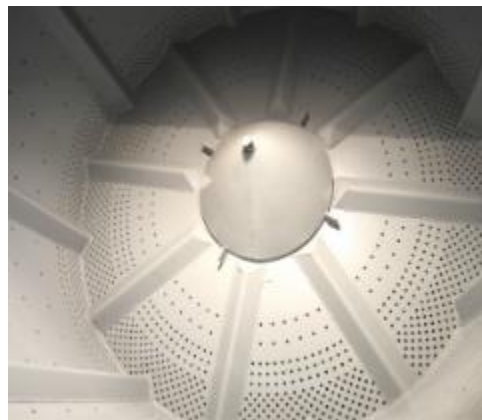


Fig. 1.3 Tambor metálico de giro constante

Tambor metálico de giro continuo (Fig. 1.4): Debido a su especial diseño consigue el granallado uniforme y en continuo de altas producciones. Su gran ventaja radica en que, al igual que el tambor metálico, su construcción es totalmente realizada en acero antidesgaste y sin articulación, por lo que su resistencia es muy alta y su mantenimiento muy bajo.





Fig. 1.4 Tambor metálico de giro continuo.

Aplicaciones del tambor de limpieza: Algunas de las aplicaciones más comunes de estos equipos están en la industria automotriz, la construcción la energía eólica, la industria del ferrocarril, la fundición y la industria naval.

En HOLMECA existe un tambor de limpieza (Fig. 1.5) para el proceso de pulido de las piezas en bruto que acaban de salir del horno.



Fig. 1.5 Tambor de limpieza perteneciente a HOLMECA



Este tambor funciona mediante el volteo continuo de las piezas en conjunto con la granalla, un elevador de cangilones sube el contenedor de granallas que se vierten en un filtro que solo deja pasar las granallas del tamaño necesario para la limpieza luego se introducen las piezas y este mediante el volteo continuo pule las piezas con la ayuda de las granallas. Luego por una tubería conectada al tambor (Fig. 1.6) se expulsa el polvo y las partículas resultantes de la limpieza.



Fig. 1.6 Tubería de escape de los polvos residuales del tambor de limpieza de HOLMECA



CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción de la máquina granalladora y su principio de funcionamiento.

Para dar cumplimiento al objetivo general de este trabajo se hizo un estudio de la máquina granalladora presente en el taller de fundación (Fig. 2.1). La sección de la misma es cuadrada lo que provoca que en el momento de proyección del metal líquido se obtengan granallas de diferentes diámetros. Las mismas chocan en la diagonal o en la pared, ya que recorren espacios diferentes, trayendo como consecuencias una diversidad de diámetros. Estas granallas se utilizan en los tambores de limpieza.



Fig. 2.1 Máquina granalladora

La figura 2.2 muestra el tambor de limpieza y la 2.3 las piezas fundidas después de la limpieza.





Fig 2.2 Tambor de limpieza.



Fig 2.3 Piezas fundidas después de la limpieza



Se realizó una valoración de una máquina granalladora (González, 2019) en la cual no se tuvo en cuenta las dimensiones y homogeneidad de las granallas, produciéndose granallas irregulares, trayendo como consecuencia que durante la limpieza de las piezas no se obtenía la calidad requerida de las mismas. Ver figura 2.4

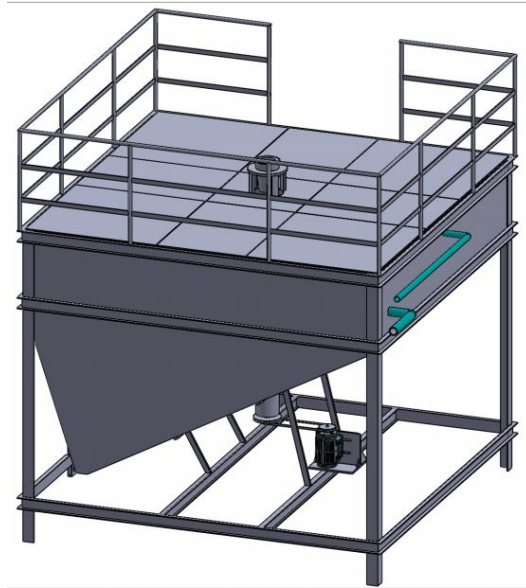


Fig 2.4 Màquina granalladora (González, 2019)



Para poder determinar las revoluciones necesarias para la fabricación de la granalla para el shot penning se hizo necesario el diseño de la máquina granalladora para poder conocer con exactitud su funcionamiento además de conocer qué tipo de transmisión presenta este equipo.

Este equipo presenta un embudo por el cual se vierte el metal fundido hacia el distribuidor (Fig. 2.5) y un motor 100 L que hace girar el eje del distribuidor dejando salir pequeñas gotas de metal fundido que se enfrían para luego ser recogidas por una compuerta en la parte inferior de la carcasa de la máquina. Esto se debe a que al ser las granallas circulares con iguales radios chocan contra los bordes de la pieza estableciendo igualdad superficial.

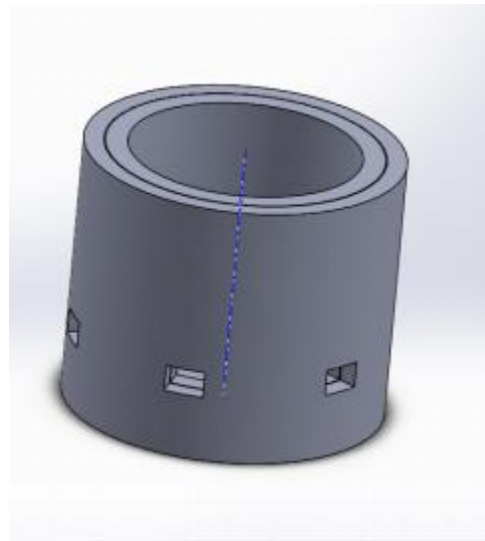


Fig. 2.5 Distribuidor de la granalla.



2.2 Sistemas de transmisión por correas

Uno de los principales sistemas de transmisión, empleados en máquinas granalladoras, es el sistema de transmisión por correas (Fig. 2.6). Este sistema está compuesto por un juego de poleas y un número definido de correas que se determina en el proceso de diseño del sistema. Este sistema se caracteriza por que incluye poco mantenimiento, es de fácil montaje y adicional a esto sus componentes son relativamente económicos con respecto a otros sistemas de transmisión.



Fig. 2.6 Transmisiones por correa

Los sistemas de transmisión por correas, dado la flexibilidad de las correas permiten montajes cruzados y montajes con múltiples poleas para conectar varios componentes y de esta manera transmitir el movimiento generado en una polea conductora a varios dispositivos de la máquina, pudiendo modificar sus características de velocidad y sentido, esto presenta gran ventaja para la producción de granalla debido a que es necesario variar las revoluciones para producir diferentes tipos de granallas.

Este sistema de transmisión tiene muchas ventajas entre las más importantes se encuentran:

- El sistema es muy fiable y pocas veces falla a menos que el sistema se someta a cargas o esfuerzos superiores a los de diseño.
- La marcha o funcionamiento es silencioso, debido a las características de los materiales, con los que se construyen las correas se produce poco ruido en su funcionamiento.
- El sistema tiene la capacidad de absorber los choques y vibraciones. Durante la puesta en marcha, se generan choques y vibraciones producto del esfuerzo inicial, al que se somete el sistema al recibir la inercia generada en el elemento motriz.



- No necesita lubricación. Dado que el movimiento se transmite por medio del rozamiento generado entre las poleas y la correa, la lubricación no es necesaria y si se incluyera las correas se deslizarían sobre las poleas.
- Se pueden conectar árboles en cualquier posición, es decir los árboles o ejes pueden ser paralelos o cruzados.
- El sistema es económico comparado con otros sistemas de transmisión.
- Las correas tienen una cierta elasticidad.

Por estas razones es tan usado en aparatos electrodomésticos (neveras, lavadoras, lavavajillas), electrónicos (aparatos de vídeo y audio) y en algunos mecanismos de los motores de combustión interna (ventilador, distribución, alternador, bomba de agua).

Su principal desventaja consiste en que cuando la tensión es muy alta la correa puede llegar a salirse de la polea, lo que en algunos casos puede llegar a provocar alguna avería más seria. Algunas otras desventajas que incluye el sistema de transmisión por correa son:

- En el sistema de transmisión por correas se incluyen grandes esfuerzos sobre los cojinetes, debido a la tensión inicial o de puesta en marcha de la máquina.
- Se produce el fenómeno de resbalamiento, es decir la correa puede resbalarse sobre la polea y no hay una transmisión efectiva.
- El montaje de sistema de transmisión incluye en algunas ocasiones elementos especiales de tensión.
- La longitud de la correa puede variar por efectos de la temperatura y la humedad.

Las correas se fabrican de varios tipos de materiales, siendo los más comunes el cuero, la goma sintética, algunas fibras textiles, materiales sintéticos y en algunos casos, donde las potencias son considerables, se emplean fibras internas en las correas o líneas de alambre de acero para aumentar su resistencia (Andersson, 2015).

2.3 Clasificación de los sistemas de transmisión por correas

En el sistema de transmisión por correas se pueden identificar características específicas de las correas, las poleas y de las diferentes disposiciones en sus montajes.

Estas características nos permiten clasificar los sistemas con respecto a las mismas.

Las correas pueden tener diferentes formas, dentro de las más comunes están las correas planas, las trapezoidales o en V y las correas de dientes o dentadas (Fig. 2.7).





Fig. 2.7 Diferentes tipos de correas

Las correas planas (Fig. 2.8) son ampliamente empleadas para transmitir potencia e ideales cuando los diámetros de las poleas son muy pequeños dado que las correas son altamente flexibles y se adaptan a los contornos pequeños de las poleas. Estas correas también son ideales cuando se quiere variar el sentido de rotación de ejes o emplear disposiciones de ejes cruzados, por lo que se puede afirmar que son altamente adaptables a cualquier configuración de la transmisión.



Fig. 2.8 Correas planas

Las correas planas proporcionan buena resistencia al choque, no necesitan lubricación, son silenciosas, ofrecen excelente flexibilidad y su costo es comparativamente bajo. Una desventaja de este tipo de correas es que requieren tensiones más altas que las correas en V, debido a que las poleas no poseen canales sobre los cuales transita la correa, es decir, las poleas son similares a cilindros; esta condición implica que se impriman altas cargas sobre los cojinetes.

Las correas en V (Fig. 2.9) son ampliamente empleadas a nivel industrial dado que en este diseño se corrigen los problemas de inestabilidad y elevadas tensiones. Estas correas tienen secciones en forma de V y se introducen en poleas con ranuras con el objetivo de transmitir potencia de una forma más segura y confiable.





Fig. 2.9 Correas en V

Las correas dentadas (Fig. 2.10) son un caso especial de correas, en las cuales se construyen dientes en su cara posterior o interna para generar un efecto de transmisión por empuje con las poleas que también poseen los mismos dientes, estas correas son preferibles cuando se requiere evitar el deslizamiento entre la correa y la polea y cuando las cargas por choques y vibraciones son mínimas dado que esto representaría que se cizallaran los dientes de la correa. Aunque también hay que mencionar que los diseños de actuales incluyen líneas de refuerzo que las hacen altamente resistentes (Andersson, 2015).

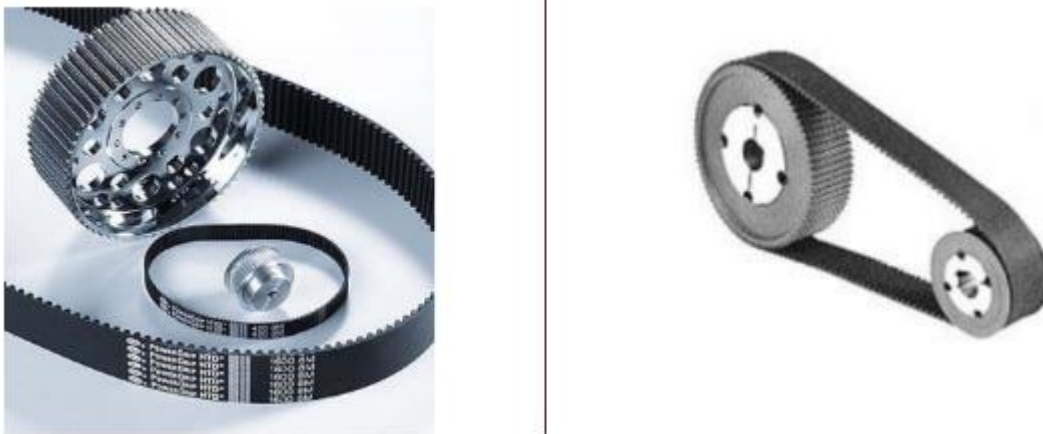


Fig. 2.10 Correas dentadas

En la máquina granalladora de la fábrica Héroes 26 de julio la polea presente es Tipo V debido a sus ventajas.



2.4 Tipos de poleas

A nivel práctico algunas máquinas permiten variar la velocidad lo cual se logra empleando bloques de poleas (Fig. 2.11) o poleas cónicas, con lo que se incluyen múltiples relaciones de transmisión sin necesidad de componentes adicionales. Este mecanismo permite tener un efecto reductor o multiplicador simplemente variando la posición de la correa. Por esto se emplea este sistema en la máquina granalladora.

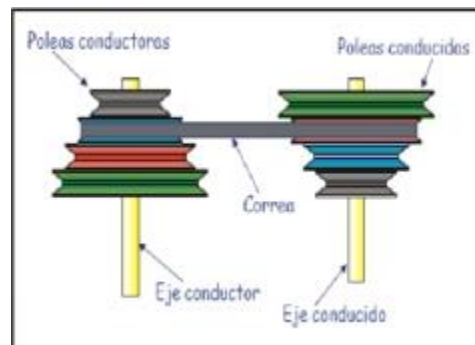


Fig. 2.11 Bloques de poleas

Este tipo de transmisión está basado en la polea y se utiliza cuando la distancia entre dos ejes de rotación es grande. El mecanismo consiste en dos poleas que están unidas por una misma correa o por un mismo cable, y su objetivo es transmitir del eje de una de las poleas al de la otra.

Ambas poleas giran solidarias al eje y arrastran a la correa por adherencia entre ambas. La correa, a su vez, arrastra y hace girar la otra polea (polea conducida o de salida), transmitiéndose así el movimiento.

Al igual que en el caso de las ruedas de fricción, el número de revoluciones (o vueltas) de cada eje vendrá dado por el tamaño de las poleas, de modo que, la polea mayor girará a una velocidad más baja que la polea menor.

Basándose en esta idea se pueden encontrar dos casos básicos:

1. La polea de salida (conducida o polea del distribuidor) gira a menor velocidad que la polea de entrada (motriz o del motor). Este es un sistema de poleas reductor de velocidad (Fig. 2.12).



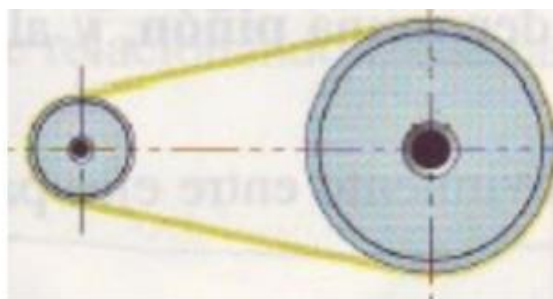


Fig. 2.12 Sistema de poleas reductor de velocidad.

La polea de salida (conducida o del distribuidor) gira a mayor velocidad que la polea de entrada (motriz o del motor). Este es un sistema de poleas multiplicador de velocidad (Fig. 2.13).

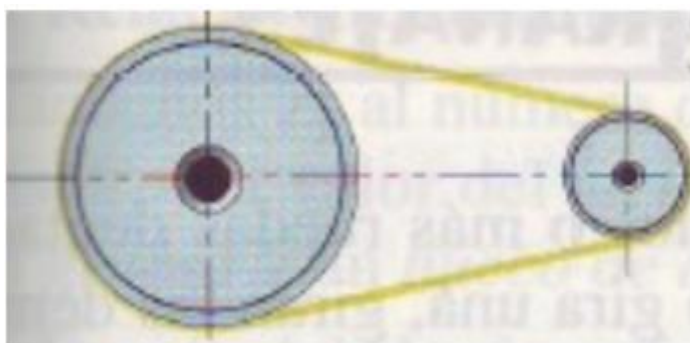
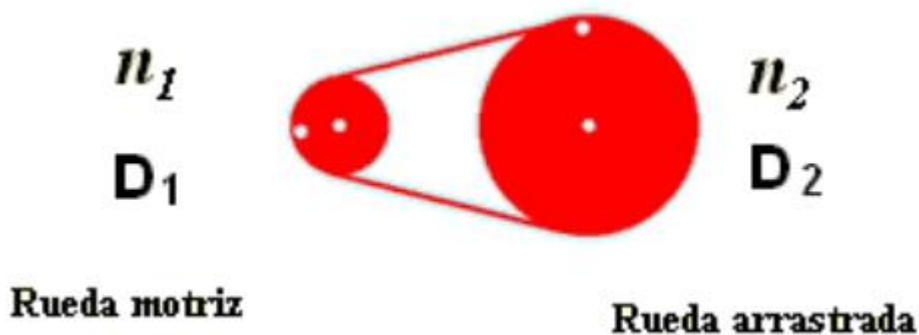


Fig. 2.13 Sistema de poleas multiplicador de velocidad.

La relación de transmisión entre ambas poleas se define de modo similar al sistema de ruedas de fricción (Asenjo, I., et al. 2007).



$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$



n_2 es la velocidad de la rueda conducida (rueda del distribuidor).

n_1 es la velocidad de la rueda motriz. (rueda del motor)

D_1 es el diámetro de la rueda motriz (rueda del motor).

D_2 el diámetro de la rueda conducida (rueda del distribuidor)

Nota: Si el sistema es reductor, la cifra del numerador es más pequeña que la cifra del denominador y si el sistema es multiplicador, la cifra del numerador es mayor que la del denominador.

2.5 Concepto de momento torsor.

Cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo capaz de girar sobre un eje produce un movimiento de rotación o giro. La magnitud que mide la intensidad del giro se denomina momento torsor, (es decir, la intensidad o potencia del empuje que hace girar el cuerpo).

El momento torsor y la velocidad transmitidos por un sistema de poleas están estrechamente relacionados con el valor de la relación de transmisión del sistema.

$$i = \frac{M_1}{M_2}$$

Siendo:

M_1 el momento torsor de la polea motriz o polea de entrada.

M_2 el momento torsor de la polea conducida o polea de salida.

Se puede observar que:

Si $i < 1$ (reductor), $M_2 > M_1$. En este caso, la velocidad de la rueda conducida es menor que la de la polea motriz, pero el momento torsor resultante es mayor.

Si $i > 1$ (multiplicador), $M_2 < M_1$. En este caso, la velocidad de la rueda conducida es mayor que la de la polea motriz, pero el momento torsor resultante es menor.

Si se desea mayor momento torsor, utilizaremos un sistema reductor, y si se desea desarrollar mayor velocidad utilizaremos un sistema multiplicador, pero desarrolla un momento torsor menor (Batista-Cabrera, 2000).

2.6 Determinación de las revoluciones necesarias para la obtención de granalla aplicable para shot penning.

La granalla en la empresa Héroes 26 de julio se fabrica a partir de metal fundido en una máquina (Fig. 2.14) para su fabricación dicha máquina fabrica las granallas a partir de las revoluciones suministradas por un motor a una polea de un distribuidor, este gira dejando salir las granallas, las cuales salen de la máquina con un diámetro admisible para el



empleo en el tambor de limpieza pero no se pueden aprovechar al máximo debido a que la mayoría no cumplen las condiciones para el proceso de shot penning. Para la obtención de una granalla admisible, al proceso de shot penning se hace necesario la determinación de las revoluciones de la máquina granalladora.



Fig. 2.14 Máquina granalladora perteneciente a HOLMECA

Esta máquina posee un motor 100 L (Fig. 2.15) que proporciona a la máquina 1 200 r/min, pero con estas revoluciones las granallas que se obtienen poseen un diámetro sin control.



Fig. 2.15 Motor de la máquina granalladora



Por ello mediante la siguiente fórmula se determinará el número de revoluciones requerido:

$$d_1 n_1 = d_2 n_2$$

Donde:

n_2 es la velocidad de la rueda del distribuidor.

n_1 es la velocidad de la rueda del motor.

d_1 es el diámetro de la rueda del motor.

d_2 el diámetro de la rueda del distribuidor

Siendo n_2 la incógnita de nuestro problema, se procede a despejar n_2 de la siguiente manera:

$$n_2 = d_1 n_1 / d_2$$

Se tiene que inicialmente el motor posee unas r/min de 1 200, el diámetro de la rueda del motor es de 800 mm y el diámetro de la rueda del distribuidor es de 800 mm.



Fig. 2.16 Polea del motor de la máquina granalladora

Entonces:

$$n_2 = 800 \times 1\,200 / 800$$

$$n_2 = 1\,200 \text{ r/min}$$

Y con 1 200 r/min se obtienen granallas de un diámetro de 3 a 5 mm que son demasiado grandes para el proceso que se requiere, por tanto, es necesario determinar una nueva revolución.

La rueda del motor no varía pues es una sola pero la del distribuidor si entonces:

$$n_2 = 800 \times 938 / 500$$

Se obtiene que:

$$n_2 = 1\,500 \text{ r/min}$$

Con 1 500 rpm el diámetro de la granalla es de 2 a 4 mm aún demasiado grande para lo que se quiere por tanto es necesario recalcular n_2 .



$$n_2 = 800 \times 1\,000 / 400$$

Se obtiene que:

$$n_2 = 2\,000 \text{ r/min}$$

Con 2 000 r/min el diámetro de las granallas está entre 1,5 y 2,5 que es un diámetro aceptable para el chorro de presión.

Para poder determinar el diámetro exacto de la granalla según las revoluciones se emplea un tamiz (Fig. 2.17). El conocimiento del tamaño de grano y de la distribución por tamaño de las partículas en los sólidos dispersos es de gran importancia para aplicaciones de investigación y desarrollo, producción y control de calidad. Todos estos aparatos pueden usarse para el tamizado por vía seca y húmeda. Su accionamiento electromagnético patentado genera un movimiento de proyección tridimensional que hace que el material se mueva uniformemente por toda la superficie de malla libre del tamiz aprovechándola de forma óptima. El ajuste de la amplitud en los aparatos de la serie control es digital, garantizando la separación exacta del material incluso con tiempos de tamizado muy cortos. Estos aparatos proporcionan resultados exactos y reproducibles al cumplir con todos los requisitos de la norma DIN EN ISO 9000 para equipos de medición y control (Bedolla-Jacuinde, A., et al. 2003).



Fig. 2.17 Tamiz

Con estos cálculos se pudo observar que para obtener el diámetro requerido de la granalla es necesario variar la rueda conducida o rueda del distribuidor a un menor diámetro y variar la velocidad del motor para obtener un sistema de transmisión de poleas multiplicador para poder producir la granalla deseada para el proceso de chorro de presión.



La Fig. 2.18 muestra la propuesta de diseño de una máquina granalladora para producir granallas homogéneas y la Fig. 2.19 muestra la vista interior de la máquina utilizando Solidworks. Ver en el Anexo el plano de la máquina



Fig. 2.18 Máquina granalladora para producir granallas homogéneas.

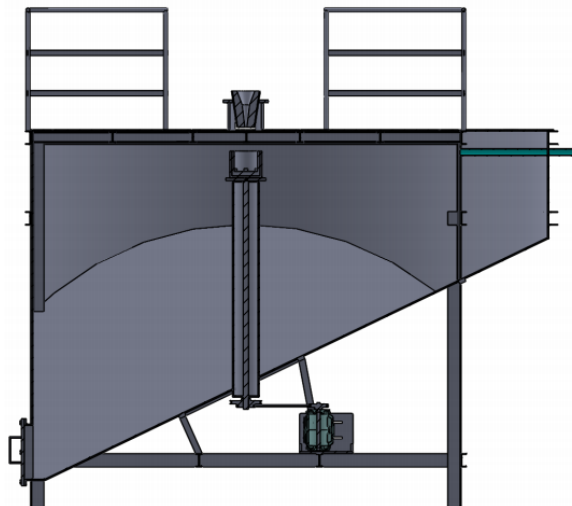


Fig. 2.19 Vista interior de una máquina para producir granallas homogéneas.



CONCLUSIONES

1. Se realizó una revisión bibliográfica sobre los métodos de limpieza de las piezas fundidas que permitió conocer los diferentes métodos y las ventajas de los mismos.
2. Se ha comprobado que método de granallado producirá mejores resultados que el chorro de arena, dotando así a la pieza de un correcto acabado.
3. Para utilizar el método de granallado se requiere conocer el tipo de material, el tamaño y forma de las partes y la condición de la superficie a limpiar, más la especificación que define la calidad superficial, ya que las mismas tienen influencia directa sobre la selección del sistema de granallado, del abrasivo y la definición del procedimiento.
4. Se hizo una descripción de la máquina granalladora y su principio de funcionamiento.
5. Se propuso el diseño de una máquina para producir granallas homogéneas



RECOMENDACIONES

1. Aplicar los resultados de esta investigación en la producción de granallas en HOLMECA.
2. Generalizar estos resultados en las empresas fundidoras del país para lograr una mejor calidad de la limpieza de las piezas fundidas.
3. Que los estudiantes visiten el taller de fundición para que conozcan este tipo de máquina y cómo se obtienen las granallas.



BIBLIOGRAFÍA

1. Andersson, S. (2015). "*Study of Dross in Ductile Cast Iron Main Shafts*". Department of Health, Science and Technology, Division of Science and Technology. Sweden, Karlstads University. Máster en Ciencias: 71.
2. Asenjo, I., et al. (2007). "*Effect of mould inoculation on formation of chunky graphite in heavy section spheroidal graphite cast iron parts.*" International Journal of Cast Metals Research 20(6): 319-324.
3. Batista-Cabrera, A. (1999): "*Tecnología de desulfuración en Cazuela con el fin de obtener hierro con grafito esferoidal.*" Ingeniería Mecánica.
4. 9. Batista-Cabrera, A. (2000). "*Influencia del azufre en el rendimiento de las piezas de hierro nodular obtenida por el método "Ind- Mold".*" Mundo Mecánico (6).
5. Barrientos Belloso, William Alexander, 2014: "*Limpieza mediante sandblasting*", (consultado 24/03/2019). <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20613/Capitulo2.pdf>
6. Bedolla-Jacuinde, A., et al. (2003). "*Effect of niobium in medium alloyed ductile cast irons.*" International Journal of Cast Metals Research 16(5): 481-486.
7. Castro-Román, M. J. (1991). "*Etude experimentale et modelisation de la solidification des pieces coulees en fonte a graphite spheroidal*". Lorraine, Francia, Institut National Polytechnique de Lorraine.
8. *Estudio de la influencia de diferentes diseños de los sistemas de alimentación y compensación en la fundición en arena* (consultado 15/04/2019) <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60372/fichero/PFC+Jose+2+La+fundici%C3%B3n+en+arena.pdf>
9. .Genderevich, N. A. (1999). "*Elección del modificador para la obtención de Piezas de hierro de alta resistencia modificado en el molde (en ruso).*" LiteinoeProistbostba (2): 16-17.
10. González, C. A. (2019). *PRODUCCIÓN DE GRANALLA EN HOLMECA*. Holguín.
11. Industrias de fundición Tupy LTDA: "*El proceso de granallado*" (consultado 23/03/2019) http://www.tupy.com.br/downloads/pdfs/granalhas/grana_esp.pdf



12. Technical Data. MG 308: For Flow Through Nodulizing Techniques. Año.2001.
13. Torres Jaramillo, Santiago Ramiro 2013: *“Diseño y construcción de un prototipo de una estación de limpieza mecánica mediante el proceso de sandblastig utilizando granalla mineral en ciclo continuo para una unidad de mantenimiento y transporte”* (consultado 10/04/2019) <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7440/1/T->



ANEXO



Plano general de la máquina granalladora

