



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Diseño y análisis de armadura para máquina pulidora de placas de mármol mediante la herramienta Simulation de Solidworks



Colaboración

Pedro Cruz Ortega; Adolfo Manuel Morales Tassinari; Javier Guevara Rivera, Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez

RESUMEN: El presente trabajo tiene como propósito mostrar el diseño de una armadura o carcasa que se usará como parte fundamental de una máquina que ayudará a la eficacia del proceso de pulido de placa de mármol de la empresa “Corte, Pulido y Laminao de Mármol Solano” localizada en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, actualmente la empresa no cuenta con un equipo de este tipo. Se parte de la idea de que el componente debe interactuar simultáneamente entre dos máquinas, la primera de ellas es una pulidora tipo “brazo” y la segunda de ellas es una cortadora tipo “puente”. Para llevar a cabo este diseño se analizaron los requerimientos cinemáticos y de operación requeridos por la empresa respecto a las velocidades de operación del proceso de pulido; a partir de los datos obtenidos por medio de un método convencional de diseño se plantea el esbozo de la armadura de la máquina; para corroborar los resultados, se utilizó el software Solidworks 2016, para un análisis más detallado de la misma.

Palabras clave: Armadura, carcasa, diseño, mármol, plato pulidor, pulidora.

ABSTRACT: The purpose of the present work is to show the design of an armor or carcass to be used as a fundamental part of a machine that will help the efficiency of the marble slab process of the company Solano Marble Cut, Polished and Laminate In Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico, the company does not currently have such equipment. It starts from the idea that the component must interact simultaneously between two machines, the first one is an “arm” type polisher and the second one is a “bridge” type cutter. In order to carry out this design we analyzed the kinematic and operating requirements required by the company regarding the speed of operation of the polishing process; From the data obtained by means of the conventional method of design the outline of the armature of the machine is proposed; To corroborate the results, the software Solidworks 2016 was used, for a more detailed analysis of the same one.

Key words: Armature, carcass, design, marble, polishing plate, polisher.

INTRODUCCIÓN

Los mármoles son rocas sedimentarias carbonatadas (principalmente calizas) que por un proceso de metamorfismo han alcanzado un alto grado de cristalización. Sin embargo, esta denominación se ha extendido a otras rocas semicristalinas, con o sin carbonato cálcico, que admiten el pulimento adquiriendo cierto brillo, como los “mármoles” verdes, que consisten en serpentinas con un contenido nulo de carbonato cálcico, o los travertinos que son rocas calizas sedimentarias y no metamórficas, y algún tipo de calizas. Al microscopio no presenta orientación estructural, es muy compacto. Tiene mayor dureza, resistencia y durabilidad que las calizas. El valor del mármol se encuentra directamente vinculado a las peculiaridades mencionadas de color, textura y transparencia, a las cuales habría que añadir un cuarto elemento, representado por el tamaño de los bloques extraídos en los yacimientos [1].

Toda cadena productiva requiere de una infraestructura física adecuada que permita el buen desempeño de sus actividades, el mármol no escapa a esta condicionante. En México la industria del mármol se encuentra moderadamente desarrollada y en términos generales su explotación se realiza en pequeña escala. A pesar de que se tiene la certeza de que existen reservas de muy buena calidad, sólo unas cuantas empresas disponen de la infraestructura física y material, así como del recurso humano calificado para la extracción, el beneficio y la comercialización.

Por otra parte, la falta de infraestructura adecuada por parte de algunas empresas, llega a afectar la actividad productiva, especialmente durante la temporada de lluvias, pues con frecuencia, las condiciones de alto deterioro de los caminos y de las rutas de acceso a las canteras o a las plantas de beneficio suelen dificultar, o incluso impedir por completo, el tránsito de los camiones que transportan el mármol en bruto o transformado, que dicho sea de paso, son materiales de un peso y volumen considerables [2].

Hasta los años sesenta, la maquinaria y los métodos de abrasión y pulido de mármol eran los mismos que se utilizaron antes de la Segunda Guerra Mundial. En un principio, se utilizaban "pulidoras", consistentes en una placa grande con abrasivos de arena o carborundo; algunas de ellas todavía estaban funcionando a principios de los años treinta; luego se introdujeron pulidoras de mano alimentados por correa y éstas, a su vez, fueron reemplazadas por la última generación de pulidoras con un motor y una unidad reductora estrechamente montados sobre el eje [3]. La Figura 1 muestra la imagen del proceso tradicional de pulido.



Figura 1. Proceso tradicional de pulido. Tomada de [3]

En contraste a lo anterior hoy en día se observa con facilidad el hecho de que se han realizado grandes avances en este campo. Las máquinas más recientes han proporcionado un acabado superficial óptimo y pueden pulir mármoles blancos a razón de 2m²/h y los coloreados a 1,5m²/h, gracias a nuevos abrasivos en forma de pequeñas pastillas de fricción. Estas máquinas están todavía en uso en la actualidad donde los acabados de alta calidad, especialmente en piezas producidas en un número limitado, son necesarios [3].

Actualmente, los discos de pulido se accionan a través de husillos de rotor patentados, que han sido construidos como sistema monoblock con deslizamiento vertical controlado. Además, los discos pulidores que se utilizan en óptimas condiciones operativas realizan la mejor calidad de pulido con menor consumo de herramienta abrasiva [4]. La Figura 2 muestra la imagen de una serie de cabezales de pulido de la maquina automatizada.



Figura 2. Pulidora automatizada. Tomada de [4]

En el municipio de Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, existen canteras de materiales pétreos diversos; en consecuencia, la actividad económica se basa en gran medida a los empleos en canteras o fábricas transformadoras de mármol. Actualmente existen microempresas que utilizan los remanentes de dichas fábricas, por lo que continuamente se requiere del diseño de maquinaria para lograr el crecimiento de las mismas. Por otra parte, existe maquinaria que en ocasiones es modificada para lograr más de un propósito de fabricación, sin embargo; esto es poco factible al momento de la producción por las malas adaptaciones que involucran tiempos y paros innecesarios.

El presente trabajo tiene como propósito mostrar el diseño de una armadura o carcasa que se usará como parte fundamental de una máquina que ayudará a la eficacia del proceso de pulido de placa de mármol de la empresa "Corte, Pulido y Laminado de Mármol Solano" localizada en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México. Partiendo de la premisa de que el componente debe interactuar simultáneamente entre dos máquinas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa "Corte, Pulido y Laminado de Mármol Solano", se dedica al corte, pulido, laminado y venta en acabados de mármol, para pisos, decoraciones en baños, fachadas, etcétera; de acuerdo con las necesidades de sus clientes. Debido al crecimiento paulatino existen en la empresa necesidades de producción, para las cuales se requiere el diseño de un sistema de pulido de mármol para acabados especiales que interactúe entre dos de las máquinas que la empresa ya posee: una pulidora de brazo y una cortadora de puente. La Figura 3 muestra la pulidora de brazo convencional.

se distribuya uniformemente desde el centro hasta el perímetro del plato de pulido, esto es debido a que la flecha del mandril debería de ser hueca, en lugar de esto se tienen regaderas laterales que no permiten un buen funcionamiento de los abrasivos y propician al desgaste temprano; así mismo la calidad de los diferentes tipos de acabado también se ve afectada.

Por otra parte una cortadora de placas de mármol tipo puente es una máquina que se compone de una mesa de hormigón en la cual se colocan las placas de mármol, esta mesa puede ser fija o móvil verticalmente, la cortadora tiene un carro porta discos que se desplaza de forma transversal (mediante un sistema hidráulico o mecánico) y longitudinal (mediante un sistema piñón cremallera) para poder realizar diferentes medidas de corte; el mandril es accionado mediante transmisión por bandas y un motor eléctrico; una de las ventajas de esta máquina es que puede automatizarse total o parcialmente. La Figura 4 muestra la cortadora de puente convencional.



Figura 3. Fotografía de la pulidora de brazo convencional



Figura 4. Fotografía de la cortadora de puente

La pulidora de brazo se compone de una mesa de hormigón en la cual se colocan las placas de mármol, además se compone de una estructura articulada con un mandril vertical el cual soporta un plato al que se le colocan diversos tipos de abrasivos; el mandril es accionado mediante transmisión por bandas y un motor eléctrico.

Como puede apreciarse en la imagen, la pulidora de brazo tiene un cabezal de pulido sin embargo no es funcional por no ser desmontable, por lo que no puede acoplarse a otro equipo; por otra parte su diseño no permite que el agua de enfriamiento

Al hablar del diseño de armaduras o carcasas y de elementos de soporte para maquinaria, puede mencionarse que dicho diseño suele constituir uno de los mayores retos en el desarrollo de la misma; algunos autores mencionan que: en el diseño de estos elementos suele incorporarse la mayor parte de la masa total de la máquina y que esto influye considerablemente en los costos de manufactura. De lo anterior también se argumenta que el diseño de este tipo de elementos se basa en métodos heurísticos sin el apoyo de metodologías y herramientas informáticas. Se menciona conjuntamente que el proceso de desarrollo o ciclo de vida sigue la

estructura del diseño tradicional o secuencial, donde las diferentes actividades de diseño se ejecutan una a continuación de la otra, con pocas retroalimentaciones [5].

Con el objetivo de lograr una nueva concepción en el proceso de diseño de nuestra armadura se utiliza la metodología propuesta en [5], la cual establece cuatro dominios que van desde la captura de los requerimientos del constructor de armaduras, hasta la definición conceptual de la misma.

Paso 1. Dominio de los usuarios.

Paso 2. Dominio funcional.

Identificar los modos de operación.
Identificar la función global.

Paso 3. Dominio modular.

Analizar la estructura funcional.
Identificar los módulos enlazados.

Paso 4. Dominio de análisis.

Establecer los parámetros para evaluar los conceptos.
Evaluar los conceptos.
Seleccionar los conceptos.

Lo anterior explica que, en base a los dominios: funcional, modular y de análisis existen conceptos claves que deben ser tomados en consideración al momento de realizar un diseño de una armadura o carcasa.

Con esta metodología se espera obtener el diseño de la armadura que es parte fundamental en el diseño integral de una pulidora de acabados de mármol; con el diseño de esta maquinaria se espera hacer más eficiente el proceso productivo de la empresa "Corte, Pulido y Laminado de Mármol Solano".

Es importante mencionar que el trabajo se complementa haciendo uso de un software CAD, concretamente Solidworks Simulation.

Paso 1: Dominio de usuarios

El primer dominio permite identificar cuáles son los requerimientos del constructor de armaduras que inciden desde los diferentes escenarios establecidos en el diseño y desarrollo de las mismas. El diseño inicial de nuestra armadura se basa en los datos que se presentan en la Tabla 1, estos datos fueron obtenidos en campo como las características que se consideran necesarias para la elaboración del mecanismo de pulido final y su adecuado funcionamiento; estos datos fueron útiles posteriormente para los cálculos.

Tabla 1. Datos para el diseño del mecanismo de pulido.

Elemento	Datos
Polea	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro externo de polea 20 cm. • Radio de polea 10 cm. • Garganta de polea 1.6 cm. • Cuerpo de polea 2 cm. • Diámetro de llanta 14 cm. • Eje de polea 4.5 cm. • Chavetero de polea 1 cm. • Altura de polea 6.5 cm.
Eje del mandril	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del eje 5 cm. • Radio del eje 2.5 cm. • Longitud del eje 60 cm.
Disco para pulido	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de disco 35 cm. • Espesor de disco para pulido 1 cm.
Soporte en pulidora de brazo y para la cortadora de puente	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de soporte 24 cm. • Ancho de soporte 12.6 cm. • Espesor de soporte 5.5 cm.
Motor eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • 1800 rpm ambos motores
Brazo de carcasa	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de brazo 26 cm. • Ancho de brazo 16 cm. • Espesor de brazo 3 cm.

Paso 2. Dominio funcional

Identificar los modos de operación

Con respecto al modo de operación es importante mencionar que el elemento a diseñar solo se utilizará para pulir placas que exceden las dimensiones de la pulidora de brazo por que esta solo pule placas de alrededor de 1.00 m x 1.50 m Con ayuda de la cortadora de puente y el aditamento diseñado se espera pulir placas de 1.50 m x 3.00 m Debido a la versatilidad requerida, el procedimiento de cambio del sistema de la pulidora de brazo a la cortadora de puente, solo se realizará por medio de un soporte común y anclaje por medio de tornillería.

Identificar la función global

La función global de la armadura es resguardar y alinear la flecha de transmisión vertical, así como proporcionar soporte a los respectivos rodamientos de la misma. Debe tenerse en cuenta que una flecha bien alineada implica un disco pulidor estable en cuanto a su posición horizontal la cual es indispensable para un pulido uniforme y evitar acanaladuras en el material y en el peor de los casos una posible oscilación del plato pulidor.

Paso 3. Dominio modular

Analizar la estructura funcional

En la Figura 5 se presenta el bosquejo realizado de la pulidora de acabados, de esta manera se puede

identificar y analizar cada componente. Se identifica la armadura y su funcionalidad, así como la flecha vertical la cual sostendrá un plato pulidor, la flecha girará por medio de la polea; posibles aditamentos como guarda polvos y manijas de operación se muestran también. Para este propósito se utilizó la herramienta Solidwork 2016.

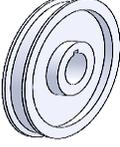
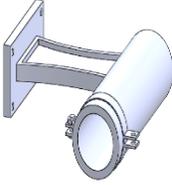
El diseño de la armadura comprende: maquinados especiales, tipo de material, así como selección y resistencia de soldadura.

La selección de rodamientos está en función de las velocidades de trabajo, las horas de trabajo y el tipo de carga aplicada, se debe considerar su lubricación.

La camisa comprende un diseño en función de las dimensiones de la carcasa y de la flecha.

El plato de pulido deberá sostener 5 abrasivos la masa total del mismo es de 3.5 kg.

Tabla 2. Datos iniciales para el bosquejo de la armadura.

Componentes de la pulidora	Nombre	Descripción
	Polea para el eje	Selección de polea estándar en este caso en "v". Se encarga de la transmisión de potencia del motor hacia la flecha o eje.
	Eje o flecha	Este eje o flecha es hueco de material acero. Montada sobre dos rodamientos y sostiene al plato pulidor. Se encarga de la transmisión de potencia al plato de pulido.
	Armadura o carcasa exterior de pulidora.	La armadura o carcasa es una pieza dura y resistente, que da soporte y protege a otras partes del equipo (rodamientos y flecha).
	Rodamientos de bolas, de ranura profunda	Los rodamientos rígidos de bolas son adecuados para aplicaciones de alta velocidad.
	Camisa para el eje	Esta camisa se utiliza solo para levantar y cubrir el eje o flecha al cambiar las láminas de mármol.
	Disco para pulido	Este disco es para dar pulido a las piezas, lleva abrasivos intercambiables.

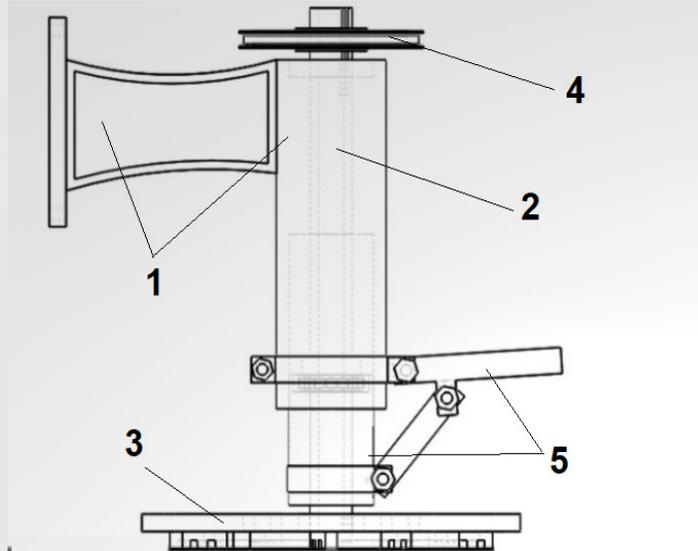


Figura 5. Bosquejo inicial de la pulidora de acabados

Identificar los módulos enlazados

En la Figura 5 se puede observar que la armadura o carcasa es un barril cilíndrico que albergará una flecha vertical montada en dos rodamientos, al respecto deberá tenerse en cuenta en el diseño el montaje de posibles retenes, graseras y anillos de retención; la flecha girará mediante transmisión con bandas y una polea. La armadura tiene un brazo de montaje el cual debe tener características o medidas específicas para el montaje en ambas máquinas. Por otra parte, la flecha deberá ser hueca y su maquinado incluirá los cuñeros de montaje de polea, así como los de montaje del plato de pulido.

En la Tabla 2 se analizan las diferentes interacciones de la carcasa a diseñar, con los demás elementos del sistema de una pulidora de acabados.

Paso 4. Dominio de análisis

Establecer los parámetros para evaluar los conceptos.

La selección de la polea está en función del diámetro de la flecha y la relación de velocidades.

El diseño de la flecha está en función de la velocidad de la polea, la masa del disco, el torque y el tipo de rodamientos etcétera.

Evaluar los conceptos

Del análisis y selección de los elementos de máquina se obtuvieron los siguientes datos necesarios para el diseño de la armadura

-Mediante la Ec. (1) se obtuvo una velocidad para la polea de 490 rpm.

$$D1n1 = D2n2 \quad \text{Ec. (1)}$$

-Para el diseño del eje o flecha se propone un material ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200), las características de este acero están contenidas en la norma ASTM A108. Los cálculos realizados en el diseño de la flecha quedan fuera del alcance de este trabajo sin embargo debe mencionarse que la flecha no sufrirá pandeo y los esfuerzos cortantes a los que será sometida son aceptables.

-En base a las condiciones de trabajo y a la información recabada en la Tabla 1, se proponen rodamientos de bolas Tipo Abierto 6210, que facilitan la tarea de lubricación. Por otra parte, los rodamientos de bolas son los más comunes y utilizados en las aplicaciones de maquinaria, siendo capaces de soportar cargas axiales y radiales es decir cargas combinadas. Su característica principal es la velocidad de giro, siendo esta superior que en otros tipos de rodamientos [6].

La Figura 6 muestra una vista de sección de los elementos de la pulidora de acabados en su totalidad la cual interactuara entre la pulidora de brazo y la cortadora de puente, nótese que la sección más tenue corresponde a la carcasa que debe diseñarse, la cual se compone de un cilindro, un brazo y una base para su montaje.

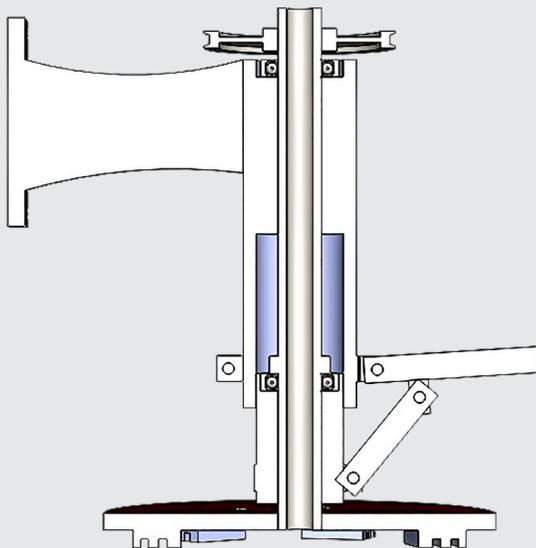


Figura 6. Vista de sección de la pulidora y la carcasa

Seleccionar los conceptos

De la información obtenida se determina que el soporte o brazo para el cambio entre máquinas ira soldado al cilindro, esto debido a que cada componente

para su fabricación debe ser maquinado individualmente y después se unen por medio de soldadura.

Debido a que el pulido se consigue mediante abrasión, pasando por diferentes granulometrías cada vez más finas que dan a la piedra ese aspecto de "brillante", se realizó el análisis del disco por medio de Solidwork 2016, conforme a las dimensiones del eje, el efecto debido a la torsión es muy mínimo, por que el agua de lubricación disminuye el coeficiente de fricción entre el abrasivo y el material a trabajar por lo cual no es de consideración para el diseño.

En la Tabla 3 se analizan las dimensiones finales propuestas para los elementos de la armadura o carcasa a diseñar (cilindro, brazo y base de sujeción). Debido a que el cilindro debe cumplir con la función de resguardar a la flecha y alojar a los rodamientos, se plantea una medida estándar de tubo estructural de 4" equivalente a 101.6 mm, el diámetro y profundidad de la caja corresponden al diámetro exterior y ancho del rodamiento respectivamente [7].

Las dimensiones del brazo y la base para montaje serán sometidas a validación en Solidworks Simulation las cuales son propuestas por los diseñadores a partir de la información recabada en las máquinas.

Tabla 3. Componentes de la armadura o carcasa.

Nombre del componente	Descripción
Cilindro	Diámetro exterior 101.6 mm Diámetro de caja 90 mm Espesor de pared 10 mm Profundidad de caja 20 mm Largo de cilindro 450 mm
Brazo	Largo 250 mm Ancho o alto 150 mm Espesor de contorno 30 mm Grosor de contorno 10 mm Espesor de nervio 10 mm Radios de arco 450 mm
Base para montaje	Ancho de base 126 mm Largo de base 240 mm Espesor de base 20 mm Diámetro de 4 barrenos 13 mm

RESULTADOS

Para el análisis estático de la carcasa se utilizó la herramienta Simulation de Solidworks en su versión 2016, así entonces, se consideran los datos obtenidos del análisis realizado para la flecha de transmisión: un esfuerzo torsional $T = 109.3 \text{ Nm}$ y un esfuerzo permisible $\sigma_{per} = 190 \text{ Mpa}$.

La Figura 7 muestra el espectro de esfuerzos el cual de acuerdo con la teoría de fallas de Von Mises señala que la máxima concentración de esfuerzos se encuentra en la geometría del brazo que denota un color rojo.

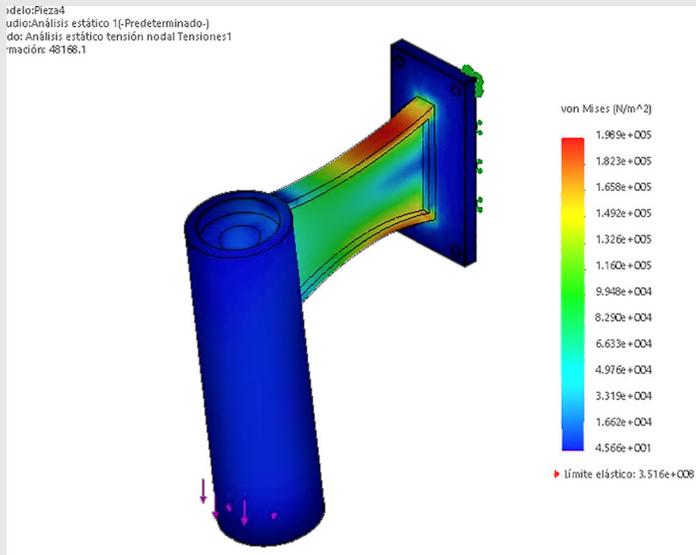


Figura 7. Esfuerzos a los que se somete la armadura

Un análisis más preciso con respecto a las fuerzas de reacción en la armadura sugiere pequeños desplazamientos en el sistema; de esta forma puede argumentarse que los rodamientos no recibirán una combinación importante de cargas radiales y axiales, sin embargo, por factor de seguridad se determina que la selección propuesta del tipo de rodamiento Tipo Abierto 6210 en este caso es adecuada aludiendo a cargas axiales imprevistas.

La Figura 8 muestra en color rojo sección que tiende a un desplazamiento significativo, nótese que el brazo y la base de montaje no presentan deformaciones.

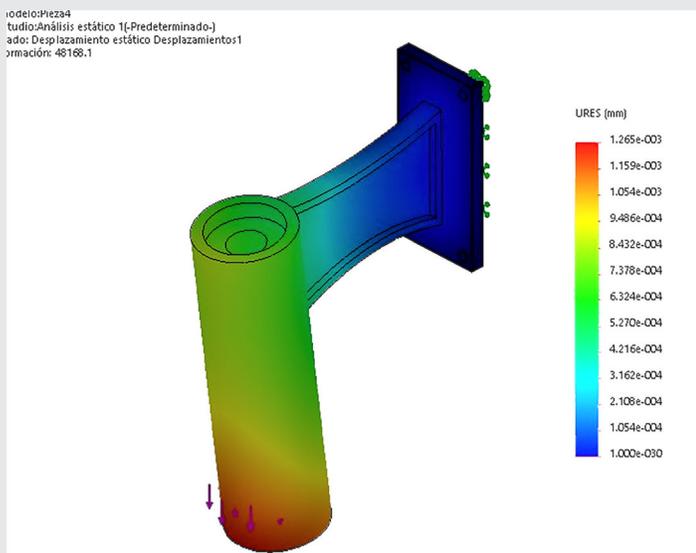


Figura 8. Desplazamientos en la armadura

Considerando que los componentes cilindro, brazo y base se montaje deben ensamblarse entre si, se hace énfasis en el análisis de la soldadura que deberá unir los tres componentes; se propone un electrodo 7018 el cual ofrece una penetración media y crea soldaduras resistentes a grietas en el metal, es eficiente para producir soldaduras de alta calidad en acero y metales difíciles de trabajar.

El electrodo 7018 es ideal para aplicaciones de construcción que requieren de soldaduras fuertes y de calidad, crea soldaduras que son resistentes a la rotura, también son ideales para trabajar en acero al carbono. Se utilizan en soldadura de tuberías y soldadura de acero estructural [8].

Entendidos los requerimientos de soldadura y análisis de esfuerzos, se selecciona para la construcción de la armadura un ACERO AISI-SAE 1045; éste es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de soldadura, este material responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado; por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria [9]. Por lo que en base a nuestros requerimientos de diseño, optimización de costos para la empresa y procesos de manufactura el ACERO AISI-SAE 1045 es la mejor selección.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo muestran que el elemento crucial de la armadura es el brazo, sin embargo, se considera que las dimensiones propuestas, así como el material seleccionado para su diseño soportaran los esfuerzos a los que estará sometido. Debe mencionarse que el diseño, así como el análisis de esfuerzos de este componente pudo llevarse a cabo gracias a la herramienta CAD empleada para este propósito.

Así mismo, que el análisis realizado utilizando las dimensiones propuestas en la Tabla 3 para la base de montaje y el cilindro arrojó resultados satisfactorios para nuestro diseño.

Finalmente puede concluirse que la carcasa o armadura como componente de la máquina pulidora en su posible fabricación tendrá un bajo costo para la empresa. Esto último se alude a que los materiales se encuentran fácilmente en el mercado y a que los procesos de manufactura involucrados son relativamente convencionales.

REFERENCIAS

[1] México. *Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería (2012). Estudio de la Cadena Productiva del Mármol. Documento de Análisis. Dirección General de Promoción Minera.*

[2] México. *Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería* (2011). *Estudio de la Cadena Productiva del Ónix. Documento de Análisis. Dirección General de Promoción Minera.*

[3] Conti, G.; Lisanti, V.; Mannoni, T.; Montani, C.; Pinzari, M.; Ragone, M.; Ricci, A. y Semel, G. (1988). *Marble in the World. The Stone industry and its trade.* (pp. 175-193). Italia: *Società Editrice Apuana Pacini*

[4] Pedrini, (2008). *Lucidatrice a Nastro Continuo Per Marmo, Travertino e Pietre. Licedatura e Finitura Marmo.* (pp. 1-10).

[5] Álvarez, A.; Pérez, R. y Riba, C. (2005). *Metodología para el diseño de Carcasas. Congreso Internacional Conjunto XVII INGEGRAF 12(1), 4-7.*

[6] Mott. R. L (2006). *Diseño de elementos de máquinas.* (pp. 597-617). México: *Pearson, Prentice Hall*

[7] SRN, (2005-2006). *Catálogo general de rodamientos SNR Industry. Informaciones técnicas y listas de productos* (pp. 1-133).

[8] INFRA, (2016). *Catálogo general 2016 de productos* (pp. 1-149).

[9] Cia. General de aceros S.A, (2007). *SAE 1020 y 1045. Aceros Ingeniería al Carbono.* (pp. 1-6).