



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

“Diseño de Máquina de Chorro Abrasivo para Mejorar la calidad del Acabado Superficial de Estructuras Metálicas y la rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

AUTORES

Cabrera Rodríguez, Luis David (ORCID: 0000-0003-0405-5642)

Ybañez Ramos, Henry Enrique (ORCID: 0000-0002-6953-8832)

ASESOR

Ing. Luis Alberto Julca Verástegui (ORCID: 0000-0001-5158-2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedicamos a nuestros padres quienes depositaron toda su confianza, por el apoyo moral de nuestra familia y hermanos que nos impulsaron a ser mejores y poder lograr este gran objetivo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por ayudarnos en este arduo trabajo dándonos sabiduría, fuerza y vida, también a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo, por colaborar con su discernimiento a lo largo de nuestra formación Ingenieril.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| RESUMEN..... | vii |
| ABSTRACT | viii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEORICO | 4 |
| III. MÉTODOLOGIA | 13 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 13 |
| 3.2. Variables, operacionalización..... | 13 |
| 3.3 Población y muestra..... | 14 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 14 |
| 3.5. Procedimiento | 15 |
| 3.6. Método de análisis de datos | 16 |
| 3.7. Aspectos éticos..... | 16 |
| IV. RESULTADOS | 17 |
| V. DISCUSIÓN: | 23 |
| VI. CONCLUSIONES:..... | 27 |
| VII. RECOMENDACIONES:..... | 28 |
| REFERENCIAS | 29 |
| ANEXOS..... | 32 |

INDICE DE TABLA

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Matriz de pugh..... | 12 |
| Tabla 2: Técnicas e instrumentos de la investigación..... | 14 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|---|
| Figura 1: Máquina de chorro de aire comprimido con arena | 7 |
| Figura 2: Máquina de chorro de agua comprimida con arena | 7 |

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de una máquina de chorro abrasivo para mejorar la calidad del acabado superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica. El proceso de acabado superficial en alta producción es indispensable en las empresas de servicios en los últimos tiempos, pues permite mejorar su calidad y generar mayor rentabilidad económica. La aplicación de una matriz de Pugh permitió determinar que el equipo de chorro abrasivo más adecuado de acuerdo a los requerimientos del personal de la empresa Carrocerías Ballena es la máquina de chorro de aire comprimido empleando como abrasivo la arena fina. Para el diseño del sistema de arenado se seleccionaron los siguientes componentes: compresora de aire de tornillo rotativo con una potencia de 15 HP y presión de servicio de 10 bar; mediante el análisis de elementos finitos en Solidworks el tanque de arenado es de material AISI 1045 laminado en frío con un diámetro de 810 mm, altura 1510 mm y espesor de pared de $\frac{1}{4}$ pulgada con un factor de seguridad mínimo de 2.97 ; válvula de manga de uretano con embolo de acero inoxidable de $1 \frac{1}{4}$ pulgada de diámetro; manguera de aire comprimido con capacidad nominal de 12 bar, diámetro de $1 \frac{1}{4}$ pulgada y longitud de 10 pies; tobera de poliuretano y carburo de silicona con reducción de $1 \frac{1}{4}$ pulgada a $\frac{5}{16}$ pulgadas para una velocidad de trabajo de 140.74 m/s y manguera de abrasivo con capacidad nominal de 12 bar, diámetro de $1 \frac{1}{4}$ pulgada y longitud de 25 pies. Asimismo, mediante pruebas de acabado superficial se determinó que la calidad incremento en 47%, con un ahorro de 17 minutos por cada metro cuadrado. Se realizó un análisis económico indicó que la inversión para el diseño de la máquina de arena es 45559.8 soles, con un beneficio útil de 135360.00 soles/año y retorno operacional de la inversión de 4 meses. El análisis financiero definió un valor actual neto de 436398.73 soles y una tasa de retorno de la inversión de 297%, lo cual hace viable su ejecución del proyecto.

Palabras claves: *chorro abrasivo, acabado superficial, estructuras metálicas, Carrocerías Ballena*

ABSTRACT

This work presents the design of an abrasive blast machine to improve the surface finish quality of metal structures and economic profitability. The process of surface finishing in high production is essential in-service companies in recent times, since it allows them to improve their quality and generate greater economic profitability. The application of a Pugh matrix will determine the most suitable abrasive blasting equipment according to the requirements of the personnel of the company Carrocerías Ballena is the compressed air blast machine using fine sand as an abrasive. The following components can be selected for the design of the sandblasting system: rotary screw air compressor with a power of 15 HP and operating pressure of 10 bar; by means of the finite element analysis in SolidWorks the sandblasting tank is made of AISI 1045 cold rolled material with a diameter of 810 mm, height 1510 mm and thickness of cut of $\frac{1}{4}$ inch with a minimum safety factor of 2.97; $1\frac{1}{4}$ inch diameter stainless steel plunger urethane sleeve valve; Compressed air hose with a nominal capacity of 12 bar, diameter of $1\frac{1}{4}$ inch and length of 10 feet; $1\frac{1}{4}$ inch to $\frac{5}{16}$ inch reduction polyurethane and silicone carbide nozzle for a working speed of 140.74 m / s and abrasive hose with a nominal capacity of 12 bar, diameter of $1\frac{1}{4}$ inch and length of 25 feet. Likewise, through surface finish tests, the incremental quality was determined in 47%, with a saving of 17 minutes for each square meter. An economic analysis was carried out determined that the investment for the design of the sand machine is 45559.8 soles, with a useful profit of 135360.00 soles / year and an operational return on investment of 4 months. The financial analysis defined a net present value of 436398.73 soles and a rate of return on investment of 297%, which makes its execution of the project viable.

Keywords: *abrasive blasting, surface finish, metal structures, Whale Bodies*

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional la mayor parte de los países poseen infraestructura industrial próxima al litoral marítimo, esto genera que el principal problema al que se enfrentan es la corrosión en las distintas superficies metálicas que se encuentran a la intemperie (Acosta, 2017). Aunque se han impuesto medidas para la conservación de las mismas, esto no cubre en su totalidad el buen estado y conservación y requieren un mantenimiento cada cierto tiempo, que cada vez es más corto, esto genera un pésimo estado en la infraestructura que muchas veces detiene los procesos productivos generando pérdidas significativas (Pareja, 2016).

En el Perú los efectos causados por manifestaciones de corrosión es un factor económico en el sector industrial (Castro, 2017). La corrosión origina la repetitiva degradación de las infraestructuras metálicas, figura alrededor de un 4% del Producto Bruto Interno (PBI) en los países industrializados (Cupita, 2017).

Los dilemas afiliados a la corrosión son de interés general por todas las empresas de las ciudades de la costa, debido a que cada determinado tiempo tienen que hacer un mantenimiento a su infraestructura industrial, para así evitar el deterioro excesivo (Carrión, 2015). Para las labores de mantenimiento se deben tener en cuenta los tiempos que se van a emplear ya que esto conlleva a la paralización en la producción, que en la mayoría de casos generan efectos negativos a la economía (Torres, 2018).

Por tal motivo los propietarios de empresas situadas en el litoral prefieren que el mantenimiento de su infraestructura industrial sea realizado por empresas que cuenten con un proceso de arenado, lo cual genera una gran demanda en Trujillo ya que es una ciudad costera y presenta el tipo de problema expuesto. El factor principal es la corrosión que se presenta en las superficies metálicas. Por lo que se pretende elaborar un diseño del equipo arenador en la empresa Carrocerías Ballena; ya que esta empresa cuenta con una arenadora empírica que limita la producción para dar un buen servicio y calidad, con la finalidad de favorecer tanto a la empresa como a sus clientes para un acabado de calidad y ofrecer un mejor producto, para así tener una mayor demanda.

En la empresa Carrocería Ballena tiene una baja calidad en el acabo superficial, dónde se emplea en promedio 36 minutos para limpiar una superficie de 1 m², empleando de 4 a 5 pasadas con la actual máquina de arenado, perjudicando de esta manera la rentabilidad económica. La empresa en la actualidad tiene una producción promedio de limpieza de estructuras metálicas de 750 m²/ mes (9000 m²/año), con un costo unitario de 32.00 soles/m². Asimismo cuenta para este servicio con 2 operadores los cuales tienen un sueldo unitario de 930.00 soles/mes (11160.00 soles/año). También cabe recalcar que la máquina tiene un consumo de arena de 22 m³/mes (264 m³/año) con un costo unitario de 47 soles/m³.

En la actualidad existen diversas máquinas de arenado que desempeñan parcialmente las mismas funciones y que satisfacen técnicamente con los requerimientos indispensables para su adecuado funcionamiento y uso, cada una tiene un distinto mecanismo de funcionamiento; sin embargo, debido al alto costo que representan estos equipos se desea realizar un diseño para conocer y difundir la mejora en el equipo mediante el uso de nuevas y mejores piezas en la fabricación de dicha máquina, pretendiendo mejorar la calidad y tiempo de vida útil, generando así la optimización y calidad del equipo lo cual llevará consigo altos estándares de calidad en el producto final.

Para dar respuesta a la problemática descrita, se planteó la siguiente **formulación del problema**: ¿Cuáles son las características técnicas y económicas que debe tener el diseño de una máquina de chorro abrasivo para mejorar la calidad del acabado superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo?

El informe de investigación se **justificó** desde el punto de vista económico porque permitirá aumentar la rentabilidad económica de la empresa Carrocerías Ballena, debido al mejoramiento de la calidad la cual está relacionada al tiempo de trabajo y al uso eficiente de los materiales y materia prima para la realización de las actividades. Desde el criterio social el diseño óptimo de una máquina de chorro abrasivo permite al personal de la empresa Carrocerías Ballena trabajar de una manera segura y eficiente, mejorando de esta manera el confort laboral. Asimismo

desde el criterio tecnológico el uso de máquinas de chorro abrasivo, permite a las empresas que brindan este servicio mejorar la velocidad del proceso de acabado superficial, traducido en ahorro de tiempo y recursos en materiales, y desde el criterio ambiental la calidad en el acabo superficial de estructuras metálicas contribuye a minimizar la masa de abrasivo y fluido de trabajo, al medio ambiente (agua, arena, partículas de polvos, otros) utilizados en el proceso de eliminación de revestimientos dañados por acumulación de óxidos de hierro.

En respuesta al problema, se planteó el siguiente **objetivo general**: Diseñar una máquina de chorro abrasivo para mejorar la calidad del acabado superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo.

Para lograr el objetivo general se plantearon los siguientes **objetivos específicos**: (1) Realizar una matriz de Pugh para proponer alternativas de solución en el diseño de una máquina de chorro abrasivo; (2) Dimensionar y seleccionar la compresora de aire y análisis de elementos finitos de los elementos tanque, manguera, válvula y tobera utilizando el software Solidworks; (3) Realizar un análisis económico – financiero: Bo, Io, PRI, VAN y TIR.

Para dar respuesta a la formulación del problema, se planteó la siguiente **hipótesis**: Las mejores características técnicas y económicas del diseño de una máquina de chorro abrasivo, permitirán mejorar la calidad del acabado superficial de estructuras metálicas y la rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo.

II. MARCO TEORICO

La investigación tiene como base científica los siguientes **trabajos previos** internacionales, nacionales y locales, los cuales son estudios relacionados a la problemática planteada:

(Valdez, 2019) diseño una hidro arenadora para realizar acabados de superficies metálicas para remover revestimientos dañados, causados por la aceleración de la corrosión. Utilizó la metodología analítica apoyada en el simulador FreeCAD. El autor indicó que las máquinas hidro arenadoras son ideales para producciones de limpieza altas, y esto se debe a que son equipos muy costosos en comparadas a las máquinas de arenado con aire comprimido, donde las producciones pueden llegar a 20000 m²/año. Tuvo como resultados: el tanque fue diseñado con material AISI 1060 CD con un espesor de ½ pulgada con un a presión de servicio de 130 PSI obteniendo un factor de seguridad de 4.6. Asimismo el autor indicó que el diseño de la hidro arenadora tiene una inversión de 91525.00 soles, con un beneficio 222654.00 soles por año, con una tasa interna de rentabilidad de 190% y un tiempo de recuperación económica de 160 días.

(Apaza, 2019) realizó encuestas a los operadores para poder interpretar el nivel de conocimientos acerca del uso correcto de la maquina sandblasting y si cada usuario hace uso de normas para poder hacer la ejecución de trabajos. También los autores plantearon cambiar mangueras y tuberías del mismo diámetro y probando que la calidad aumenta en un 15%, por otra parte se menciona que, en acabados donde se busca hacer un patrón delgado, se debe usar una boquilla de diámetro recto, incluso, para tener mayor velocidad en el abrasivo se recomienda utilizar una boquilla de doble diámetro de Venturi, como resultado se reafirma que es necesario conocer el uso correcto de la máquina, haciendo observaciones a cada obrero y conocer el uso que le está dando el trabajador a la máquina.

(Figuroa, 2017) evaluaron la influencia de rugosidad en probetas, se analizó mediante un prototipo de limpieza sandblasting la rugosidad para mejorar el correcto acabo al aplicar la pintura, se comprobó que mediante este proceso la

estructura es más rugosa ya que se hizo un estudio a diferentes distancias, también usando un tipo de malla diferente, cambio de diámetro de la boquilla y se comparó los resultados obtenidos, se comprobó que a un diámetro mayor y a una distancia de aplicación mayor, la rugosidad aumenta, y de igual forma, al considerar un menor diámetro y una distancia menor, la rugosidad disminuye.

(Calderon, 2017) el aporte más significativo de esta investigación es la explicación detallada y los componentes de la máquina para su diseño, el presupuesto real es S/. 6 385,5, el costo de mantenimiento es S/.110 y los ingresos de ahorro por mano de obra S/. 1920, se aplican cada mes para evitar posibles fallas en la máquina, cada dato nos permite obtener un valor actual neto (VAN) de S/. 5210,17 y una tasa interna de retorno (TIR) 39 % en un lapso de 3 meses. Con este aporte se puede analizar si la propuesta es factible, de acuerdo al presupuesto y al beneficio que se puede lograr.

(Herrea, 2017) su objetivo fue diseñar un sistema de arenado que permita determinar un mejor acabado superficial de tanques estacionarios de combustible, se planteó cambiar el diámetro de la boquilla para tener un mejor acabo superficial en el tanque y así poder mejorar la presión de salida al hacer el proceso sandblasting y para obtener mejoras en el acabo se usó una boquilla de diámetro 7mm para aplicar el arenado en el tanque y evitar que esté presente corrosión por falta de mantenimiento.

(Flamenco, 2014) mencionan comprobar la correcta funcionabilidad de una sistema semi automático de granallado definiéndolo con tres variables (distancia de proyección (300 mm), presión de granallado (175 psi max.) y ángulo de incidencia (30°)), se logró comprobar que las variables causan un efecto en el sistema de granallado, esta investigación será útil porque se tendrán en cuenta la ejecución de estas variables para medir la funcionabilidad del equipo en base para tener un mejor comportamiento en el proceso de granallado regulando dichas variables.

(Fernández, 2015) describe hacer comparación entre el costo por hora de arena que es \$9.86 h y \$0.64 mt², a diferencia la granalla que su costo disminuye por \$1.6h y \$0.10 mt² , también menciona que al aplicar arena su rugosidad es

de 30-60u a diferencia de la granalla que es 50 u, además propone usar una boquilla de tamaño N° 6 o de diámetro de 3/8 in considerando como una opción adecuada para las piezas a tratar.

La presente investigación se fundamenta en el diseño de una máquina de chorro abrasivo para mejorar la calidad del proceso de acabo de superficial, lo cual es un problema para la empresa de servicios Carrocerías Ballena, limitando su rentabilidad económica, para dar solución a este problema desde el aspecto científico, se utilizarán las siguientes **teorías relacionadas al tema**:

La corrosión se define como el proceso de deterioro de un material que es producido por un ataque electroquímico generado por su entorno (Panta, 2016). Es el proceso de eliminación que soporta todo material metálico, ya sea por una reacción química o electroquímica en su determinado lugar de origen, particularmente en los metales, dependiendo de su naturaleza química y de la densidad de tipos reactivos que hay en el entorno (Zapata, 2016)

El sistema de arenado es considerado como un método que se usa en diversos sectores en una industria, porque ofrece diversas aplicaciones como limpiar, alisar, pulir y traspasar cualquier superficie (Wilco, 2016). Además, su costo no es excesivo a comparación de otros procedimientos que se aplican para elaborar estos trabajos por su alto costo (Huamán, 2018).

En la actualidad, son numerosos los procesos en los que se utiliza un arenador motivo esencial para su producción. El arenador se logra administrar en sectores tan variados como la cristalería, la metalurgia, la fundición, la estampación, la industria solar, eólica o nuclear, fabricación de piezas de automoción, entre otros (Vázquez, 2015). El empleo del arenador en cualquier proceso cuenta con sus propias características. Cualquier equipo de chorreado solicita de un correcto diseño que cumpla con la función para la que está destinado (Palacios, 2017). Es determinante estudiar cada caso específico para poder determinar con exactitud qué máquina y principalmente que accesorios en específico se deben utilizar (Caldas, 2017).

Los tipos de máquinas de chorro abrasivo son: máquinas de chorro abrasivo seco y máquinas de chorro abrasivo húmedo las cuales se emplean en la erradicación del polvo de silicato, eliminación de radiactivos, asbestos, componentes venenosos entre otros (Wilco, 2016). Esta técnica de chorreado es aplicada para lavar azulejos de piscinas, calcio de las baldosas, así como también se puede utilizar en los distintos talleres de carros para el pintado de estos; chorreado de rueda que se maneja a través de la potencia centrífuga de una rueda, la cual incita el medio abrasivo hacia el elemento, esta técnica de chorreado es de muy alta fuerza y calidad (Zuta, 2018)



Figura 1: Máquina de chorro de aire comprimido con arena
Fuente: (Zuta, 2018)



Figura 2: Máquina de chorro de agua comprimida con arena
Fuente: (Zuta, 2018)

La finalidad de un sistema de chorro abrasivo en estructuras metálicas, es limpiar una superficie de metal, a través del lanzamiento a altas velocidades de un material abrasivo en forma de partículas redondeadas, pero manteniendo bajo

control las variables primordiales en función a las solicitudes especificadas de acabado de dicha superficie (Pretel, 2017).

En este trabajo de investigación se evaluará el funcionamiento del sistema de chorro abrasivo en estructuras metálicas.

Este tipo de procedimiento es el más común en la industria, se basa fundamentalmente en el empleo de un recipiente bajo presión donde la granalla es nutrida bajo presión a la boquilla. La incorporación al sistema de una válvula de medida para acoplar la magnitud de la granalla dentro del curso del aire. Es por eso que hay un perfecto balance entre la medida del hueco de la boquilla y el volumen de la granalla. Una de las principales ventajas de este mecanismo se debe a las adaptaciones que se logra hacer a la presión de aire. El almacenamiento a presión puede ser añadido como una unidad al interior de las cabinas cuando los procedimientos ejecutados manualmente. Este método es considerado superior a otros métodos por su flexibilidad, debido a que todos los modelos de granallas pueden ser ejecutadas con la misma comodidad. Es muy sencillo ajustar las presiones, la distancia de la boquilla, así como el ángulo de impacto. El empleo de una boquilla facilita que el flujo de granallas sea conducido rigurosamente.

El acabado superficial en la actualidad se tiene normas representativas que nos brindan los estándares de calidad de las superficies metálicas a las cuales son sometidas antes del proceso de pintado, lo cual es de gran consideración para el acabado final (Carrión, 2015). La normativa más relevante es la SSPC-SP-5/NACE (Mecanismos de limpieza de arenado). La norma específica que, para remover contaminantes, mejorar la limpieza, calidad y acabado correcto de las superficies, los abrasivos deben ser lanzados a altas velocidades de 65 a 110 m/s a distancias de 25 a 30cm, usando la técnica del granallado (Romero, 2010).

Para diseñar un elemento de máquina deben calcularse los esfuerzos combinados que son 4: normal, cortante, flector y torsor (Rázuri, 2017). El esfuerzo normal es la acción de una fuerza perpendicularmente sobre una sección o área (Ramirez, 2017)

$$\sigma_n = \frac{N}{A} \quad (01)$$

donde σ_n es el esfuerzo normal (Pa) y A es el área perpendicular a la fuerza (m^2)

Mientras el esfuerzo cortante es la fuerza aplicada en forma tangente al área (Aquino, 2016)

$$\tau_c = \frac{V}{A} \quad (02)$$

donde τ_c es el esfuerzo normal (Pa) y A es el área perpendicular a la fuerza (m^2)

El esfuerzo flexionante, es ocasionado por los momentos que generan deformación por deflexión (Fermín, 2016) y el esfuerzo por torsión es generado por los momentos que causan deformación angular (Ramirez, 2017)

$$\sigma_f = \frac{M_R \cdot Y}{I} \quad (03)$$

$$\tau_T = \frac{T \cdot Y}{J} \quad (04)$$

donde σ_f es el esfuerzo normal (Pa), τ_T es el esfuerzo torsor, M_R es el momento flexionante resultante del punto más crítico (N.m), I es el momento de inercia (m^4), J es el momento Polar (m^4) y Y es referido a la distancia del elemento más alejada de la línea neutra (m).

El análisis estático, es la acción de evaluar un elemento de máquina bajo la influencia de las cargas externas y cargas internas, respecto de su resistencia de fluencia (Jhonson, 2017). Y una de las teorías más significativas en este análisis es la teoría de la energía de distorsión máxima, la cual pronostica que la falla del elemento se origina cuando la energía de deformación por unidad de volumen supera la capacidad máxima de resistencia del material en la zona plástica (García, 2019).

$$\sigma_{EDM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 * \tau_{xy}^2} \quad (05)$$

donde σ_{EDM} es el esfuerzo de distorsión máxima (Pa), σ_x es el esfuerzo afectado por la carga normal y flexionante (Pa) y τ_{xy} es el esfuerzo afectado por la carga

cortante y torsionante (Pa). Asimismo, para carga estática el factor de seguridad está definido como (Dalton, 2017):

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{V.M}} \quad (06)$$

donde S_y es el esfuerzo a la fluencia (MPa) y σ_{EDM} es el esfuerzo de distorsión máxima (Pa)

En consecuencia, el diámetro de un eje bajo condiciones de carga estática se puede determinar mediante la siguiente expresión (Hernández, 2018):

$$d = \sqrt[3]{\frac{32n_s}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2}} \quad (07)$$

donde n_s es el factor de seguridad, S_y es la resistencia a la fluencia (MPa), M es el momento flexionante máximo (N.m) y T es el momento torsor máximo (N.m).

El análisis dinámico, está influenciado por el tiempo de operación y por factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga, como el acabado superficial, la geometría del material, la carga externa, la temperatura, mantenimiento (lubricación), etc. (Zotero, 2016).

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot S'_e \quad (08)$$

donde S_e es el límite de resistencia a la fatiga real (Pa), S'_e es el límite de resistencia a la fatiga teórico (Pa), K_a es el factor de modificación de la condición superficial, K_b es el factor de modificación de tamaño, K_c es el factor de modificación de la carga, K_d es el factor de modificación de la temperatura y K_e es el factor de modificación de confiabilidad.

De este modo los factores de modificación se calculan mediante las siguientes expresiones (Shigley, 2018):

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b \quad (09)$$

Los valores a y b son parámetros según la condición de superficie.

$$K_b = 1.24 \cdot d^{-0.107} \quad 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \quad (10)$$

$$K_b = 1.51 \cdot d^{-0.157} \quad 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \quad (11)$$

El valor del diámetro d , debe reemplazarse en mm.

Con respecto al factor de carga se considera el valor de 1 para cargas por flexión, 0.85 para cargas axiales y 0.59 para cargas por torsión, si un elemento está sometido a la acción de dos o tres cargas se considera el factor más crítico o menor (Fernández, 2017).

Para el factor de temperatura se considera el valor 1 para elementos que trabajan a condiciones de temperaturas en el rango de 20 a 50°C y todo diseño se debe trabajar con una confiabilidad del 99.90% para lo cual el factor de modificación de confiabilidad es 0.753 (Shigley, 2018).

Y el límite de resistencia a la fatiga teórico se evalúa:

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \quad (12)$$

Cabe indicar que la formulación (15) se emplea cuando la resistencia última del material no supere los 1400 Mpa (200 KSI).

El factor de seguridad y las resistencias del material en carga dinámica están relacionadas en dos teorías de falla principales: Goodman y Soderberg. Dónde la primera teoría de Goodman evalúa al material desde la perspectiva del esfuerzo último del material y la segunda teoría de Soderberg califica al material desde su resistencia a la fluencia (Baker, 2018)

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{fs} \quad (13)$$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{fs} \quad (14)$$

donde σ_m es el esfuerzo medio (Pa) $(\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}/2)$, σ_a es el esfuerzo alterno (Pa) $(\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}/2)$, S_e es el límite de resistencia a la fatiga real (Pa), S_{ut} es la resistencia última a la tracción (Pa) y fs es el factor de seguridad.

La matriz de pugh es un método de selección para el diseño de equipos o componentes, dónde los elementos o equipos a evaluar se le denomina conceptos y se distribuyen en filas y en las columnas se predomina los parámetros del diseño (requerimientos del cliente) (Tabla 1), dónde las ponderación cuantitativa va desde excelente a malo (5: Excelente, 4: Muy bueno, 3: Bueno, 2: Regular y 1: Malo),

perimiendo al diseñador seleccionar la mejor opción mediante el elemento o equipo que tenga mayor ponderación acumulada.(Fhet, 2019)

Tabla 1: Matriz de pugh

| Requerimientos | Concepto 1 | Concepto 2 | Concepto 3 | Concepto n |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Parámetro 1 | | | | |
| Parámetro 2 | | | | |
| Parámetro 3 | | | | |
| Parámetro n | Acumulado 1 | Acumulado 2 | Acumulado 3 | Acumulado n |

Fuente: *Duglas, 2018.*

En una evaluación económica la inversión y el beneficio útil definen el periodo de retorno de la inversión de un proyecto. En una evaluación financiera el valor presente neto (proyección de la utilidad de un proyecto en el tiempo) y la tasa interna de rentabilidad (porcentaje de aceptación del proyecto) definen la viabilidad de un estudio y se calculan mediante las siguiente ecuaciones (Sahn, 2018).

$$PRI = \frac{\sum IP_i}{\sum BP_e} \quad (15)$$

$$VPN = \left(\sum_{t=1}^n \frac{BP_e}{(1 + K)^n} \right) - IP_i \quad (16)$$

$$\left(\sum_{t=1}^n \frac{BP_e}{(1 + TIR)^n} \right) - IP_i = 0 \quad (17)$$

donde IP_i es la inversión de proyecto inicial (S/), BP_e es el beneficio del proyecto (S/año), PRI es el periodo de retorno de la inversión (años), VPN es el valor presente neto (S/año), K es la tasa de interés (%), n es el tiempo de prestación (años) y TIR es la tasa interna de rentabilidad (%).

III. METODOLOGIA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El estudio es de tipo **aplicada**, según (Ramos, 2017) explica: “Son investigaciones que se basan en el estudio de una problemática específica o particularmente, para contribuir con el desarrollo del conocimiento tecnológico”. La presente investigación es aplicada porque se fundamentó en resolver un problema particular como la calidad del acabo superficial en estructuras metálicas dañadas por acumulación óxidos de hierro, siendo un tema de utilidad para el conocimiento en el sector de servicios.

También el estudio es de nivel **experimental**, según (Ramos, 2017) explica: “Son investigaciones para deducir un fenómeno que esté ocurriendo, aplicando el criterio analítico y prospectivo”. El estudio es descriptivo porque se detalló las características técnicas y económicas que implicaron el diseño de una máquina de chorro abrasivo.

Asimismo, el método es **deductivo**, según (Aguilar , y otros, 2018) explica: “Son investigaciones que recurren al uso de la sustentación científica, como leyes o teorías en el entorno matemático y físico para un fin específico”. El estudio utilizó ecuaciones de resistencias de materiales, análisis de métodos finitos con el uso del software Solidworks y ecuaciones de mecánica de fluidos para diseñar la máquina de chorro abrasivo.

El estudio es de diseño **experimental puro** (M1 X M2), según (Aguilar , y otros, 2018) explica: “Son la primera base de investigación que tienen un control y validez sobre un fenómeno”. El estudio busca en la variable independiente “Características técnicas del chorro abrasivo” repercuta en la variable dependiente “Calidad del acabo superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica”.

3.2. Variables, operacionalización (ANEXO 1)

Variable independiente: Características técnicas del chorro abrasivo.

Variable dependiente: Calidad del acabo superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica.

3.3 Población y muestra

Población: Maquinas de chorro abrasivo en empresas de servicio del departamento de La Libertad.

Muestra: Máquina de chorro abrasivo en empresa Carrocerías ballena.

Muestreo: No probabilístico (máquina de chorro abrasivo)

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 2: Técnicas e instrumentos de la investigación

| Técnica | Instrumento |
|---------------------|----------------------|
| Análisis documental | Fichas de Registro |
| Observación | Ficha de observación |
| Encuesta | Cuestionario |

Fuente: Elaborado por los autores

El análisis documental, mediante la utilización de fichas de registro permitió la siguiente recolección de datos del actual equipo de chorro abrasivo disponible en la empresa Carrocerías Ballena:

- Presión de servicio y máxima del aire (bares)
- Flujo volumétrico de aire y arena (m^3/s)
- Dimensiones y material del tanque de arenado (mm)
- Dimensiones y material de la manguera de mezcla (aire + arena)
- Dimensiones y material de la tobera (mm)
- Costos de producción (S/m^2)
- Costos de mano de obra y materiales (Soles).

La observación, mediante la utilización de fichas de observación permitió la siguiente recolección de datos de la máquina chorro abrasivo en funcionamiento:

- Condiciones de operación y estado del compresor, tanque, manguera, válvulas y toberas.
- Cantidad de pasadas sobre una estructura metálica para un correcto acabo superficial.

La encuesta, mediante la utilización de un cuestionario permitió recolectar información respecto a 6 necesidades o requerimientos del diseño por parte del personal de la empresa Carrocerías Ballena, tales como: calidad, tiempo de

producción, costos de fabricación, facilidad de operación, mantenimiento y construcción.

3.5. Procedimiento (ANEXO 3)

- Se realizó la recolección de datos en la máquina de chorro abrasivo de la empresa Carrocerías Ballena, datos como: flujo volumétrico de aire y arena, presión de servicio del aire comprimido, dimensiones de materiales (tanque, mangueras, válvulas y tobera), costos de producción, mano de obra e insumos.
- Se procedió con ensayos de acabado superficial sobre superficies metálicas regulando la presión de aire del compresor, para obtener un flujo volumétrico de aire adecuado para mejorar la calidad del acabo superficial.
- Se comparó la calidad de ambos ensayos con las presiones de 6.3 bar (actual) y 8 bar (mejora), se determinó así que la calidad actual es menor a la calidad óptima de dicho proceso.
- Se hizo una matriz de selección PUGH de la máquina de chorro abrasivo óptima de acuerdo a las necesidades de la empresa tomando en cuenta los conceptos fundamentales de la máquina de chorro abrasivo para conseguir un diseño factible.
- Con la ayuda del programa SOLIDWORKS se llevó a cabo el análisis de métodos finitos como carga estática y dinámica para el dimensionamiento y selección de elementos de la máquina de chorro abrasivo seleccionada: material, espesor de pared, resistencia máxima y deformación unitaria. Los que nos proporcionan un factor de seguridad de los elementos: tanque, manguera, válvulas y tobera.
- Luego se desarrolló ensayos de acabado superficial sobre superficies metálicas con presión de aire comprimido y flujo volumétrico de arena en condiciones de mejora para verificar la calidad del proceso. El proceso consistió en limpiar una superficie metálica de 1 m², y mediante esta prueba medir tiempo y número de pasadas.
- Para el análisis económico se tomó en cuenta la inversión en activos fijos, beneficio útil (rentabilidad) y el periodo de retorno de la inversión mediante el PRI, si es viable entonces es un diseño factible.

- En el análisis financiero se seleccionaron dos aspectos principales: valor actual neto y la tasa interna de rentabilidad. En este análisis se debe tener en cuenta la viabilidad del TIR para considerar si el diseño es factible o no.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos recolectados en el estudio, se almacenaron en tablas de frecuencias y gráficos (barras y circulares) mediante la utilización del software Microsoft Excel, el cual también se empleó para el análisis financiero del valor actual neto y tasa interna de rentabilidad. Para el análisis estático y dinámico de los elementos de la máquina de chorro abrasivo se utilizó el método de análisis finito asistido por el software Solidworks, permitiendo obtener especificaciones de materiales y factores de seguridad óptimos para el diseño.

3.7. Aspectos éticos

Los autores en el desarrollo de la investigación se enfocaron en cumplir dos aspectos éticos fundamentales: La protección intelectual y protección de la información recolectada. Con respecto a la propiedad intelectual se limitó a incurrir en el plagio académico. Asimismo, se protegió la información brindada por la empresa Carrocerías Ballena, la cual fue brindada con el único motivo de esta investigación.

IV. RESULTADOS

4.1 REALIZACIÓN DE MATRIZ PUGH (ANEXO 9)

Se describió el funcionamiento de 2 tipos de máquinas que chorro abrasivo en seco y húmedo. Adicionalmente se propuso distintos tipos de materiales y entre ellos se seleccionó el más apropiado para el funcionamiento, para hacer la elección de la máquina y el material, se contó con la intervención del supervisor, el gerente y los operarios para saber que elección es la mejor.

4.2. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE ARENA Y AIRE COMPRIMIDO (ANEXO 10)

Se detalló la lista de componentes que influyen en el proceso de arenado.

4.2.1. COMPRESOR DE AIRE (ANEXO 11)

Se hizo una comparación de dos compresoras KAESER Y HYUNDAI, se seleccionó la compresora HYUNDAI que permite el ahorro de potencia de un 25% y que mejora la calidad.

4.2.2 TANQUE DE ARENADO. (ANEXO12)

a) Volumen del tanque:

$$V_{\text{tanque}} = 0.903 \text{ m}^3$$

b) Volumen ocupado por el abrasivo (arena):

$$V_{\text{arena}} = 0.677 \text{ m}^3$$

c) Volumen ocupado por el aire comprimido:

$$V_{\text{aire}} = 0.226 \text{ m}^3$$

d) Masa de arena contenida en el tanque de arenado

$$m_{\text{arena}} = 1100 \text{ Kg}$$

e) Flujo másico de arena

$$\dot{m}_{\text{arena}} = 0.338 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} = 5.633 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

f) Fuerza en las paredes del cilindro

$$F_c = 48545 \text{ KN}$$

g) Análisis de elementos finitos del tanque de arena por carga estática

Se hizo un análisis de carga estática, aplicando una presión máxima de 1 Mpa en el área lateral del cilindro. Adicionalmente se sometió al tanque a un esfuerzo máximo de von mises y se propuso un material AISI 1045, también se obtuvo una deformación máxima de $4.189 \cdot 10^{-3}$ mm (zona roja) la cual es insignificante para el proceso. Asimismo, se alcanzó un factor de seguridad mínimo es 6.236 que afirma que el material y espesor son correctos.

h) Análisis de elementos finitos del tanque de arena por carga dinámica

Se consideró el peso del abrasivo que es 1100 kg y la temperatura del aire comprimido siendo esta 70°C. Además, se obtuvo una carga dinámica de 156.80 MPa, cual no supera el límite elástico de 530 MPa del material AISI 1045 y una deformación unitaria del tanque de arenado bajo carga dinámica con un valor máximo de $4.228 \cdot 10^{-3}$ mm, el cual representa un valor insignificante para el proceso. También un factor mínimo por carga dinámica es 2.97 lo cual reafirma que el material AISI 1045 y el espesor de ¼ pulg son correctos. Finalmente se presentó las propiedades mecánicas y térmicas del acero AISI 1045 laminado en frío.

4.2.3 MANGUERA DE AIRE COMPRIMIDO (ANEXO 13)

a) Velocidad del aire comprimido

$$U_{\text{aire}} = 210 \text{ m/s}$$

b) Fuerza del aire producida en las paredes superficiales de la manguera

$$F_{\text{acm}} = 330 \text{ KN}$$

c) Flujo másico de aire comprimido:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.173 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

d) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

Se aplicó una presión máxima de 10 bares a lo largo de la superficie lateral y a una temperatura de 70 ° C. Se seleccionó un diámetro de 1 ¼ pulg y espesor de ¼ pulg con un material de Poliuretano para la manguera de aire comprimido, obteniendo un esfuerzo máximo de 147.5 MPa. Asimismo, se obtuvo una deformación máxima de $2.999 \cdot 10^{-4}$ mm (zona roja) representando un valor

insignificante, también se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 2.204, lo cual hace viable su selección.

4.2.4 VÁLVULA DE MEZCLA ARENA Y AIRE COMPRIMIDO (ANEXO 14)

a) Fuerza del aire comprimido sobre la válvula:

$$F_1 = 800 \text{ N}$$

b) Fuerza de la arena sobre la válvula:

$$F_2 = 10791 \text{ N}$$

c) Fuerza de salida de la mezcla (arena + aire)

$$F_3 = 51.1 \text{ N}$$

d) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

La válvula encargada de la mezcla de aire comprimido tiene cargas aplicadas distintas en cada uno de sus lados. El lado de ingreso horizontal está afectado por el aire comprimido con una fuerza máxima de 800 N y una temperatura de 70°C; el lado de ingreso superior está afectado por el abrasivo arena con una fuerza de 10791 N y una temperatura de 20°C y por el lado de salida de la válvula la mezcla sale con una fuerza de 51.10 N y una temperatura media de 45°C.

Mediante un proceso iterativo, se seleccionó como material uretano con superficies de ingreso y salida de acero inoxidable AISI 1045 CD, obteniendo un esfuerzo máximo de 138.80 MPa. Asimismo la deformación máxima que sufriría la válvula sería de $1.892 \cdot 10^{-3}$ mm (zona roja) lo cual no generaría problemas en la válvula de la mezcla.

La válvula de uretano con superficies de AISI 1045CD y diámetro de 1 ¼ pulg y espesor de 5/16 pulg, tiene un factor de seguridad mínimo de 2.341

4.2.5. MANGUERA DE MEZCLA DE AIRE COMPRIMIDO Y ARENA: (ANEXO 15)

a) Presión en la manguera de mezcla de aire comprimido y arena

$$P_m = 63875 \text{ Pa}$$

b) Fuerza sobre las paredes laterales de la manguera de mezcla

$$F_m = 48.545 \text{ KN}$$

c) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

La manguera de mezcla de aire comprimido y arena, es afectada por una presión de 63875 Pa y una temperatura media de 45°C en el trayecto de su superficie lateral. Tal como se representa en la figura 33 y 34.

Para la selección del material y dimensiones de la manguera se utilizó un proceso iterativo en Solidworks, utilizando como material poliuretano con un diámetro interno de 1 ¼ pulg y espesor de ¼ pulg, obteniendo un esfuerzo máximo de 65.82 MPa.

La manguera de mezcla sufrirá una deformación máxima de $1.339 \cdot 10^{-4}$ mm (zona roja), valor que no repercute en la operación de este elemento.

El material poliuretano con un diámetro interno de 1 ¼ pulg y espesor de ¼ pulg seleccionado para la manguera de mezcla, tiene un factor de seguridad mínimo de 4.938.

4.2.6. TOBERA (ANEXO 16)

a) Velocidad de la mezcla en salida de la tobera:

$$U_{mst} = 140.74 \frac{m}{s}$$

b) Fuerza ejercida sobre la superficie metálica

$$F_s = 40.50 \text{ N} = 5.25 \text{ Kgf}$$

c) Presión a la salida de la tobera:

$$P_s = 810000 \text{ Pa}$$

d) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

La tobera está afectada por las condiciones de entrada y salida, permitiendo elevar la velocidad de 8.8 m/s a 140.74 m/s requeridos en el proceso de acabado superficial. Asimismo, al existir una variación de áreas existe un incremento significativo de la presión de 0.64 bar a 8.10 bar para originar una fuerza de 40.50 N a una temperatura máxima de 45°C.

La tobera de material poliuretano con un diámetro de ingreso de 1 ¼ pulg y diámetro de salida de 5/16 pulg y espesor de 1/8 pulg, sufre un esfuerzo máximo de 83.14 MPa.

Las cargas aplicadas sobre la tobera originan una deformación máxima de $5.428 \cdot 10^{-4}$ mm, lo cual no afecta su funcionamiento.

Con los parámetros considerados respecto a un diámetro de ingreso de 1 ¼ pulg y diámetro de salida de 5/16 pulg y espesor de 1/8 pulg, la tobera tiene un factor de seguridad mínimo de 2.043.

4.2.7. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD (ANEXO 17)

Actualmente la empresa con la máquina de arenado con la que cuenta tarda en promedio 36 minutos para remover 1 m² de recubrimiento necesitando entre 1 a 2 pasadas, pero con la propuesta planteada el tiempo se reduce a 19 minutos empleando entre 1 a 2 pasadas, con un ahorro en tiempo de trabajo de 17 minutos, es decir la calidad incrementa en 47%.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO (ANEXO 18)

4.3.1. BENEFICIO ECONÓMICO EN CONDICIONES ACTUALES

a) Costo por limpieza:

$$CL = 288000.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

b) Costos fijos

Costo por mano de obra:

$$CMO = 22320.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Costos en abrasivo (arena)

$$CA = 12408 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Costos en consumo de aire comprimido:

$$CAC = 11880 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Costo de mantenimiento:

$$BEA = 193392.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

4.3.2. BENEFICIO ECONÓMICO EN CONDICIONES DE MEJORA

a) Costo por limpieza:

$$\text{BEM} = 328752.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

4.3.3. BENEFICIO ÚTIL

$$\text{BU} = 135360.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

4.3.4. INVERSIÓN EN ACTIVOS FIJOS

Se detalló un listado de la lista de componente de la máquina de chorro abrasivo y la inversión total que es 45559.8 soles.

4.3.5. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

$$\text{PRI} = 0.34 \text{ años} \approx 4 \text{ meses}$$

4.3.6. HERRAMIENTAS FINANCIERAS

Para el análisis del valor actual neto y tasa interna de rentabilidad, se consultó a la Superintendencia de banca y seguros del Perú, el cual indica que la tasa de interés promedio es 12.50% con un periodo promedio de 5 años.

Utilizando una hoja de cálculo en Excel, se determinó que el valor actual neto es 436398.73 soles y la tasa interna de rentabilidad 297%, lo cual hace viable su ejecución.

V. DISCUSIÓN:

5.1 Se realizó una matriz de selección de Pugh porque en el uso de máquinas de acabado superficial existen principalmente 2 equipos en general: las máquinas de chorro abrasivo seco y las máquinas de chorro abrasivo en húmedo, donde las primeras utilizan como fluido al aire comprimido y las segundas utilizan fluido al agua, pero ambas pueden utilizar distintos tipos de abrasivos: granalla metálica, arena, silicato de aluminio, óxido de aluminio, perlas de vidrio y carburo de silicio. Asimismo, se realizó una encuesta al personal operativo de la empresa Carrocería Ballena: gerente, supervisor y operadores, los cuales fueron consultados respecto a 6 requerimientos del diseño: calidad de producción, tiempo de producción, costos de fabricación, facilidad de operación, mantenimiento y construcción, obteniendo para cada uno de ellos los porcentajes de 28%, 16%, 19%, 15%, 11% y 11% respectivamente. Donde los requerimientos más relevantes son la calidad de producción, costos de fabricación y tiempo de producción.

Una vez recolectado los requerimientos del personal de la empresa Carrocería Ballena, se procedió a calificar cada máquina de chorro abrasivo con una escala de puntuaciones de 1 a 5, donde: (5) Excelente, (4) Muy bueno, (3) Bueno, (2) Regular y (1) Malo. Resultando que el mejor fluido de trabajo para el acabo superficial de estructuras metálicas es el aire comprimido, seguido del fluido agua comprimida.

La justificación se consideró por la siguiente explicación: el aire y agua respecto al requerimiento de calidad son fluidos que permite tener excelentes acabados superficiales eliminando revestimientos dañados por el almacenamiento de óxidos de hierro, aceites, grasas y otros. En tiempo de producción el aire comprimido es muy bueno en los estándares de tiempo para realizar un determinado acabado, pero el agua es excelente. En costos de fabricación los equipos con aire comprimido son menos costosos que los que utilizan agua. En facilidad de operación el aire es manejable por el operador debido a su bajo peso, mientras el agua es un fluido pesado, donde el peso de la manguera influye en el proceso.

También mediante una matriz de Pugh, se determinó el abrasivo más viable para las operaciones de la empresa Carrocería Ballena. Se evaluaron 6 tipos de abrasivos disponibles para el trabajo de acabado superficial (eliminación de óxidos de hierro, aceites, grasas y otros), donde el abrasivo arena es el más indicado para trabajar con la máquina de chorro con aire comprimido, seguido de la gravilla metálica, óxido de aluminio, silicato de aluminio, perlas de vidrio y carburo de silicio.

La justificación de la selección de la arena es porque es un abrasivo eficiente utilizado en la expulsión de revestimientos (esmaltes o pinturas) para eliminar el óxido de hierro en estructuras de acero. Genera un ruido menor con la mezcla de agua y aire alrededor de los 30dB y 40 dB respectivamente. Se puede reutilizar hasta 80 veces y tiene un costo promedio de 40 a 50 S/m³, valor inferior a cualquier otro abrasivo.

5.2 Para el diseño de los elementos del sistema de inyección de arena y aire comprimido, fue necesario la revisión de las fichas técnicas de los equipos actuales y la toma de muestras de los parámetros de funcionamiento de cada equipo, tales como: presión de trabajo, flujo de aire, diámetros, velocidad, flujo de arena, fuerza de los fluidos, otros.

Se realizó una variación del flujo másico de aire comprimido en relación a la presión de servicio del compresor de tornillo rotativo y de un diámetro fijo de 1 ¼ pulg. Esta prueba se realizó regulando la presión del compresor (desde 0.4 a 12.5 bar) en función del diámetro de la manguera: 1 ¼ pulg, para obtener el flujo másico de aire en litros/segundo, mediante la disposición de un flujómetro. Asimismo, fue necesario la utilización de la ficha técnica de la compresora KAESER AS 20T para corroborar sus parámetros mínimos y máximos de operación.

La evaluación permitió determinar que a la presión de servicio de 8 bares con un flujo de aire comprimido de 168 l/s (diámetro de manguera de 1 ¼ pulg), se logra una calidad en el proceso de acabo superficial (remoción de revestimiento entre 1 y 2 pasadas) de una estructura metálica. Pero a esa

presión la compresora KAESER AS 20T comprime el aire con exceso de partículas de aceite y agua, esto se debe a la mala operación que ha sufrido frecuentemente que la ha conducido al deterioro de su vida útil. Por lo cual, en la empresa para evitar estos problemas, regulan la compresora a una presión máxima de 6.3 bares con un flujo másico de aire comprimido de 65 l/s (diámetro de manguera de 1 ¼ pulg), dónde la calidad no es significativa, necesitando de 4 a 5 pasadas sobre una misma superficie para remover el revestimiento en su totalidad.

Por lo cual se propuso la implementación de una nueva compresora de aire de tornillo rotativo, la cual es adecuada para este tipo de trabajos. Del catálogo HYUNDAI, se seleccionó una compresora de aire, modelo 78HYQUA1510. La implementación de un nuevo compresor con parámetros más ajustados al proceso, como el compresor HYUNDAI permite un ahorro del 25% del consumo de potencia, lo cual se traduce en un ahorro de consumo de energía eléctrica.

Para determinar las dimensiones y materiales de los elementos de la máquina de arenado, como: tanque, válvulas, manguera de aire comprimido, manguera de abrasivo y tobera, fue necesario la utilización del Solidworks, porque el análisis de elementos finitos respecto a cargas dinámicas y estáticas es eficiente en mediante un software de simulación. En la actualidad existen expresiones matemáticas complejas para la aplicación del análisis de métodos finitos pero aún no sus resultados están en contante desarrollo para lograr asemejarse a los entregados por un simulador de diseño.

En el software Solidworks fue necesario la iteración sucesiva de materiales y dimensiones para cada elemento de la máquina de arenado, con la finalidad de lograr un factor de seguridad correcto. Asimismo, la aplicación del método de análisis finitos consideró una malla fina la cual secciona el área de un sólido en miles de áreas con la finalidad de obtener el mínimo factor de seguridad bajo cargas máximas.

Para determinar la calidad, se realizaron pruebas con la máquina de arenado actual sometiéndola a una carga máxima de 6.3 bar (presión a la cual trabaja actualmente) y a la presión de 8 bar (presión deseada con el diseño de una máquina óptima). Obteniendo un tiempo promedio 36 minutos para remover 1 m² de recubrimiento y necesitando entre 1 a 2 pasadas con las condiciones de operación actual, pero con la propuesta planteada el tiempo se reduce a 19 minutos empleando entre 1 a 2 pasadas, con un ahorro en tiempo de trabajo de 17 minutos, es decir la calidad incrementa en 47%. Y un ahorro de arena del 53%.

5.3 Para el análisis económico se consultaron precios de activos fijos de acuerdo al mercado local y regional y para evaluar las herramientas financieras se consultó a la Superintendencia de banca y seguros del Perú, el cual indica que la tasa de interés promedio es 12.50% con un periodo promedio de 5 años.

VI. CONCLUSIONES:

6.1 La aplicación de una matriz de Pugh permitió determinar que el equipo de chorro abrasivo más adecuado de acuerdo a los requerimientos del personal de la empresa Carrocerías Ballena es la máquina de chorro de aire comprimido empleando como abrasivo la arena fina. Los requerimientos que definieron la selección del diseño fueron la calidad de producción, tiempo de producción, costos de fabricación, facilidad de operación, mantenimiento y construcción, obteniendo para cada uno de ellos los porcentajes de 28%, 16%, 19%, 15%, 11% y 11% respectivamente.

6.2 Para el diseño del sistema de arenado se seleccionaron los siguientes componentes: compresora de aire de tornillo rotativo HYUNDAI modelo 78HYQUA1510 con una potencia de 15 HP y presión de servicio de 10 bar; mediante el análisis de elementos finitos en Solidworks el tanque de arenado es de material AISI 1045 laminado en frío con un diámetro de 810 mm, altura 1510 mm, diámetro de cono 76.20 mm, altura de cono 660 mm y espesor de pared de $\frac{1}{4}$ pulgada con un factor de seguridad mínimo de 2.97 ; válvula de manga de uretano con embolo de acero inoxidable de $1 \frac{1}{4}$ pulgada de diámetro modelo 1014101; manguera de aire comprimido con capacidad nominal de 12 bar, diámetro de $1 \frac{1}{4}$ pulgada y longitud de 10 pies; tobera de poliuretano y carburo de silicona con reducción de $1 \frac{1}{4}$ pulgada a $\frac{5}{16}$ pulgadas para una velocidad de trabajo de 140.74 m/s y manguera de abrasivo con capacidad nominal de 12 bar, diámetro de $1 \frac{1}{4}$ pulgada y longitud de 25 pies. Asimismo, mediante pruebas de acabo superficial se determinó que la calidad incremento en 47%, con un ahorro de 17 minutos por cada metro cuadrado. Y un ahorro del 53% del uso de arena.

6.3 Se realizó un análisis económico el cual determinó que la inversión para el diseño de la máquina de arena es 45559.8 soles, con un beneficio útil de 135360.00 soles/año y retorno operacional de la inversión de 4 meses. El análisis financiero definió un valor actual neto de 436398.73 soles y una tasa de retorno de la inversión de 297%, lo cual hace viable su ejecución del proyecto.

VII. RECOMENDACIONES:

- 7.1 Se recomienda la implementación de un mantenimiento preventivo a los elementos de la máquina de arenado (tanque, válvulas, manguera de aire, manguera de abrasivo y tobera) y mayor relevancia a la compresora de aire, la cual es un equipo crítico para las operaciones. De esta manera se limita la aparición de fallas en plena producción.
- 7.2 Se recomienda capacitar al personal operativo de la empresa Carrocerías Ballena, de acuerdo a la distancia y número de pasadas que se debe tener en cuenta en el proceso de acabo superficial de estructuras metálicas.
- 7.3 Se recomienda realizar un análisis de impacto ambiental, para determinar el grado de impacto ambiental que generan las máquinas de chorro de aire comprimido con el abrasivo arena.
- 7.4 Se recomienda la instalación de una cámara o área de trabajo cerrada para mitigar los efectos de la contaminación del aire comprimido con la arena.
- 7.5 Se recomienda realizar un cronograma de ejecución de tareas, para el diseño y construcción de la máquina de arenado.

REFERENCIAS

ACOSTA, LUGO. *Mantenimiento de estructuras metálicas*. Lima : Acantilado , 2017. 9867895435677.

AGUILAR , DAVID Y TORRES, JORGE. *Metodología de la investigación* . Lima : Acantilado , 2018. 98769009090890.

APAZA, HUGO. *Uso correcto de la maquina sandblasting* . México : Universidad Nacional de México , 2019.

AQUINO, MARCOS. *Diseño de elementos de máquinas*. México : Akal , 2016. 867894567567.

BAKER, J. *Diseño de elementos de máquinas* . Estados Unidos : Akal , 2018. 23 p.

CALDAS, FERMIN Y SOTO, CARLOS. *Máquinas de chorro abrasivos en la industria de limpieza de aceros estructurales*. Lima : Universidad Nacional del Callao, 2017. 9867456734875.

CALDAS, JUAN. *Arenadores de granalla fina* . Lima : Universidad Cesar Vallejo , 2017.

CALDERON, JUAN. *Diseño de componentes de una máquina de limpieza de revestimientos* . Ecuador : Universidad Nacional de Quito , 2017.

VÁSQUEZ, DIEGO. *Mantenibilidad de aceros estructurales por fluidos abrasivos* . Lima : Lumen, 2015.

CARRIÓN, EMILIO. *Análisis de elementos sometidos a fluidos abrasivos*. Lima : Editores G&J, 2015.

CARRIÓN, HUGO. *Procesos productivos industriales* . España : Akal , 2018. 6754900897356.

CASTRO, JHONATAN. *Eficiencia de sistemas de limpieza con abrasivos* . España : Universidad Nacional de Trujillo , 2017. 9076536784564.

CUPITA, HANS. *El efecto de la corrosión en estructuras metálicas* . Lima : Ajun Editores , 2017. 90757899045634.

DALTÓN, JAHES. *Diseño de elementos finitos*. Lima : Universidad Nacional de Trujillo , 2017. 98567896543458.

DUGLAS, JESÚS. *Matriz de selección de equipos* . España : Editores Libros, 2018. 67896478900.

FERNÁNDEZ, ALOND. *Análisis de equipos mecánicos*. Lima : Universidad Nacional del Callao, 2017.

FERNÁNDEZ, JESÚS. *Diseño de máquina de granalla* . Lima : Universidad Nacional de Ingeniería , 2015.

FERMÍN, ENER. *Diseño de recipientes a presión* . Ecuador : Editores L&T, 2016.

FIGUEROA, ELBER. *Influencia de rugosidad en un prototipo de limpieza sandblasting*. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería , 2017. 9867457389.

FLAMENCO, JHONS. *Diseño de sistema semi-automático de granallado* . Lima : Universidad Nacional del Callao , 2014.

FHET, L. *Matriz de Pugh*. Estados Unidos : Akal , 2019. 276 p.

HERNÁNDEZ, W. *Diseño de máquinas* . Estados Unidos : Akal , 2018. 176 p.

GARCÍA, F. *Elementos finitos computarizado* . Lima : Universidad Nacional del Callao , 2019. 177 p.

HERREA, MARCOS. *Diseño de un sistema de arenado* . España : Universidad de Madrid , 2017.

HUAMÁN, LUGO. *Sistemas de arenado* . Lima : Universidad Nacional de Trujillo , 2018. 9087690000.

JHONSON, H . *Diseño eléctrico y mecánico de elementos de máquinas* . Lima : Universidad Nacional de Piura , 2017. 67 p.

PALACIOS, UBER. *Construcción de una máquina de arenada*. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.

PANTA, CACES. *El efecto de la corrosión*. Madrid : Editor Libu, 2016.

PAREJA, LUIS. *El efecto de la corrosión en Latinoamérica*. Estados Unidos : Akal , 2016. 9087654389.

PRETEL, LAUDE. *Mantenimiento de estructuras* . Lima : Universidad Mayor de San Marcos , 2017.

RAMIREZ, LUIS. *Diseño de elementos de máquinas* . Lima : Lumen , 2017. 9868999000.

RAMOS, LUIS. *Metodología de la investigación* . Lima : Universidad Nacional de Ingeniería , 2017. 90034278974770.

RAZURÍ, SAULO. *Aplicación del diseño computarizado*. Lima : Lumen , 2017. 9868999000.

ROMERO, MANU. *Normativa SSPC-SP-5/NACE* . Madrid : Acantilado , 2010. 896753898.

SHIGLEY, G. *Diseño de elementos de máquinas* . Estados Unidos : Mc-Graw Hill, 2018. 233 p.

TORRES, CARLOS. *Mantenimiento Infraestructural* . España : Lumen , 2018. 674896985375.

VALDEZ, WILLIAN. *Diseño de hidro arenadora de uso industrial*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2019.

VÁSQUEZ, DIEGO. *Mantenibilidad de aceros estructurales por fluidos abrasivos* . Lima : Lumen, 2015.

VIEJO, DALUH. *Equipos de areanado a presión* . Ecuador : Libros HT, 2017

WILCO, JONH. *Proceso de arenado de estructuras sólidas*. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2016.

ZAPATA, VAZLES. *Corrosión en metales y no metales*. Lima : Ingenieros Editores , 2016. 9087568954.

ZOTERO, LHUFE. *Diseño de mecanismos* . Ecuador:Jakun, 2016.

ZUTA, POZO. *Sistemas de hidroarenado* . Lima : Universidad Alas Peruanas , 2018.

ANEXOS

ANEXO 1: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

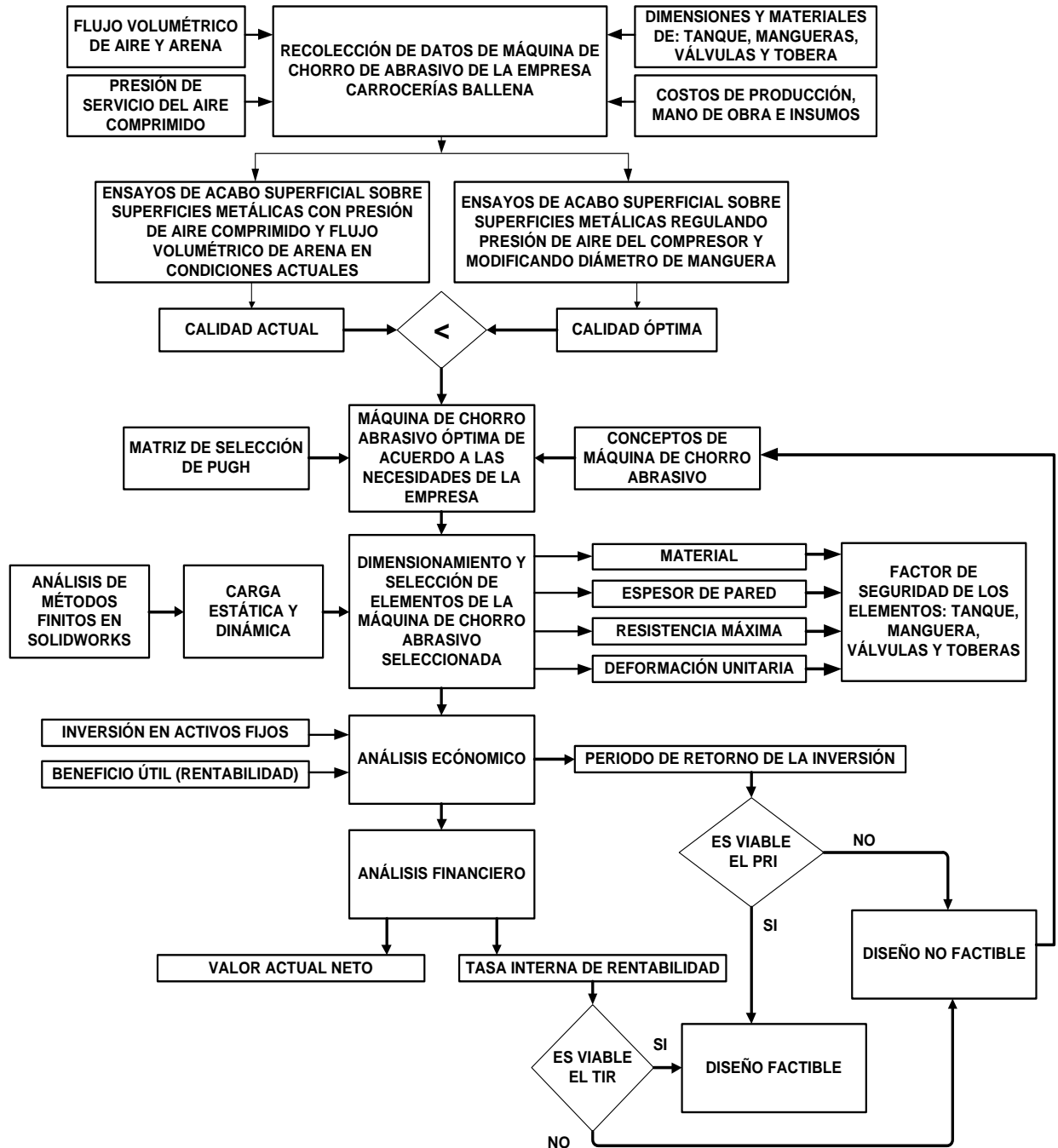
| Variable | Tipo | Definición conceptual | Definición Operacional | Dimensión | Indicador | Escala de medición |
|---|------------------------|---|--|--|---|--------------------|
| Características técnicas del chorro abrasivo | Variable Independiente | Conjunto de elementos mecánicos articulados en un proceso fluido – dinámico, para realizar un proceso de acabo superficial, eliminando revestimientos, esmaltes, pinturas dañados por la húmeda, aceites u óxido de hierro (Caldas, y otros, 2017). | El diseño de una máquina de chorro abrasivo depende de parámetros fluido –dinámicos como: presión de servicio, caudal volumétrico del fluido de servicio (agua o aire) y flujo volumétrico de abrasivo (arena, granalla metálica, silicato de aluminio, etc.). | Flujos de chorro abrasivo | Flujo volumétrico (m ³ /s) | Nominal |
| | | | | Parámetros del proceso de chorro abrasivo | Presión de servicio (bar) | De Razón |
| | | | | | Espesor de pared (pulg) | |
| | | | | | Flujo volumétrico de fluido de servicio (m ³ /s) | |
| | | | | | Flujo volumétrico de fluido abrasivo (m ³ /s) | |
| Velocidad de impacto (m/s) | | | | | | |
| Calidad del acabo superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica | Variable Dependiente | Es la velocidad del resultado de un proceso de limpieza en una estructura metálica, la cual ha sido dañada por efectos de corrosión, removiendo eficazmente en un tiempo significativo la totalidad de la capa superficial dañada (Carrión, 2018). | Es la rapidez a la cual se elimina un revestimiento dañado por corrosión, es decir es la cantidad de pasada para desprender la capa de óxido de hierro eficazmente. | Cantidad de pasada para desprender la capa de óxido. | % calidad | De Razón |
| | | | | | Tiempo de procesamiento (minutos) | |
| | | | | Rentabilidad | Beneficio útil (Soles/año) | De Razón |

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERALIZACION DE VARIABLES

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|--|--|--|---|--|
| ¿Cuáles son las características técnicas y económicas que debe tener el diseño de una máquina de chorro abrasivo para mejorar la calidad del acabado superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo? | <p style="text-align: center;">Objetivo General.</p> <p>Diseñar la máquina de chorro abrasivo para mejorar la calidad del acabado superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo.</p> | Las mejores características técnicas y económicas del diseño de una máquina de chorro abrasivo, permitirán mejorar la calidad del acabado superficial de estructuras metálicas y la rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo. | <p style="text-align: center;">Variables Independientes.</p> <p>Características técnicas del chorro abrasivo</p> | <p style="text-align: center;">Tipo de investigación.</p> <p style="text-align: center;">Aplicada</p> |
| | <p style="text-align: center;">Objetivos Específicos.</p> <p>(1) Realizar una matriz de Pugh para proponer alternativas de solución en el diseño de una máquina de chorro abrasivo; (2) Dimensionar y seleccionar la compresora de aire y análisis de elementos finitos de los elementos tanque, manguera, válvula y tobera utilizando el software Solidworks; (3) Realizar un análisis económico – financiero: Bo, lo, PRI, VAN y TIR.</p> | | | <p style="text-align: center;">Variables dependientes.</p> <p>Calidad del acabo superficial de estructuras metálicas y rentabilidad económica</p> |
| | | | | <p style="text-align: center;">Método.</p> <p style="text-align: center;">Deductivo</p> |
| | | | | <p style="text-align: center;">Diseño de investigación.</p> <p style="text-align: center;">Experimental puro</p> |
| | | | | <p style="text-align: center;">Población.</p> <p>Máquinas de chorro abrasivo en empresas de servicio del departamento de La Libertad.</p> |
| | | | | <p style="text-align: center;">Muestra.</p> <p>: Máquina de chorro abrasivo en empresa Carrocerías ballena.</p> |
| | | | | <p style="text-align: center;">Técnica.</p> <p>Análisis Documental, Observación y encuesta</p> |
| | | | | <p style="text-align: center;">Instrumentos.</p> <p>Ficha de registro, Ficha de observación, cuestionario</p> |

Fuente: elaboración propia.

ANEXO 3. FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACION



Fuente: Elaborado por el autor

ANEXO 4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

CUESTIONARIO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

ELÉCTRICA

“Diseño de Máquina de Chorro Abrasivo para Mejorar la calidad del Acabado Superficial de Estructuras Metálicas y la rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo”

Encuesta para evaluar la calidad del arenado

PREGUNTAS

1. ¿Cómo determina el acabado?

.....

2. ¿Qué problema tiene constantemente?

.....

3. ¿A qué presión trabaja la compresora para su proceso de arenado?

.....

4. ¿Cuánto es el tiempo máximo de operatividad de la maquina?

.....

5. ¿Qué falla puede presentar si sobrepasa las horas de operatividad?

.....

6. ¿Qué diámetro de boquilla utilizan?

.....

7. ¿Qué tipo de malla para colar la arena es recomendable?

.....

8. ¿Qué cantidad se utiliza para llenar el tanque?

.....

9. ¿Qué tiempo tarde en cargar la presión?

.....

10. ¿Qué piezas de la maquina presentan más desgaste?

.....

11. ¿Cómo sabe si la operatividad disminuye?

.....

Fuente: elaboración propia.

ANEXO 5. GUÍA DE OBSERVACIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA

“Diseño de Máquina de Chorro Abrasivo para Mejorar la calidad del Acabado Superficial de Estructuras Metálicas y la rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo”

| | |
|--------------------------------|--|
| Nombre de la empresa | |
| Ubicación de la empresa | |
| Autor | |

OBJETIVO: observar y evaluar el desempeño de la maquina

| N° | Datos | Unidades | Valores |
|-----------|---|-----------------|----------------|
| 1 | Cantidad de horas que está trabajando la maquina | | |
| 2 | Cantidad de arena que se usa para el proceso de arenado | | |
| 3 | Cada cuanto tiempo se hace mantenimiento a la maquina | | |
| 4 | Que presión es la recomendada para que tenga un buen funcionamiento | | |
| 5 | Que diámetro de manguera es la indicada | | |

| | | | |
|---|--|--|--|
| 6 | Cuál es el diámetro del tanque para que tenga un llenado eficiente | | |
| 7 | Que altura es la requerida para el tanque | | |
| 8 | Cuál es el diámetro de la boquilla | | |

Fuente: elaboración propia.

ANEXO 6. FICHA DOCUMENTAL

FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“Diseño de Máquina de Chorro Abrasivo para Mejorar la calidad del Acabado Superficial de Estructuras Metálicas y la rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo”

FICHA DOCUMENTAL

| | |
|--------------------------------|--|
| Empresa | |
| Ubicación de la empresa | |
| Autor | |
| Dirigido a | |

Objetivo: Recaudar información documentada respecto a características normadas para su funcionamiento

| | |
|--------------------------|--|
| Cantidad de arena | |
| Fuente | |

| | |
|--|--|
| Variación del flujo de arena de acuerdo al diámetro de boquilla | |
| Fuente | |

| | |
|---|--|
| Nivel de acabado en la superficie metálica | |
| Fuente | |

| | |
|--|--|
| Tiempo máximo de llenado del tanque | |
| Fuente | |

| | |
|---|--|
| Límite de presión para hacer la aplicación | |
| Fuente | |

| | |
|---|--|
| Fuerza de penetración en metales | |
| Fuente | |

| | |
|--------------------------|--|
| Precio de arenado | |
| Fuente | |

Fuente: elaboración propia.

ANEXO 7. PÁGINA DEL JURADO

“Diseño de Máquina de Chorro Abrasivo para Mejorar la calidad del Acabado Superficial de Estructuras Metálicas y la rentabilidad económica en Carrocerías Ballena, Trujillo”

Cabrera Rodríguez, Luis David

Autor

Ybañez Ramos, Henry Enrique

Autor

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo de Trujillo para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.

Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez

Presidente

Ing. Teofilo Martin Sifuentes Inostroza

Secretario

Ing. Luis Julca Verastegui

Vocal

ANEXO 8. DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Nosotros Cabrera Rodríguez Luis David con DNI: 75990624 y Ybañez Ramos Henry Enrique con DNI: 74087877 de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, autores del proyecto de tesis titulada: DISEÑO DE MÁQUINA DE CHORRO ABRASIVO PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL ACABADO SUPERFICIAL DE ESTRUCTURAS METÁLICAS Y LA RENTABILIDAD ECONÓMICA EN CARROCERÍAS BALLENA, TRUJILLO.

Testificamos que todos los datos presentados son originales basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica constituido en la facultad de ingeniería de la universidad Cesar Vallejo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Trujillo, julio del 2020

ANEXO 9. SELECCIÓN ÓPTIMA DE MÁQUINA DE CHORRO ABRASIVO, MEDIANTE UNA MATRIZ PUGH

CONCEPTOS DE MÁQUINAS DE CHORRO ABRASIVO

En el uso de máquinas de acabado superficial existen principalmente 2 equipos en general: las máquinas de chorro abrasivo seco y las máquinas de chorro abrasivo en húmedo, dónde las primeras utilizan como fluido al aire comprimido y las segundas utilizan fluido al agua, pero ambas pueden utilizar distintos tipos de abrasivos: granalla metálica, arena, silicato de aluminio, óxido de aluminio, perlas de vidrio y carburo de silicio.

Máquinas de chorro según el tipo de fluido

| TIPOS DE FLUIDO | |
|--|--|
| AIRE | AGUA |
| <p style="text-align: center;">MÁQUINAS DE CHORRO ABRASIVO SECO</p>  | <p style="text-align: center;">MÁQUINAS DE CHORRO ABRASIVO HÚMEDO</p>  |
| <p>CONCEPTO: Es una mezcla homogénea de gases que conforman la atmosfera terrestre, principalmente de oxígeno y nitrógeno. En máquinas de chorro seco, el aire atmosférico a 1 bar es comprimido mediante un equipo llamado compresor para aumentar la presión y lograr una velocidad requerida en el proceso.</p> <p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El aire comprimido tiene en promedio un costo de 1 a 2.5 \$/m³ - Es fácil de manipular y no se necesita un recipiente de almacenamiento ya que se encuentra disponible en el medio atmosférico. - Tiene volumen indefinido y fácil de comprimir - Es de menor peso que el agua. <p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sus partículas son muy pequeñas y mezclado con un abrasivo para dar un acabo superficial, el operador debe utilizar el equipo de protección adecuado. - No tiene la capacidad de cortar sólidos. | <p>CONCEPTO: Es una sustancia química cuya estructura molecular está constituida de hidrógeno y oxígeno. En máquinas de chorro húmedo, el agua atmosférica a 1 bar es comprimida mediante una bomba hidráulica para aumentar la presión y lograr una velocidad requerida para el mezclado con el abrasivo.</p> <p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El agua comprimida tiene en promedio un costo de 5 a 8 \$/m³ - Puede ser reutilizable en el proceso, pero se necesita de la instalación de una cabina y un sistema de recuperación de agua y abrasivo. - Pueden utilizarse también para el corte de sólidos. - Genera menor ruido en la mezcla comprimida con un abrasivo. <p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es difícil de manipular, se debe contar con un depósito para su almacenamiento y un sistema de filtración. - Tiene mayor peso que el aire - Tiene volumen indefinido y difícil de comprimir, requiriendo de bombas de gran capacidad de carga. |

Máquinas de chorro según el tipo de abrasivo

| MÁQUINAS DE CHORRO ABRASIVO SECO | | | MÁQUINAS DE CHORRO ABRASIVO HÚMEDO | | |
|---|---|---|--|---|--|
|  | | |  | | |
| TIPOS DE ABRASIVOS | | | | | |
| GRANALLA METÁLICA | ARENA | SILICATO DE ALUMINIO | ÓXIDO DE ALUMINIO | PERLAS DE VIDRIO | CARBURO DE SILICIO |
|  |  |  |  |  |  |
| <p>Es un abrasivo utilizado para la eliminación de pintura y eliminar óxidos en estructuras. Genera elevado ruido con la mezcla de agua y aire alrededor de los 70dB y 80 dB respectivamente. Se puede reutilizar 50 veces y tiene un costo promedio de 150 a 180 S/m³</p> | <p>La arena como abrasivo es utilizado en la expulsión de revestimientos (esmaltes o pinturas) para eliminar el óxido de hierro en estructuras de acero. Genera un ruido menor con la mezcla de agua y aire alrededor de los 30dB y 40 dB respectivamente. Se puede reutilizar hasta 80 veces y tiene un costo promedio de 40 a 50 S/m³.</p> | <p>El silicato de aluminio es empleado tanto para el limpiado de revestimientos y para el corte de materiales, dónde su manipulación es relevante. Genera un ruido excesivo con la mezcla de agua y aire alrededor de los 90dB y 95 dB respectivamente. Se puede reutilizar hasta 200 veces y tiene un costo promedio de 190 a 240 S/m³.</p> | <p>El óxido de aluminio empleado para la expulsión de revestimientos duros y es ideal para limpiar estructuras cilíndricas. Genera un ruido promedio con la mezcla de agua y aire alrededor de los 75dB y 80 dB respectivamente. Se puede reutilizar hasta 100 veces y tiene un costo promedio de 220 a 260 S/m³.</p> | <p>Las perlas de aluminio es un abrasivo duro, sus partículas son muy pequeñas y permiten adaptarse a cualquier superficie, se utilizan para eliminar revestimientos duros y limpian cualquier tipo de estructuras metálicas. Genera un ruido promedio con la mezcla de agua y aire alrededor de los 80dB y 85 dB respectivamente. Se puede reutilizar hasta 50 veces y tiene un costo promedio de 120 a 150 S/m³.</p> | <p>El carburo de silicio el un abrasivo extremadamente duro, casi como el diamante y no tiende a fundirse, se emplean en la eliminación de capas de óxidos de hierro de excesivo espesor, pero debe emplearse en estructuras metálicas de alta dureza. Genera un ruido excesivo con la mezcla de agua y aire alrededor de los 90dB y 100 dB respectivamente. Se puede reutilizar hasta 800 veces y tiene un costo promedio de 2200 a 2500 S/m³.</p> |

Requerimientos de parámetros del diseño

Se observan los resultados de la encuesta realizada al personal operativo de la empresa Carrocería Ballena: gerente (P1), supervisor (P2) y operadores (P3, P4, P5 y P6), los cuales fueron consultados respecto a 6 requerimientos del diseño: calidad de producción, tiempo de producción, costos de fabricación, facilidad de operación, mantenimiento y construcción, obteniendo para cada uno de ellos los porcentajes de 28%, 16%, 19%, 15%, 11% y 11% respectivamente. Dónde los requerimientos más relevantes son la calidad de producción, costos de fabricación y tiempo de producción. Los encuestados cuantificaron cada uno de los requerimientos del diseño mediante el siguiente puntaje: (5) Excelente, (4) Muy bueno, (3) Bueno, (2) Regular y (1) Malo. Por ejemplo el encuestado P1, consideró a la calidad de producción como excelente (criterio que está relacionado con el acabado superficial) dándole una puntuación de 5, en tiempo de producción lo calificó con 4 (criterio que define el tiempo empleado para eliminar el revestimiento de una estructura metálica), en costos de fabricación consideró 4 (criterio relacionado al costo del equipo y sus elementos), en facilidad de operación consideró 3 (criterio relacionado al manejo del equipo), en mantenimiento consideró 2 (criterio relacionado al mantenimiento de los elementos del equipo) y en construcción consideró 2 (criterio relacionado al ensamblaje de las piezas del equipo). Asimismo, cada requerimiento del diseño obtuvo un puntaje parcial, para obtener un puntaje total y poder definir el porcentaje por cada uno de ellos. Por ejemplo, la calidad de producción tiene un puntaje parcial de 30 y todos los requerimientos tienen un acumulado de 107, lo que representa en este requerimiento un porcentaje de relevancia del 28% (30/107).

Requerimientos cuantitativos del diseño de los conceptos

| ÍTEM | CALIDAD DE PRODUCCIÓN | TIEMPO DE PRODUCCIÓN | COSTOS DE FABRICACIÓN | FACILIDAD DE OPERACIÓN | MANTENIMIENTO | CONSTRUCCIÓN | TOTAL |
|------|-----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------|--------------|-------|
| P1 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 20 |
| P2 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 20 |
| P3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 18 |
| P4 | 5 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 17 |
| P5 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 16 |
| P6 | 5 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 16 |
| | 30 | 17 | 20 | 16 | 12 | 12 | 107 |
| | 28% | 16% | 19% | 15% | 11% | 11% | 100% |

Fuente: Cuestionario realizado al personal operativo de la empresa Carrocería Ballena

Matriz de Pugh de los conceptos respecto al tipo de fluido

| REQUERIMIENTOS CUANTITATIVOS DEL DISEÑO DE LOS CONCEPTOS | | MÁQUINAS DE CHORRO ABRASIVO CON AIRE COMPRIMIDO | MÁQUINAS DE CHORRO ABRASIVO CON AGUA COMPRIMIDA | | |
|--|------|--|--|--------------|-----------|
| | |  |  | Calificación | Ponderado |
| CALIDAD DE PRODUCCIÓN | 28% | 5 | 1.4 | 5 | 1.4 |
| TIEMPO DE PRODUCCIÓN | 16% | 4 | 0.64 | 5 | 0.8 |
| COSTOS DE FABRICACIÓN | 19% | 5 | 0.95 | 3 | 0.57 |
| FACILIDAD DE OPERACIÓN | 15% | 4 | 0.6 | 3 | 0.45 |
| MANTENIMIENTO | 11% | 5 | 0.55 | 3 | 0.33 |
| CONSTRUCCIÓN | 11% | 4 | 0.44 | 3 | 0.33 |
| ACUMULADO | 100% | | 4.58 | | 3.88 |

Se observa que el mejor fluido de trabajo para el acabo superficial de estructuras metálicas es el aire comprimido con un ponderado total de 4.58, seguido del fluido agua comprimida que tiene un ponderado de 3.88. Por ejemplo, el aire y agua tuvieron ambos una calificación de 5 respecto al requerimiento de calidad de

producción porque son fluidos que permite tener excelentes acabados superficiales eliminando revestimientos dañados por el almacenamiento de óxidos de hierro, aceites, grasas y otros. En tiempo de producción se consideró 4 para el aire comprimido porque es muy bueno en los estándares de tiempo para realizar un determinado acabado, pero el agua es excelente por lo cual se le consideró un puntaje de 5. En costos de fabricación los equipos con aire comprimido son menos costosos que los que utilizan agua, por lo cual se consideró 5 y 3 como puntajes respectivamente. En facilidad de operación se consideró 4 para el aire y 3 para el agua, porque el aire es manejable por el operador debido a su bajo peso, mientras el agua es un fluido pesado, dónde el peso de la manguera influye en el proceso. En mantenimiento se consideró 5 para el equipo de aire y 3 para el equipo de agua, ya que este último posee como elemento principal una bomba hidráulica como equipo crítico. En construcción es más viable el equipo de aire con puntuación 4.



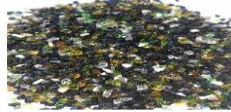



En la tabla se muestra un comparativo de los costos entre el consumo de agua y aire, en el proceso de arenado. Dónde el costo del aire comprimido tiene un precio de 1.25 soles/m³ y el agua comprimida 8.00 soles/m³. Para tal efecto el aire comprimido refleja un ahorro significativo para la empresa Carrocerías Ballena, la cual está en un proceso de crecimiento productivo, requiriendo una máquina de chorro abrasivo con costos de operación accesibles a sus recursos económicos.

Costos de fluidos de trabajo de las máquinas de abrasivo

| Fluido de trabajo | Precio de trabajo | Diferencia |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Aire comprimido | 1.25 soles/m ³ | 6.75 soles/m ³ |
| Agua comprimida | 8.00 soles/m ³ | |

Fuente: Herrera, 2017.

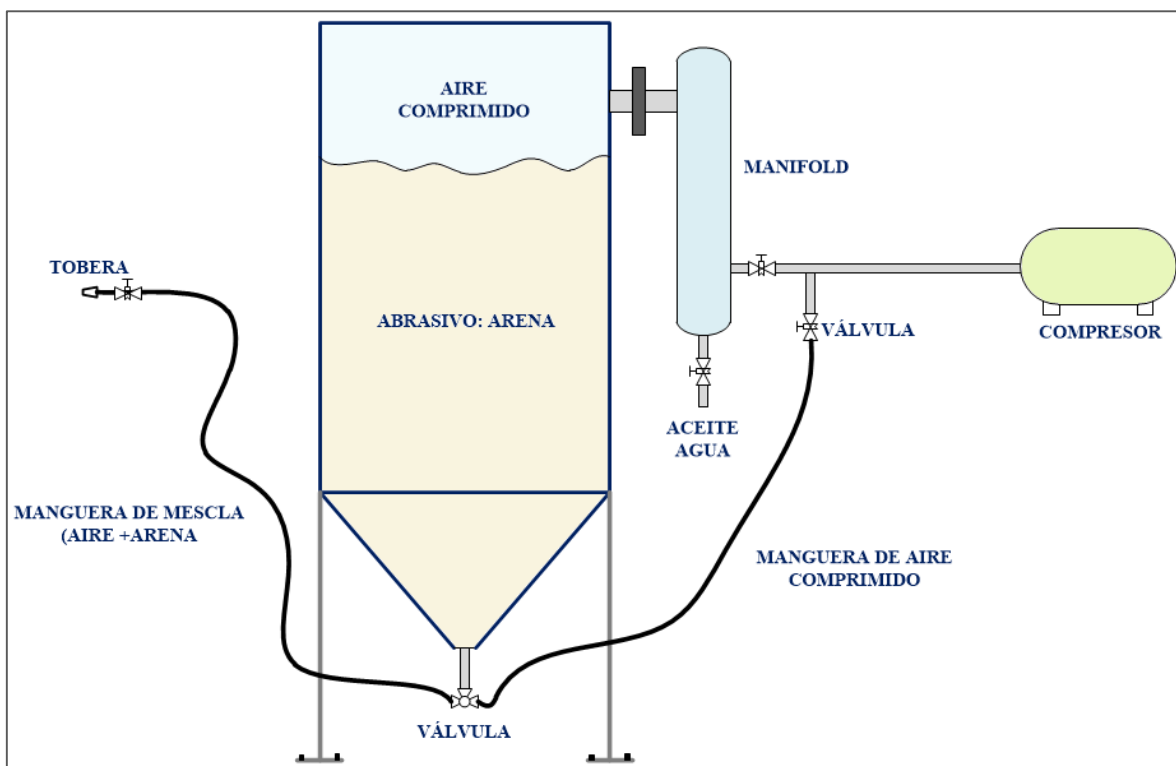
Matriz de Pugh respecto al tipo de abrasivo

| REQUERIMIENTOS CUANTITATIVOS DEL DISEÑO DE LOS CONCEPTOS | | GRANALLA METÁLICA | | ARENA | | SILICATO DE ALUMNIO | | ÓXIDO DE ALUMINIO | | PERLAS DE VIDRIO | | CARBURO DE SILICIO | |
|--|-------|---|-----------|--|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|
| | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
| | | Calificación | Ponderado | Calificación | Ponderado | Calificación | Ponderado | Calificación | Ponderado | Calificación | Ponderado | Calificación | Ponderado |
| EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN | 28% | 5 | 1.4 | 5 | 1.4 | 5 | 1.4 | 5 | 1.4 | 5 | 1.4 | 5 | 1.4 |
| TIEMPO DE PRODUCCIÓN | 16% | 4 | 0.64 | 4 | 0.64 | 3 | 0.48 | 4 | 0.64 | 3 | 0.48 | 3 | 0.48 |
| COSTOS DE FABRICACIÓN | 19% | 4 | 0.76 | 5 | 0.95 | 3 | 0.57 | 3 | 0.57 | 3 | 0.57 | 1 | 0.19 |
| FACILIDAD DE OPERACIÓN | 15% | 4 | 0.6 | 4 | 0.6 | 4 | 0.6 | 3 | 0.45 | 3 | 0.45 | 3 | 0.45 |
| MANTENIMIENTO | 11% | 4 | 0.44 | 4 | 0.44 | 3 | 0.33 | 3 | 0.33 | 3 | 0.33 | 3 | 0.33 |
| CONSTRUCCIÓN | 11% | 3 | 0.33 | 4 | 0.44 | 3 | 0.33 | 3 | 0.33 | 3 | 0.33 | 3 | 0.33 |
| ACUMULADO | 100 % | | 4.17 | | 4.47 | | 3.71 | | 3.72 | | 3.56 | | 3.18 |

Se observan los 6 tipos de abrasivos disponibles para el trabajo de acabado superficial (eliminación de óxidos de hierro, aceites, grasas y otros), dónde el abrasivo arena es el más indicado para trabajar con la máquina de chorro con aire comprimido. Por ejemplo la arena tuvo una calificación de 5 en eficiencia de producción, 4 en tiempo de producción, 4 en costos de fabricación, 4 en facilidad de operación, 4 en mantenimiento y 4 en construcción, obteniendo un ponderado total de 4.47 ($5 \cdot 0.28 + 4 \cdot 0.16 + 5 \cdot 0.19 + 4 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.11 + 4 \cdot 0.11$), seguido de la gravilla metálica con 4.17, óxido de aluminio 3.72, silicato de aluminio 3.71, perlas de vidrio 3.56 y carburo de silicio de 3.18.

ANEXO 10. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE ARENA Y AIRE COMPRIMIDO

Para el diseño de los elementos del sistema de inyección de arena y aire comprimido, fue necesario la revisión de las fichas técnicas de los equipos actuales y la toma de muestras de los parámetros de funcionamiento de cada equipo, tales como: presión de trabajo, flujo de aire, diámetros, velocidad, flujo de arena, fuerza de los fluidos, otros. En la siguiente figura, se observan los elementos del sistema de inyección de arena, como: compresor de aire, válvulas, manifold, tanque de arenado, manguera de aire comprimido y manguera de mezcla (aire + arena).



Fuente: Elaborado por los autores

ANEXO 11. COMPRESOR DE AIRE:

Se observa la variación del flujo másico de aire comprimido en relación a la presión de servicio del compresor de tornillo rotativo y aún diámetro fijo de mangueras 1 ¼ pulg. Esta prueba se realizó regulando la presión del compresor (desde 0.4 a 12.5 bar) en función del diámetro de la manguera: 1 ¼ pulg, para obtener el flujo másico de aire en litros/segundo, mediante la disposición de un flujometro. Asimismo, fue necesario la utilización de la ficha técnica de la compresora KAESER AS 20T para corroborar sus parámetros mínimos y máximos de operación.

Caudal volumétrico de aire comprimido (l/s) para un diámetro de 1 ¼ pulg

| P (bar) | Caudal (l/s) |
|---------|--------------|
| 0.4 | 15 |
| 0.6 | 20 |
| 1 | 28 |
| 1.6 | 40 |
| 2.5 | 57 |
| 4 | 89 |
| 6.3 | 133 |
| 8 | 168 |
| 10 | 208 |
| 12.5 | 258 |

Fuente: Toma de muestras en compresor KAESER AS 20T

La evaluación permitió determinar que a la presión de servicio de 8 bares con un flujo de aire comprimido de 168 l/s (diámetro de manguera de 1 ¼ pulg), se logra una mejor calidad en el proceso de acabo superficial (remoción de revestimiento entre 1 y 2 pasadas) de una estructura metálica. Pero a esa presión la compresora KAESER AS 20T comprime el aire con exceso de partículas de aceite y agua, esto se debe a la mala operación que ha sufrido frecuentemente que la ha conducido al deterioro de su vida útil. Por lo cual en la empresa para evitar estos problemas, regulan la compresora a una presión máxima de 6.3 bares con un flujo másico de aire comprimido de 133 l/s (diámetro de manguera de 1 ¼ pulg), dónde la calidad no es significativa, necesitando de 4 a 5 pasadas sobre una misma superficie para remover el revestimiento en su totalidad.

Por lo consiguiente es necesario la implementación de una nueva compresora de aire de tornillo rotativo, la cual es adecuada para este tipo de trabajos. Del catálogo HYUNDAI, seleccionamos la compresora de aire, modelo 78HYQUA1510 (anexos), en la tabla 10 se muestra el comparativo de los principales parámetros de la compresora KAESER Y HYUNDAI.

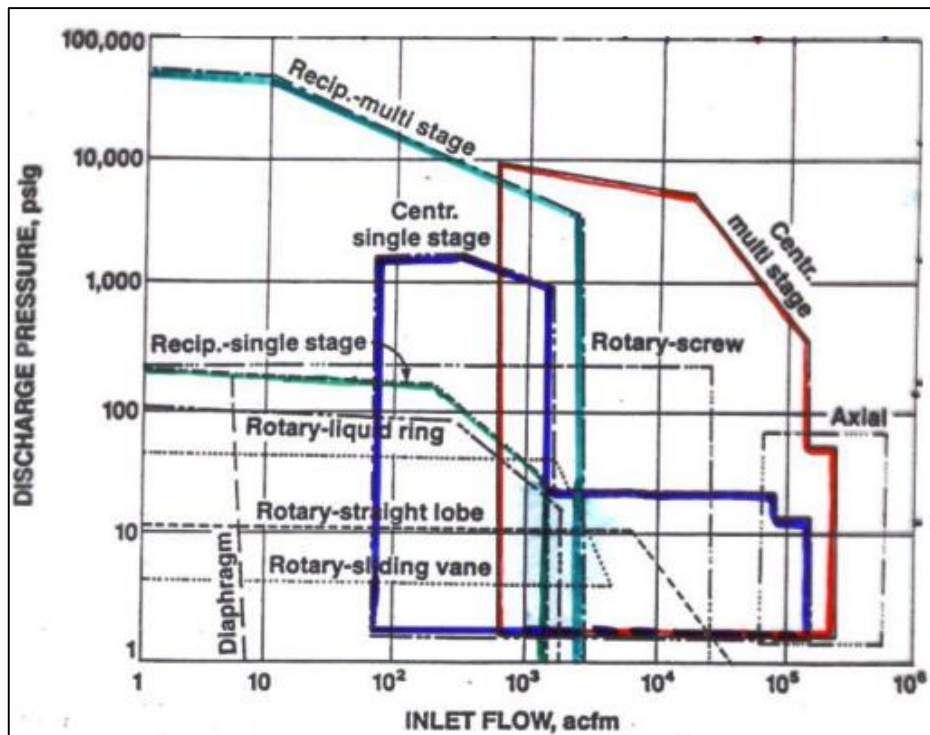
Comparativo de las compresoras

| PARÁMETRO | COMPRESORA KAESER | COMPRESORA HYUNDAI |
|----------------------|-------------------|--------------------|
| Potencia (HP) | 20 | 15 |
| Presión máxima (bar) | 15 | 10 |

Fuente: Fichas técnicas de compresoras KAESER Y HYUNDAI

Se puede indicar también que la implementación de un nuevo compresor con parámetros más ajustados al proceso, como el compresor HYUNDAI permiten un ahorro del 25% del consumo de potencia ($1 - (15 \text{ HP}/20\text{HP})$), lo cual se traduce en un ahorro de consumo de energía eléctrica.

De la curva de compresores podemos indicar que a una presión de 8 bar (116 Psi) para un compresor de tornillo rotatorio su caudal nominal de entrega es de 500 cfm, lo cual reafirma que si podrá trabajar con el caudal de operación de 168lt/s (356 cfm).



ANEXO 12. TANQUE DE ARENADO

El tanque de arenado está constituido por arena y aire comprimido, donde los $\frac{3}{4}$ de su volumen es ocupado por el abrasivo (arena) y $\frac{1}{4}$ de su volumen es ocupado por el aire comprimido

Se muestran las principales dimensiones del tanque de arenado como: espesor de plancha, altura de tanque, diámetro de tanque, altura del cono, diámetro del cono, porcentaje de llenado de abrasivo y porcentaje de llenado de aire comprimido. Cabe indicar que las dimensiones establecidas serán corroboradas por el método de análisis finitos, según el criterio de cargas combinadas (estática y dinámica) con el software Solidworks.

Dimensiones del tanque de arenado

| DIMENSIÓN | CANTIDAD | SIMBOLO (UNIDAD) |
|----------------------------|----------|------------------|
| Espesor de plancha | 6.35 | ep (mm) |
| Altura del tanque | 1510 | At (mm) |
| Diámetro interno de tanque | 810 | Dt (mm) |
| Altura del cono | 660 | Ac (mm) |
| Diámetro interno del cono | 76.2 | Dc (mm) |
| Llenado de abrasivo | 75 V | La (%) |
| Llenado de aire comprimido | 25 V | Lac (%) |

a) Volumen del tanque:

- Volumen del cilindro total:

$$V_{CT} = \frac{\pi * Dt^2}{4} * At$$

$$V_{CT} = \frac{\pi * (0.810m)^2}{4} * (1.510m)$$

$$V_{CT} = 0.778 m^3$$

- Volumen del cono truncado:

$$V_{CTR} = \frac{1}{3} \pi * Ac * \left[\left(\frac{Dt}{2} \right)^2 + \left(\frac{Dc}{2} \right)^2 + \frac{Dt * Dc}{4} \right]$$

$$V_{CTR} = \frac{1}{3} \pi (0.660m) \left[\left(\frac{0.810m}{2} \right)^2 + \left(\frac{0.07620m}{2} \right)^2 + \frac{0.810m * 0.07620m}{4} \right]$$

$$V_{CTR} = 0.125 \text{ m}^3$$

El volumen total del tanque es:

$$V_{\text{tanque}} = V_{CT} + V_{CTR}$$

$$V_{\text{tanque}} = 0.778 \text{ m}^3 + 0.125 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tanque}} = 0.903 \text{ m}^3$$

b) Volumen ocupado por el abrasivo (arena)

$$V_{\text{arena}} = L_a * V_{\text{tanque}}$$

$$V_{\text{arena}} = 0.75 * (0.903 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{arena}} = 0.677 \text{ m}^3$$

c) Volumen ocupado por el aire comprimido

$$V_{\text{aire}} = L_{ac} * V_{\text{tanque}}$$

$$V_{\text{aire}} = 0.25 * (0.903 \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{aire}} = 0.226 \text{ m}^3$$

d) Masa de arena contenida en el tanque de arenado

La arena tiene una densidad promedio 1649.13 Kg/m³ (anexo)

$$m_{\text{arena}} = V_{\text{arena}} * \rho_{\text{arena}}$$

$$m_{\text{arena}} = 0.677 \text{ m}^3 * 1649.13 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{arena}} = 1100 \text{ Kg}$$

e) Flujo másico de arena

Se observó que el consumo de arena en el tanque es de 1 cm de altura cada 15 minutos en promedio con una presión de 8 bares, por lo cual el tiempo promedio de vaciado sería 3255 minutos (54.25 horas)

$$\dot{m}_{\text{arena}} = \frac{m_{\text{arena}}}{t_{\text{vaciado}}}$$

$$\dot{m}_{\text{arena}} = \frac{1100 \text{ Kg}}{3255 \text{ min}}$$

$$\dot{m}_{\text{arena}} = 0.338 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} = 5.633 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

f) Fuerza del aire comprimido en las paredes del cilindro

La fuerza del aire que ejerce sobre las paredes internas del tanque, se calculará incluyendo toda el área lateral del cilindro y el área lateral del cono, ya que a medida que el proceso de arenado avanza, el aire comprimido va ocupando más espacio en el tanque.

- Área lateral del cilindro:

$$A_{LC} = \pi * Dt * At$$

$$A_{LC} = \pi * 0.810\text{m} * 1.510\text{m}$$

$$A_{LC} = 3.84 \text{ m}^2$$

- Área lateral del cono truncado:

$$A_{LCT} = \pi * \left(\frac{Dt + Dc}{2}\right) * \sqrt{Ac^2 + \left(\frac{Dt - Dc}{2}\right)^2}$$

$$A_{LCT} = \pi * \left(\frac{0.810 + 0.07620}{2}\right) * \sqrt{0.660^2 + \left(\frac{0.810 - 0.07620}{2}\right)^2}$$

$$A_{LCT} = 1.05 \text{ m}^2$$

- Área de la tapa del tanque:

$$A_{TT} = \frac{\pi * Dt^2}{4}$$

$$A_{TT} = \frac{\pi * (0.810 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{TT} = 0.515 \text{ m}^2$$

El área lateral total del tanque es:

$$A_{\text{tanque}} = A_{LC} + A_{LCT} + A_{TT}$$

$$A_{\text{tanque}} = 3.84 \text{ m}^2 + 1.05 \text{ m}^2 + 0.515 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tanque}} = 5.405 \text{ m}^2$$

La fuerza dinámica máxima en el tanque, se calcula:

$$F_{\text{aire}} = (P_{\text{aire}} + \rho_{\text{arena}} * g * h) * A_{\text{tanque}}$$

Dónde la presión del aire es 8 bar y la densidad de la arena es 1649.13 Kg/m³. Asimismo la altura media ocupada sería el 75% de la altura del cilindro y cono, es decir 1.63 m (0.75*(1510 + 660) mm).

Por lo tanto la fuerza sería:

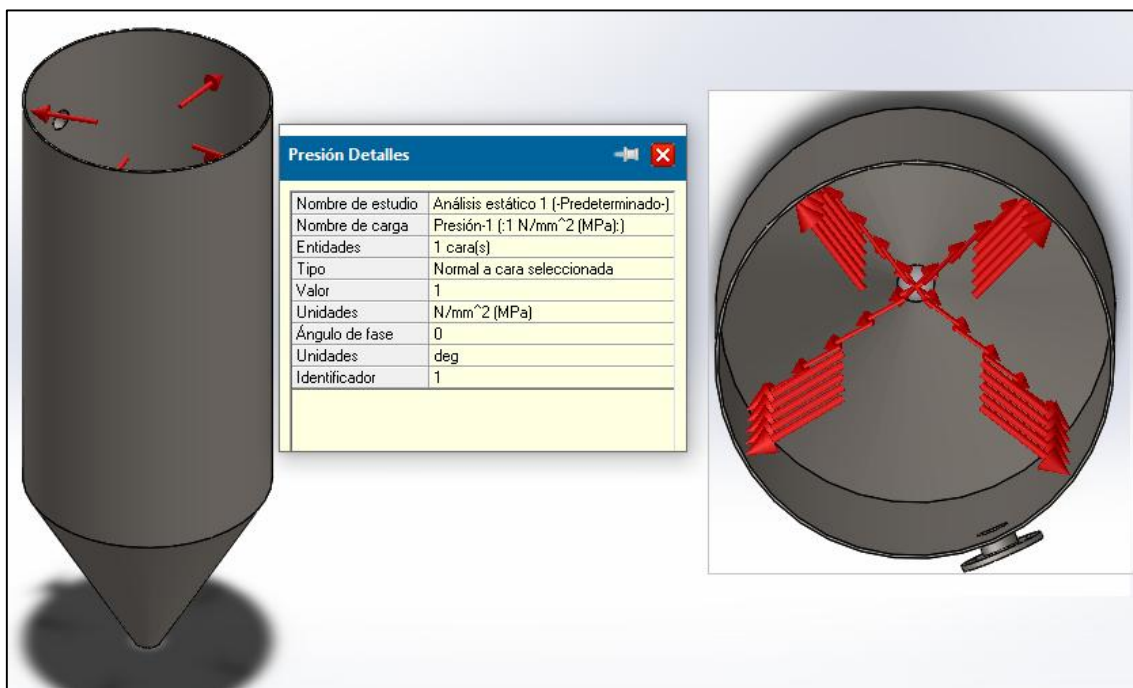
$$F_{\text{aire}} = \left(8 * 10^5 \text{ Pa} + 1649.13 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1.63 \right) * 5.405 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{aire}} = 4466.5 \text{ KN}$$

Para aumentar la calidad del proceso se trabajará con una presión de 8 bares ($8 * 10^5 \text{ Pa}$) para el aire comprimido, pero el tanque debe estar disponible también para trabajar a la presión máxima de servicio del compresor de 10 bares ($10 * 10^5 \text{ Pa}$), por lo consiguiente el análisis se realizará con la presión máxima.

g) Análisis de elementos finitos del tanque de arena por carga estática

Se muestra el tanque de arenado sometido a una carga de presión máxima de 1 MPa, sobre su superficie lateral, dichas fuerzas tienen un comportamiento normal al área lateral del cilindro y afectan directamente al espesor de pared.

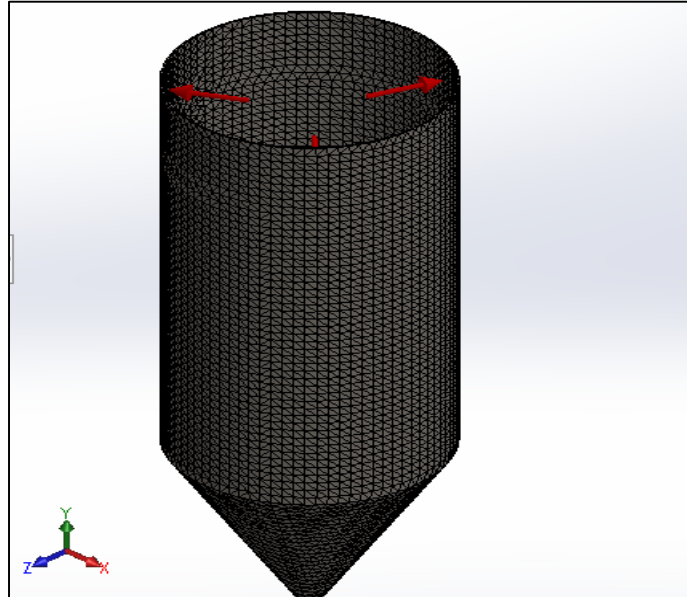


Presión máxima sobre el tanque de arenado

Fuente: Solidworks, 2020.

Se observa el mallado del tanque de arenado, dónde se puede especificar que la malla es un método de análisis de elementos finitos asistido por simulación de un software de diseño, dónde el sólido se secciona en infinitas áreas, y dónde cada diferencial de área es afectado por la presión de 1 MPa, haciendo de esta manera más confiable el análisis por carga estática. Cabe precisar que el análisis

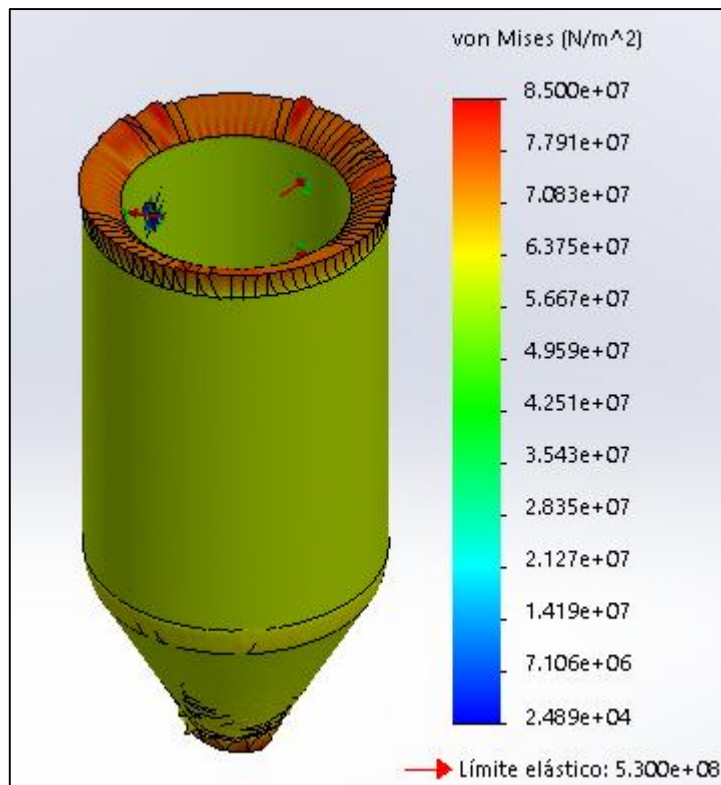
de elementos finitos es confiable mediante un software de diseño, ya que en la actualidad analíticamente existen numerosas ecuaciones pero que difieren en cierta medida a los valores reales.



Malla del tanque de arenado bajo carga estática

Fuente: Solidworks, 2020.

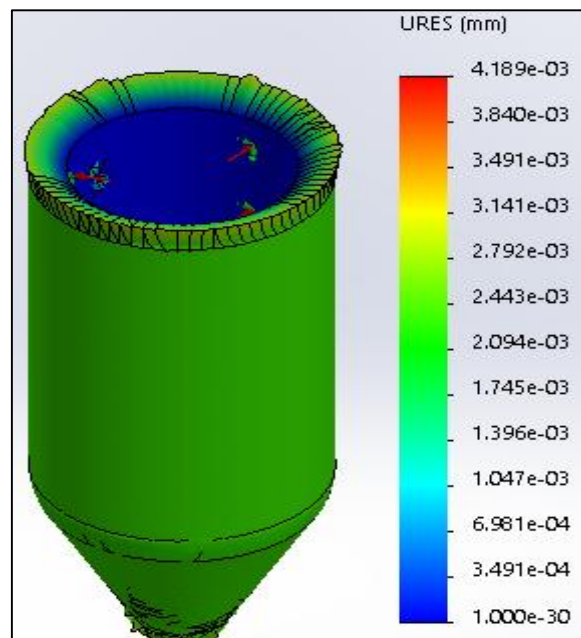
Se observa que el tanque está sometido un esfuerzo máximo de Von Mises de 85 MPa bajo consideraciones estáticas, para lo cual se propuso como material de diseño al AISI 1045, por ser un material resistente con límite elástico de 530 MPa.



Esfuerzo de Von Mises en el tanque de arenado bajo carga estática

Fuente: Solidworks, 2020.

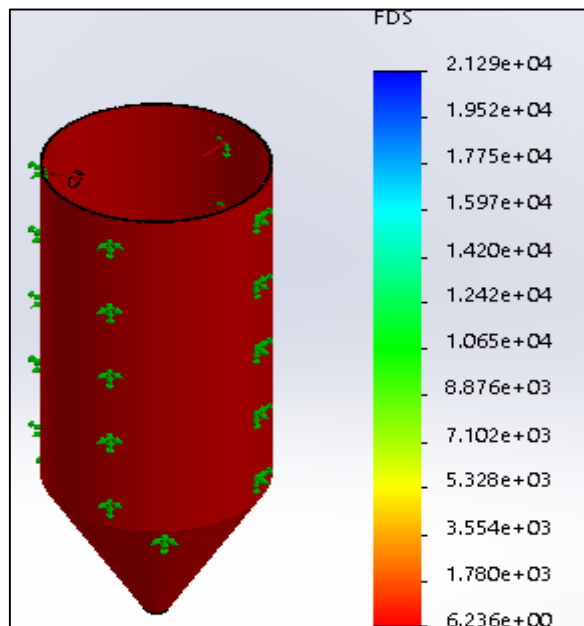
Se muestra la deformación del tanque, obteniendo una deformación máxima de $4.189 \cdot 10^{-3}$ mm (zona roja) la cual es insignificante para el proceso.



Deformación unitaria del tanque de arenado bajo carga estática

Fuente: Solidworks, 2020.

Se observa que el factor de seguridad mínimo es 6.236, lo cual reafirma que la selección del material AISI 1045 y el espesor de ¼ pulg, son correctos.

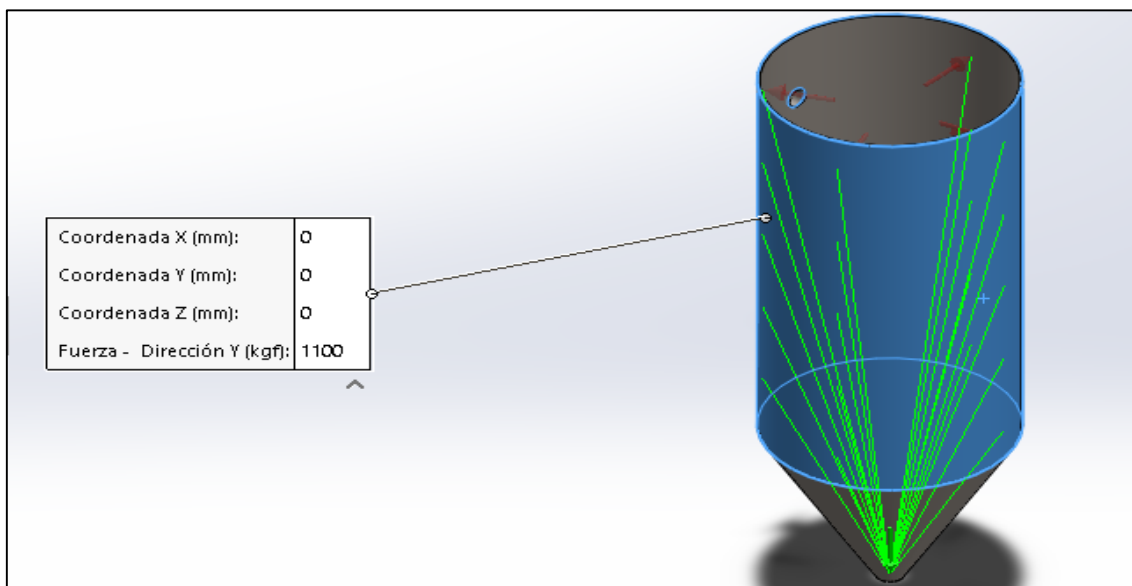


Factor de seguridad bajo carga estática del tanque de arenado

Fuente: Solidworks, 2020.

h) Análisis de elementos finitos del tanque de arena por carga dinámica

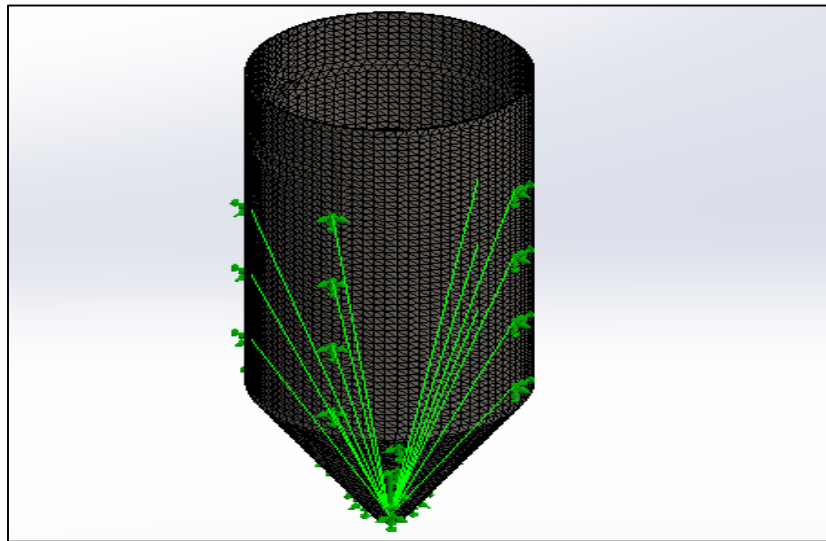
El análisis por carga estática incluyó a la carga por presión, en el área lateral del tanque de arenado, mientras el análisis dinámico o de frecuencia general, incluye adicionalmente el peso del abrasivo de 1100 Kg y la temperatura del aire comprimido siendo esta 70°C como valor máximo.



Peso del abrasivo en el tanque de arenado

Fuente: Solidworks, 2020.

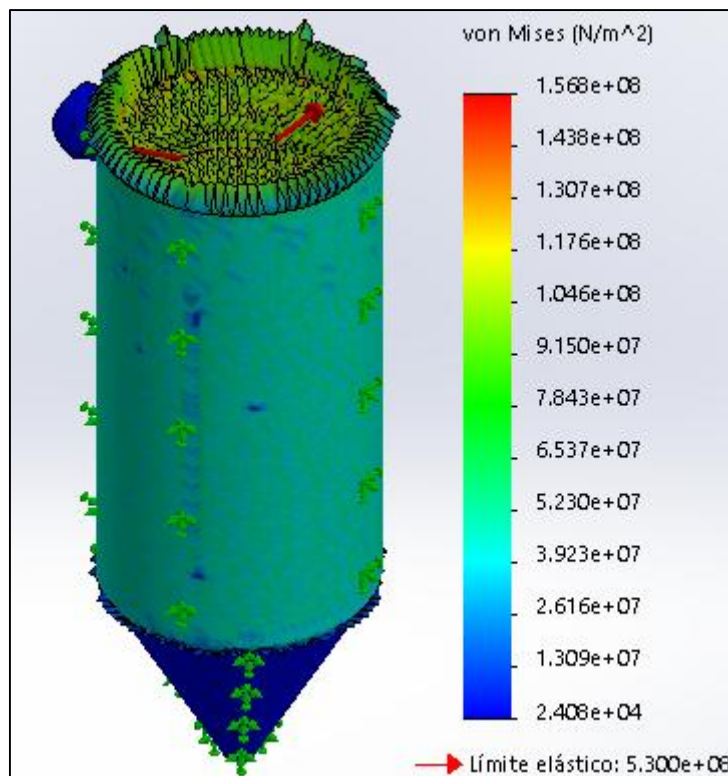
Se muestra la malla por carga dinámica del tanque de arenado, para evaluar el esfuerzo máximo, deformación y factor de seguridad.



Malla del tanque de arenado bajo carga dinámica

Fuente: Solidworks, 2020.

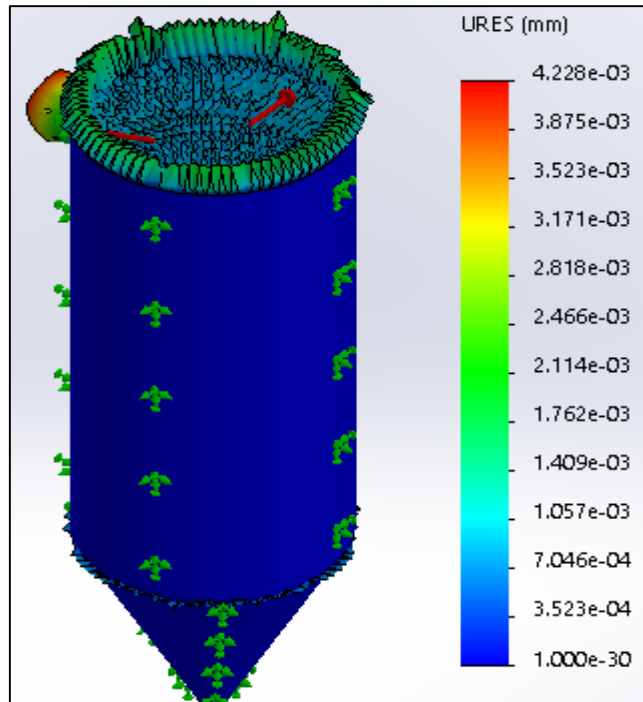
Se observa que el esfuerzo máximo con condiciones de carga dinámica es 156.8 MPa, cual no supera el límite elástico de 530 MPa del material AISI 1045



Esfuerzo máximo del tanque de arenado bajo carga dinámica

Fuente: Solidworks, 2020.

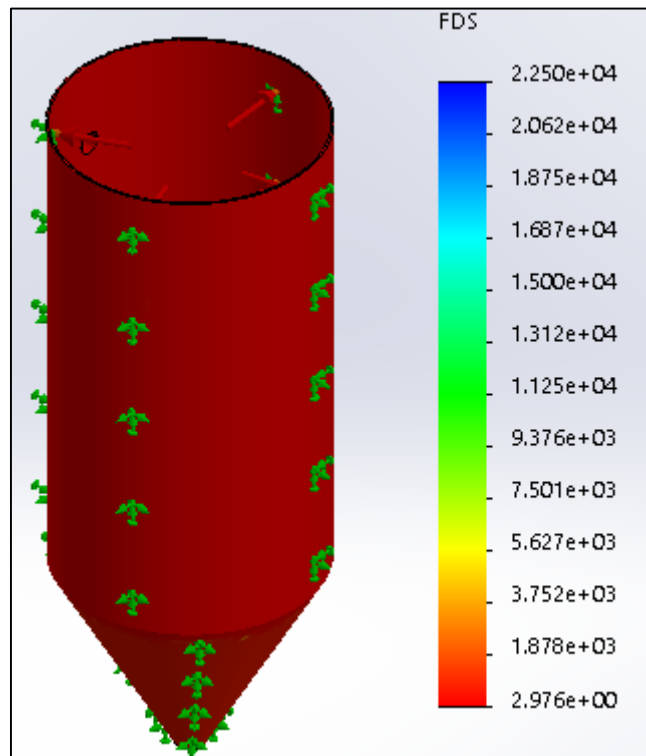
Se muestra la deformación unitaria del tanque de arenado bajo carga dinámica con un valor máximo de $4.228 \cdot 10^{-3}$ mm, el cual representa un valor insignificante para el proceso.



Deformación unitaria del tanque de arenado bajo carga dinámica

Fuente: Solidworks, 2020.

Se detalla que el factor mínimo por carga dinámica es 2.97 lo cual reafirma que el material AISI 1045 y el espesor de $\frac{1}{4}$ pulg son correctos.




Factor de seguridad del tanque de arenado bajo carga dinámica

Fuente: Solidworks, 2020.

Se muestran las propiedades mecánicas y térmicas del acero AISI 1045 laminado en frío, siendo este el material óptimo para el diseño del tanque de arenado.

| Propiedad | Valor | Unidades |
|-----------------------------------|-----------|-------------------|
| Módulo elástico | 2.05e+11 | N/m ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.29 | N/D |
| Módulo cortante | 8e+10 | N/m ² |
| Densidad de masa | 7850 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | 625000000 | N/m ² |
| Límite de compresión | | N/m ² |
| Límite elástico | 530000000 | N/m ² |
| Coefficiente de expansión térmica | 1.15e-05 | /K |
| Conductividad térmica | 49.8 | W/(m·K) |



Propiedades mecánicas del acero AISI 1045 laminado en frío

Fuente: Solidworks, 2020.

ANEXO 13. MANGUERA DE AIRE COMPRIMIDO

Es el conducto por el cual circula el aire comprimido a una presión de servicio de 8 bar y va desde la tubería principal del compresor hasta la válvula de control de mezcla con arena.

a) Velocidad del aire comprimido

$$U_{\text{aire}} = \frac{\dot{V}_{\text{aire}}}{S_{\text{mac}}}$$

Dónde:

\dot{V}_{aire} : Flujo volumétrico de aire comprimido a una presión de 8 bar con un diámetro de manguera de 1 ¼ pulgada, corresponde a un valor de 168 l/s (0.168 m³/s)

S_{mac} : Área transversal de la manguera de aire comprimido, y se calcula:

$$S_{\text{mac}} = \frac{\pi * (d_{\text{mac}})^2}{4}$$

El diámetro de la manguera de aire comprimido es 1 ¼ pulg (0.03175 m)

$$S_{\text{mac}} = \frac{\pi * (0.03175 \text{ m})^2}{4}$$

$$S_{\text{mac}} = 8 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

La velocidad del aire seria:

$$U_{\text{aire}} = \frac{0.168 \text{ m}^3/\text{s}}{8 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$U_{\text{aire}} = 210 \text{ m/s}$$

b) Fuerza del aire producida en las paredes superficiales de la manguera

$$F_{\text{acm}} = P_{\text{aire}} * A_{\text{lmac}}$$

Dónde:

F_{mac} : Fuerza de aire comprimido en la manguera.

P_{aire} : Presión del aire, la manguera debe estar disponible para soportar la capacidad máxima permitida por el compresor de aire de 10 bar, donde la presión de servicio es 8 bar.

A_{lmac} : Es el área lateral de la manguera de aire comprimido y se calcula:

$$A_{\text{lmac}} = \pi * d_{\text{mac}} * L_{\text{mac}}$$

La manguera tiene un diámetro de 1 ¼ pulg (0.03175 m) con una longitud de 10 pies (3.3048 m).

$$A_{\text{lmac}} = \pi * 0.03175 \text{ m} * 3.3048 \text{ m}$$

$$A_{\text{lmac}} = 0.33 \text{ m}^2$$

La fuerza de aire comprimido en la manguera seria:

$$F_{\text{acm}} = P_{\text{aire}} * A_{\text{lmac}}$$

$$F_{\text{acm}} = 10 * 10^5 \text{ Pa} * 0.33 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{acm}} = 330000 \text{ N}$$

$$F_{\text{acm}} = 330 \text{ KN}$$

c) Flujo másico de aire comprimido:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} * \dot{V}_{\text{aire}}$$

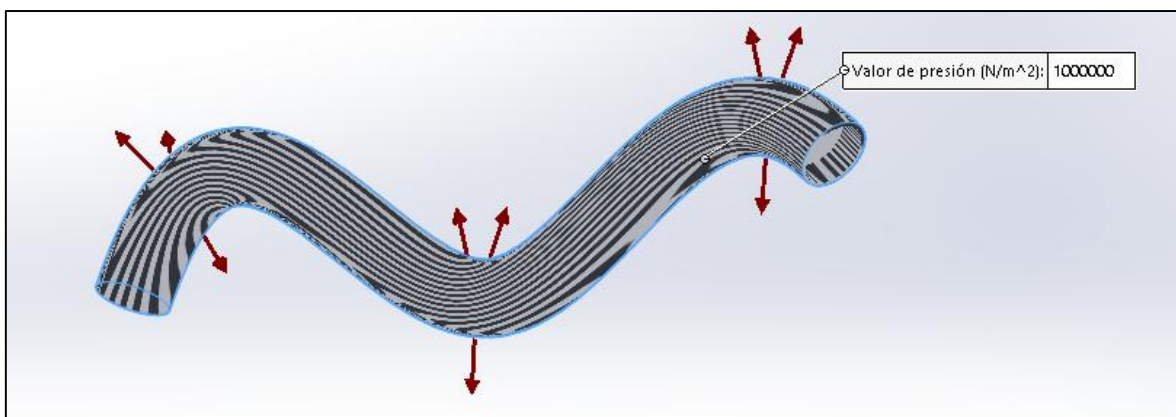
ρ_{aire} : Es la densidad del aire comprimido a una temperatura máxima de operación de 70°C, con un valor de 1.028 Kg/m³.

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 1.028 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.168 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 0.173 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

d) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

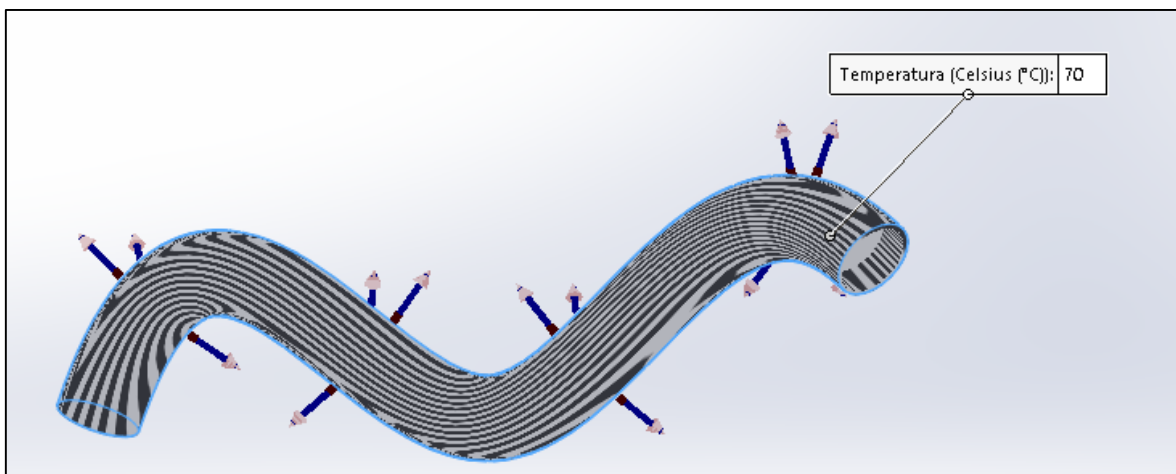
Se muestra la manguera de aire comprimido, la cual es afectada por una presión máxima de 10 bar a lo largo su superficie lateral.



Carga aplicada sobre la manguera de aire comprimido

Fuente: Solidworks, 2020.

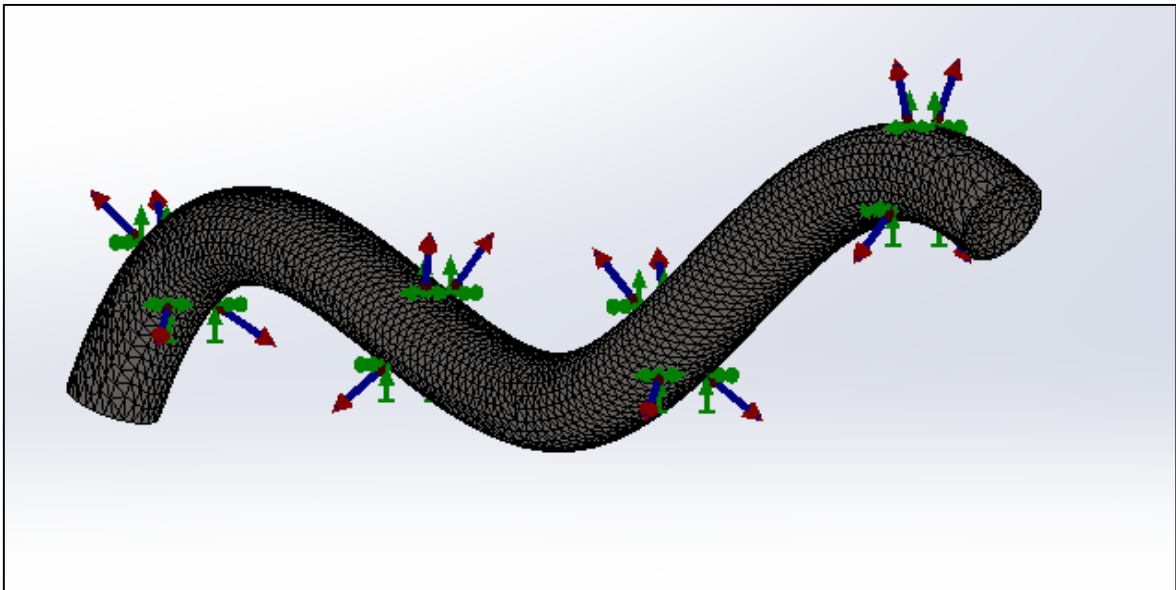
Se muestra la aplicación de la temperatura de 70°C sobre la superficie lateral de la manguera de aire comprimido



Temperatura aplicada sobre la manguera de aire comprimido

Fuente: Solidworks, 2020.

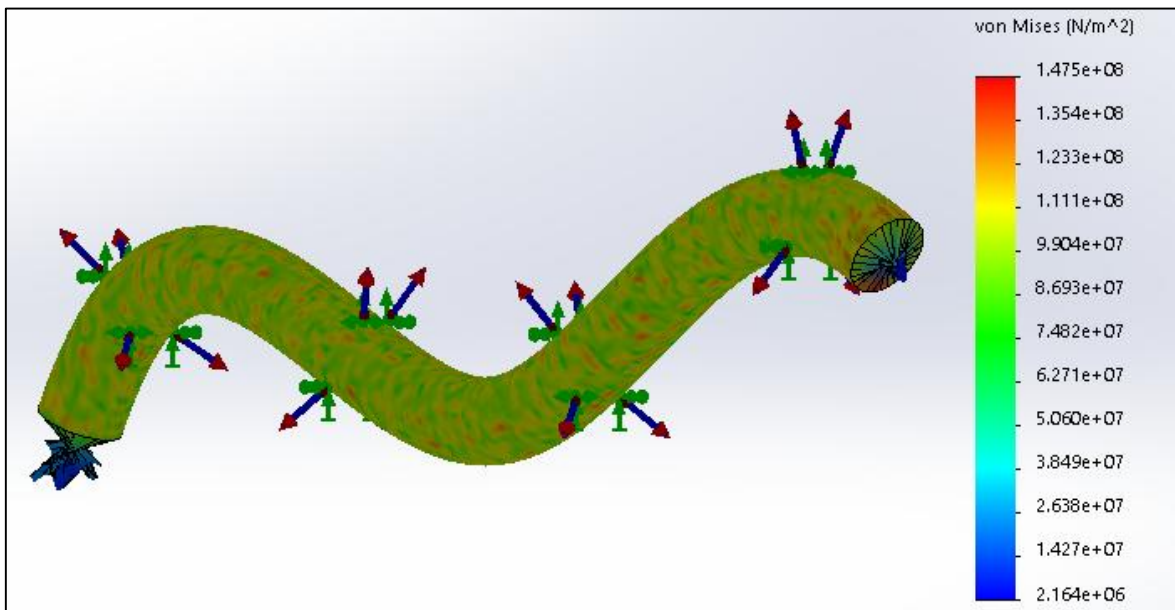
Se genera una malla fina sobre la superficie de la manguera de aire comprimido. La malla se aplicó con el fin de obtener resultados más exactos respecto al factor de seguridad.



Malla aplicada sobre la manguera de aire comprimido

Fuente: Solidworks, 2020.

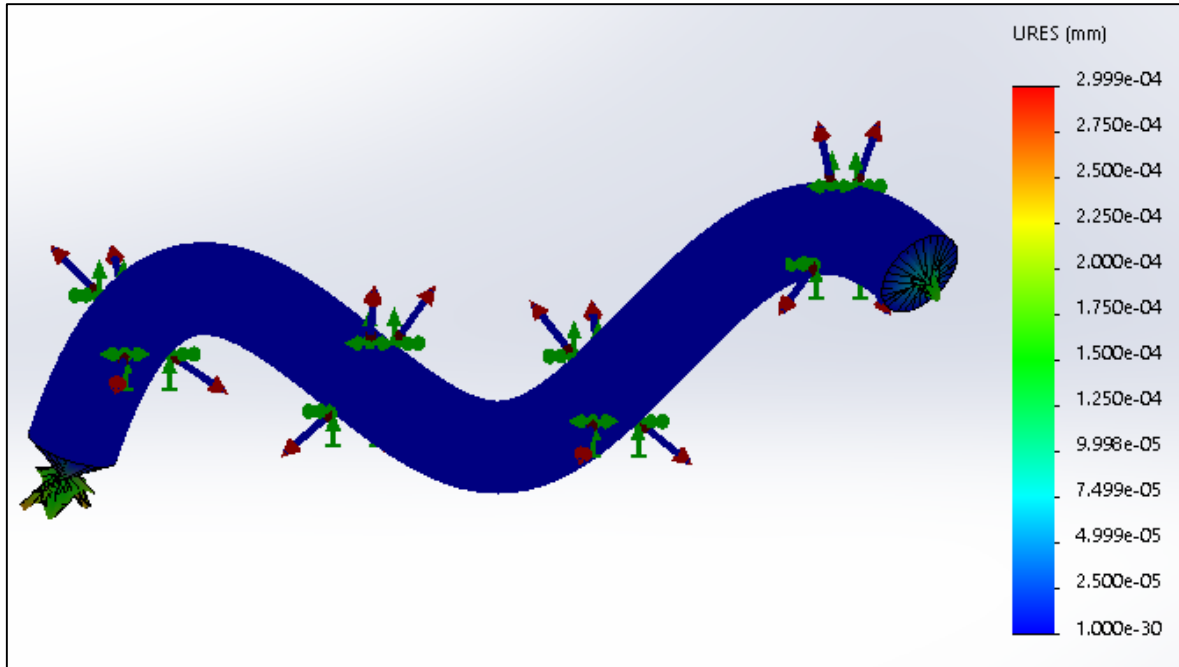
Mediante un proceso de iteración se seleccionó un diámetro interno de 1 ¼ pulg y espesor de ¼ pulg con un material de Poliuretano para la manguera de aire comprimido, obteniendo un esfuerzo máximo de 147.5 MPa.



Esfuerzo máximo sobre la manguera de aire comprimido

Fuente: Solidworks, 2020.

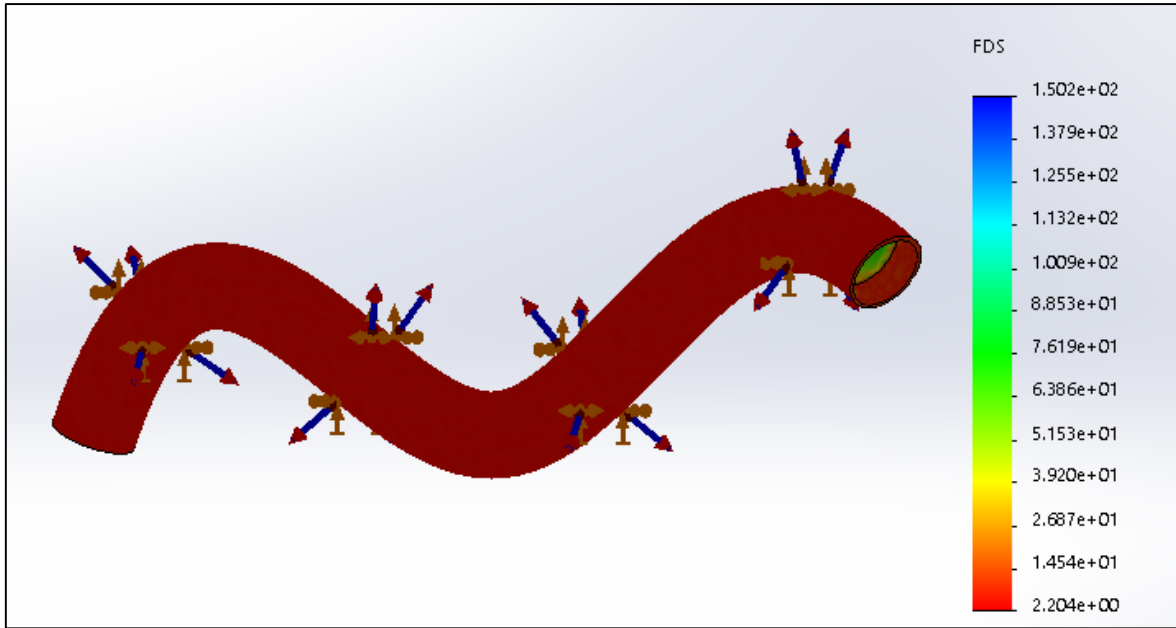
La deformación máxima que sufriría la manguera de poliuretano es $2.999 \cdot 10^{-4}$ mm (zona roja) representando un valor insignificante.



Deformación máxima sobre la manguera de aire comprimido

Fuente: Solidworks, 2020.

La manguera de material de poliuretano con un diámetro interno de $1 \frac{1}{4}$ pulg y espesor de $\frac{1}{4}$ pulg tiene un factor de seguridad mínimo de 2.204, lo cual hace viable su selección.



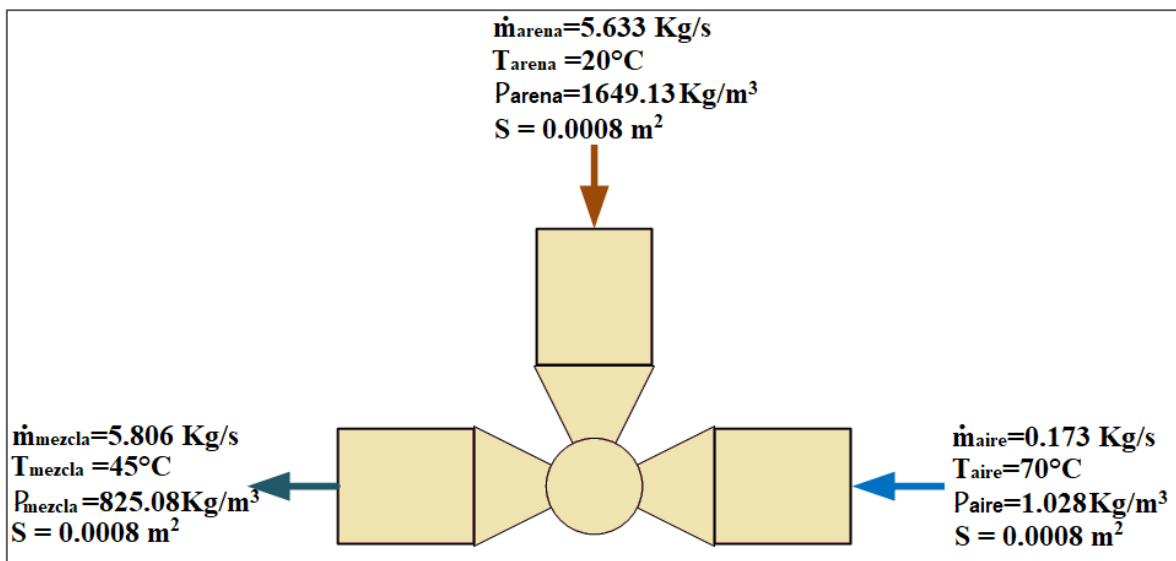
Factor de seguridad de la manguera de aire comprimido

Fuente: Solidworks, 2020.

ANEXO 14. VÁLVULA DE MEZCLA ARENA Y AIRE COMPRIMIDO

La máquina de chorro de arena con aire comprimido cuenta con 5 válvulas similares, pero la válvula que cumple funciones más críticas es la válvula de mezcla arena y aire comprimido, por lo cual se efectuará principalmente su análisis.

Se muestran las condiciones de operación de la válvula de mezcla arena y aire comprimido, donde el aire comprimido se mezcla a con el abrasivo arena para lograr una mezcla uniforme para lograr un acabado superficial de calidad.



Válvula de mezcla arena y aire comprimido

Fuente: Elaborado por los autores

e) Fuerza del aire comprimido sobre la válvula:

$$F_1 = P_{\text{aire}} * S$$

La presión de servicio del aire es 8 bar, pero la válvula debe estar disponible para trabajar a la presión máxima de 10 bar entregada por el compresor.

$$F_1 = 10 * 10^5 \text{ Pa} * 0.0008 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 800 \text{ N}$$

f) Fuerza de la arena sobre la válvula:

La fuerza ejercida de la arena sobre la válvula, es el propio peso de la arena.

$$F_2 = m_{\text{arena}} * g$$

$$F_2 = 1100 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_2 = 10791 \text{ N}$$

g) Fuerza de salida de la mezcla (arena + aire)

Para calcular la fuerza de salida de la mezcla (arena + arena) de la válvula, es necesario calcular primero la velocidad de salida.

$$\dot{m}_{mezcla} = \rho_{mezcla} * U_{mezcla} * S$$

$$U_{mezcla} = \frac{\dot{m}_{mezcla}}{\rho_{mezcla} * S}$$

El flujo másico de la mezcla es 5.806 Kg/s con una densidad de 825.08 Kg/m³, circulando en una área transversal de 0.0008 m². La velocidad de la mezcla sería:

$$U_{mezcla} = \frac{5.806 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{825.08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.0008 \text{ m}^2}$$

$$U_{mezcla} = 8.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La fuerza se calcula mediante la siguiente ecuación:

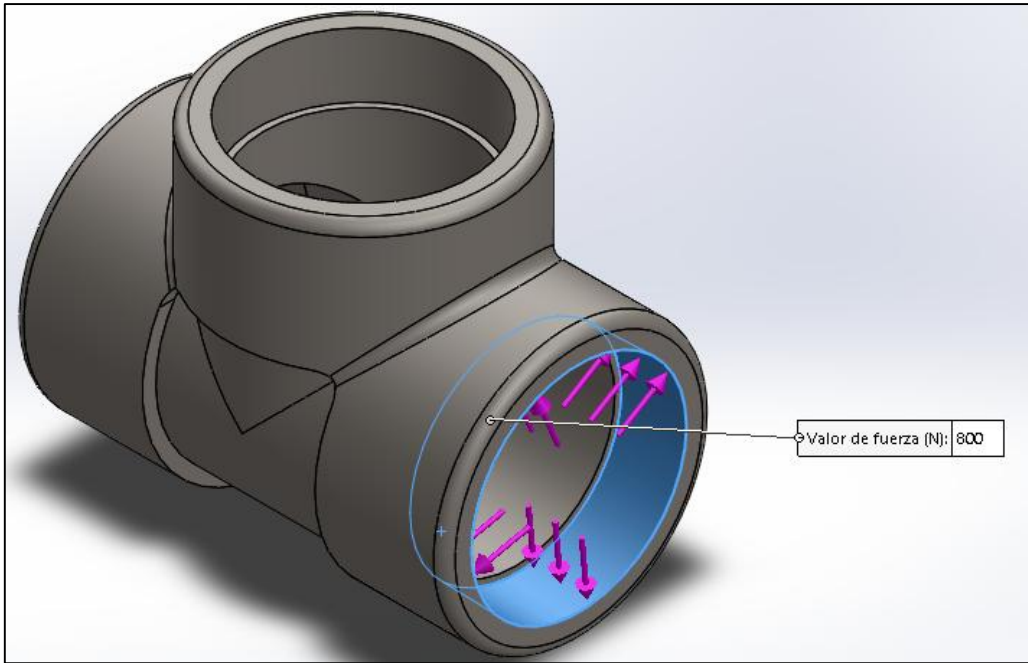
$$F_3 = \frac{\dot{m}_{mezcla} * U_{mezcla}}{2}$$

$$F_3 = \frac{5.806 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 8.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2}$$

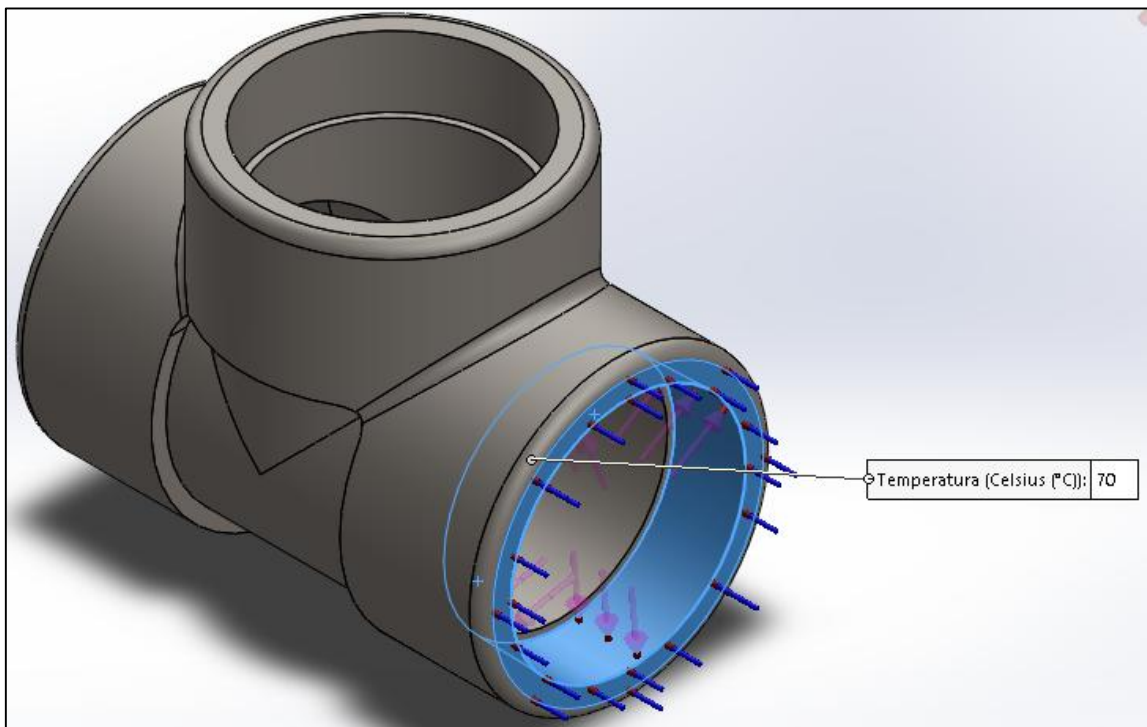
$$F_3 = 51.1 \text{ N}$$

h) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

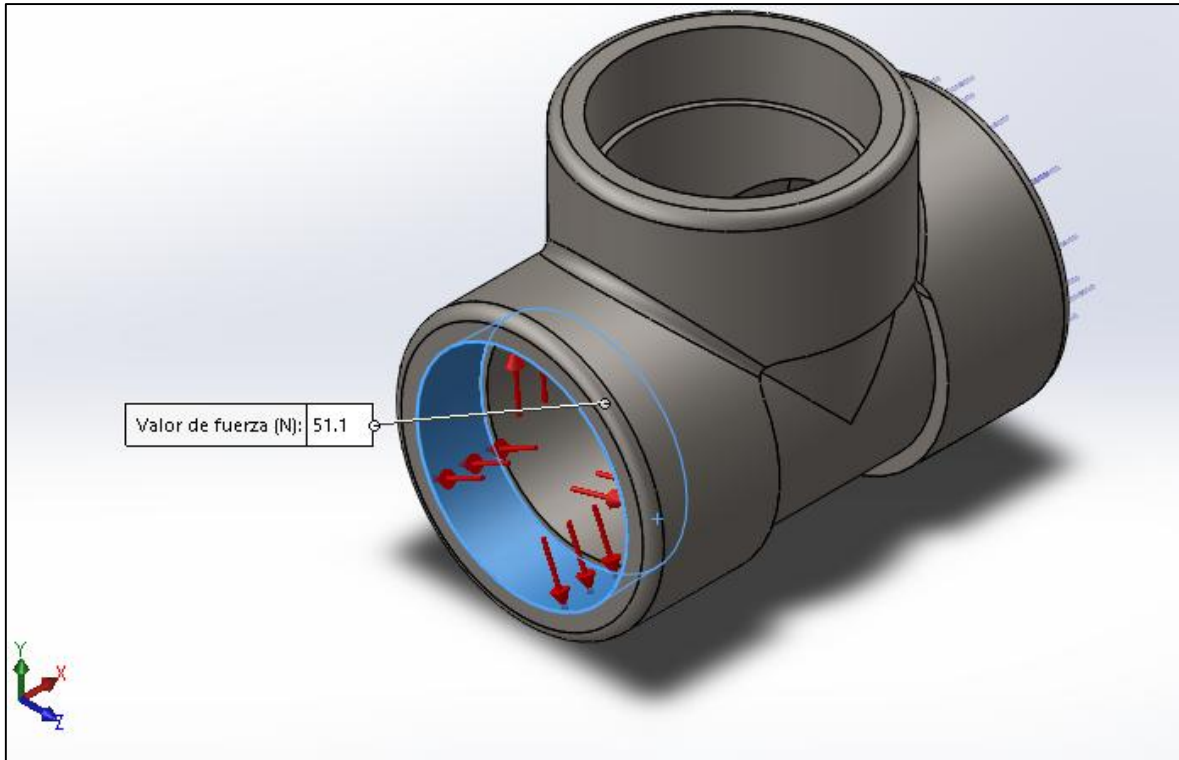
La válvula encargada de la mezcla de aire comprimido tiene cargas aplicadas distintas en cada uno de sus lados. El lado de ingreso horizontal está afectado por el aire comprimido con una fuerza máxima de 800 N y una temperatura de 70°C; el lado de ingreso superior está afectado por el abrasivo arena con una fuerza de 10791 N y una temperatura de 20°C y por el lado de salida de la válvula la mezcla sale con una fuerza de 51.10 N y una temperatura media de 45°C.



Carga aplicada en el ingreso horizontal de la válvula de mezcla.
Fuente: Solidworks, 2020.

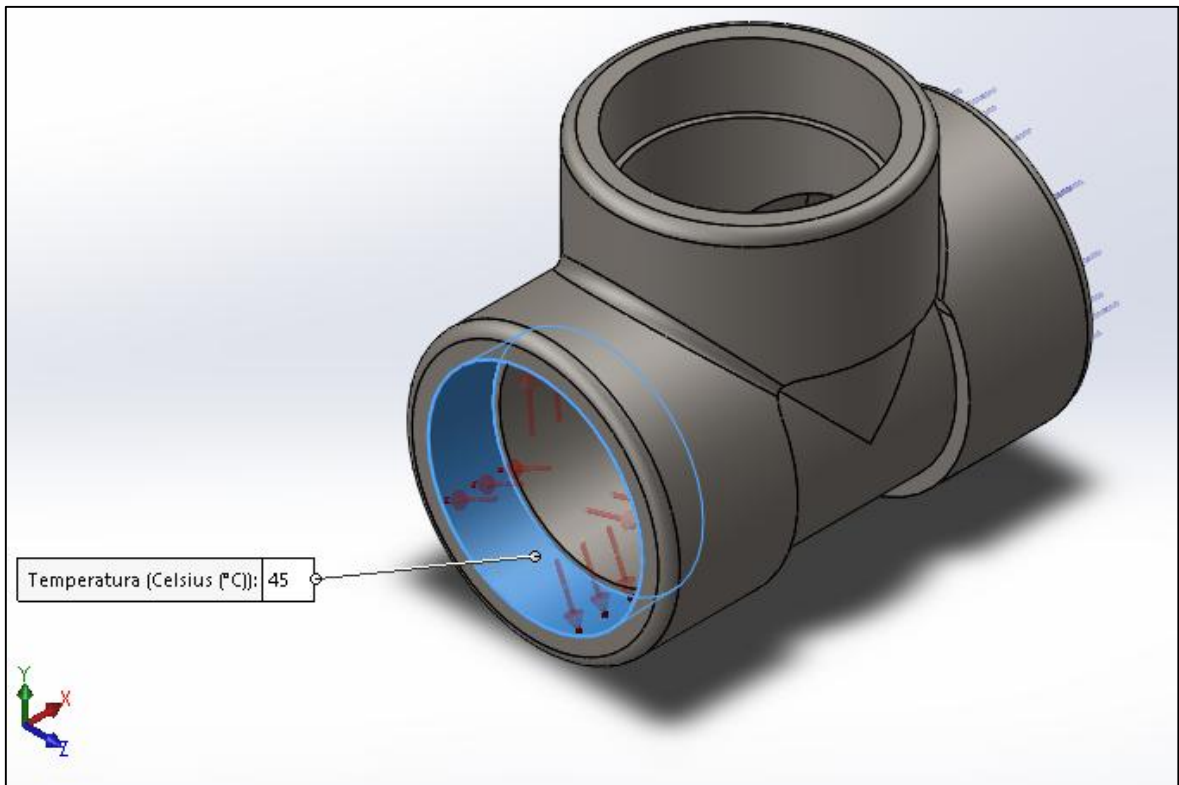


Temperatura aplicada en el ingreso horizontal de la válvula de mezcla.
Fuente: Solidworks, 2020.



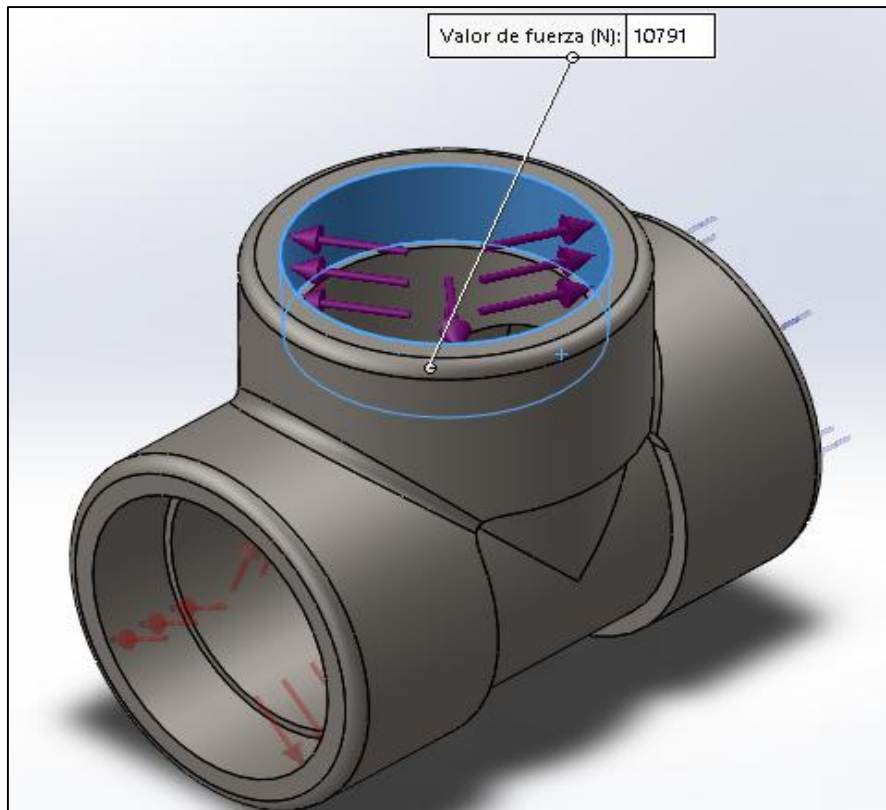
Carga aplicada a la salida de la válvula de mezcla.

Fuente: Solidworks, 2020.

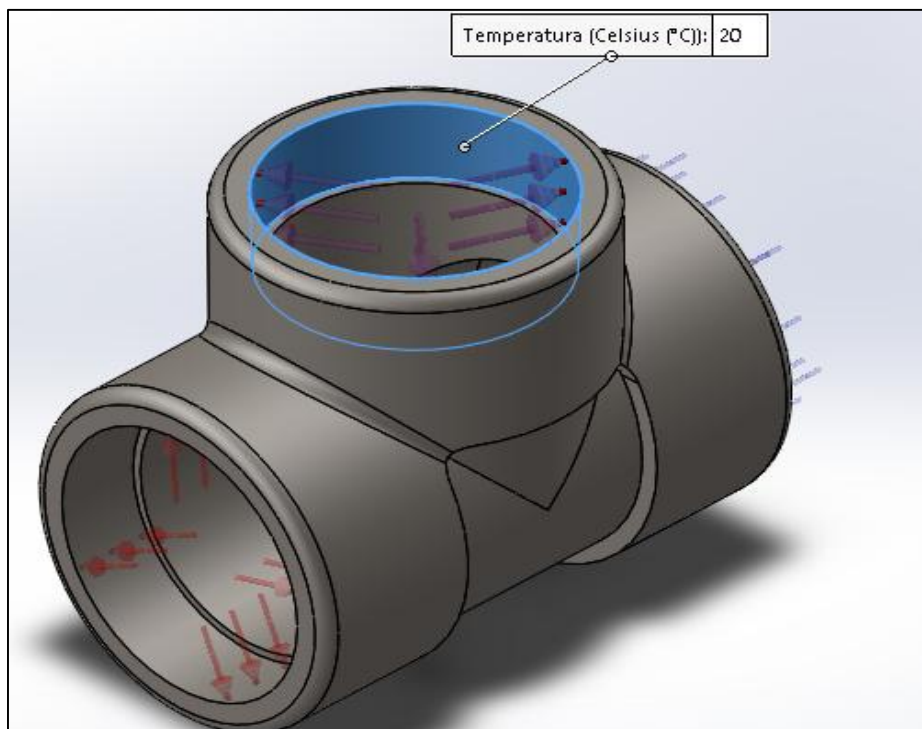


Temperatura aplicada a la salida de la válvula de mezcla.

Fuente: Solidworks, 2020.

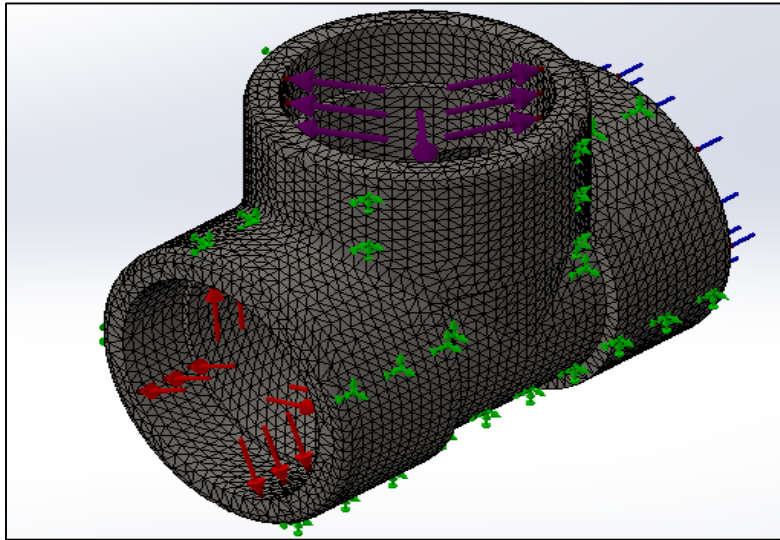


Carga aplicada en la entrada vertical de la válvula de mezcla
Fuente: Solidworks, 2020.



Temperatura aplicada en la entrada vertical de la válvula de mezcla
Fuente: Solidworks, 2020.

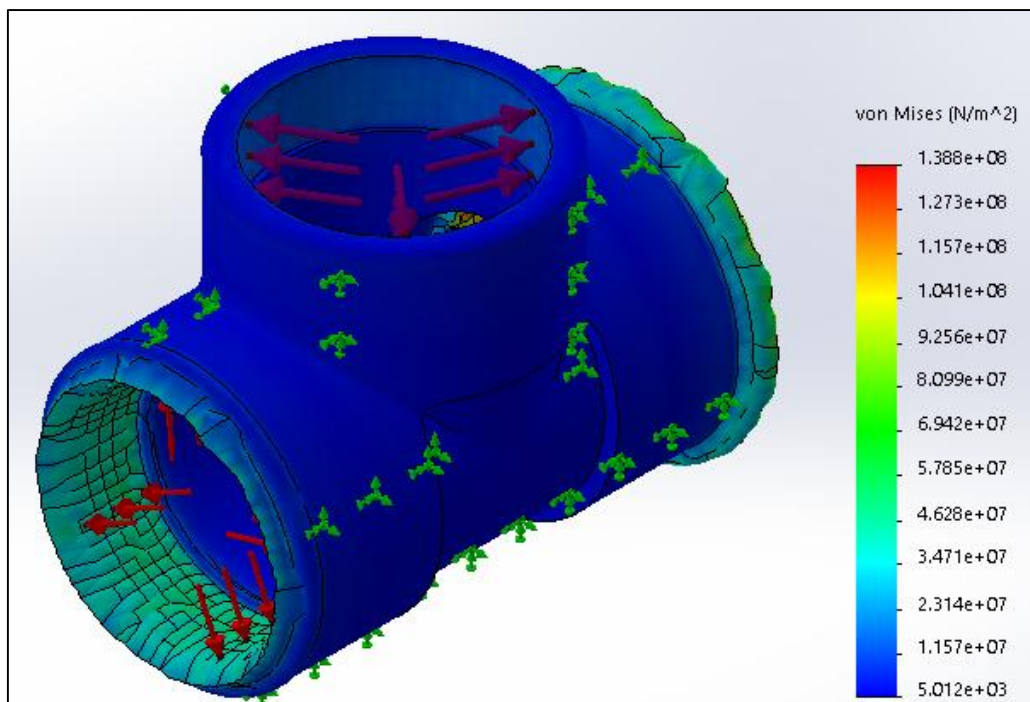
Se observa la aplicación de la malla fina sobre la válvula de mezcla.



Malla fina aplicada sobre la válvula de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020.

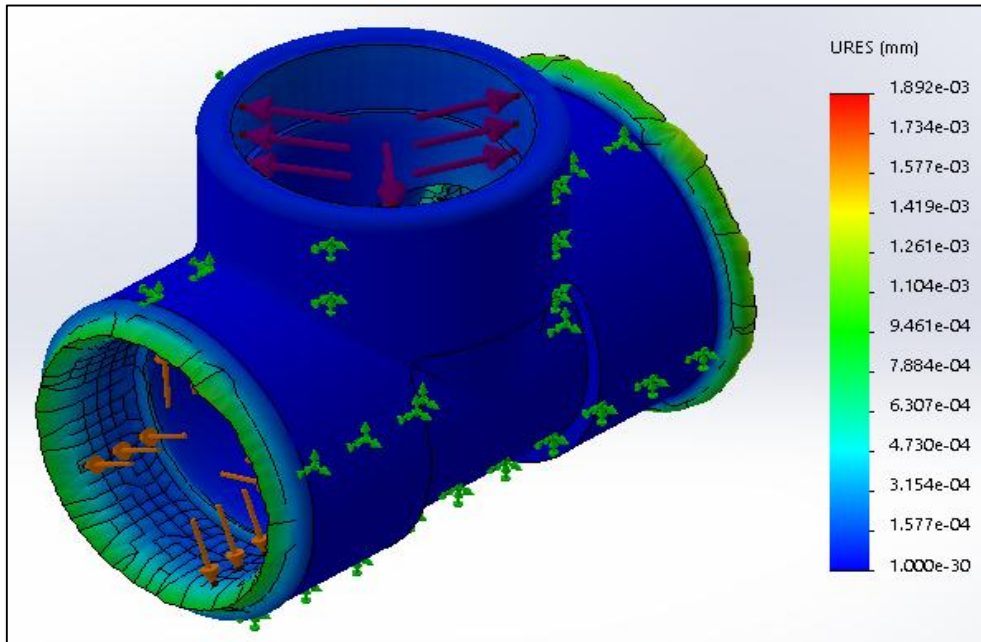
Mediante un proceso iterativo, se seleccionó como material uretano con superficies de ingreso y salida de acero inoxidable AISI 1045 CD, obteniendo un esfuerzo máximo de 138.80 MPa.



Esfuerzo máximo aplicado sobre la válvula de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020.

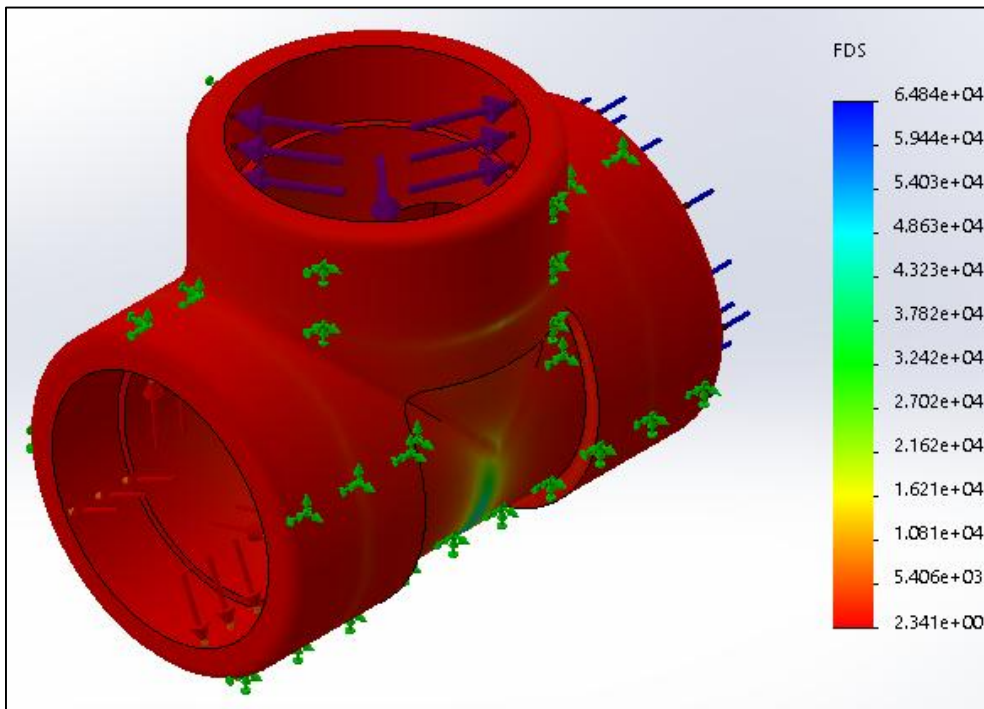
La deformación máxima que sufriría la válvula sería de $1.892 \cdot 10^{-3}$ mm (zona roja) lo cual no generaría problemas en la válvula de la mezcla.



Deformación de la válvula de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020.

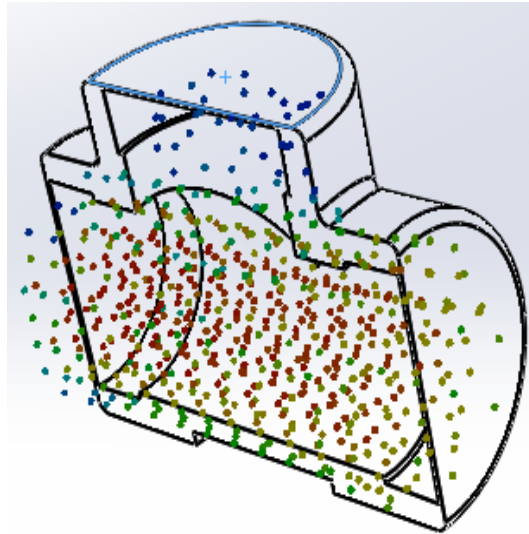
La válvula de uretano con superficies de AISI 1045CD y diámetro de $1 \frac{1}{4}$ pulg y espesor de $\frac{5}{16}$ pulg, tiene un factor de seguridad mínimo de 2.341.



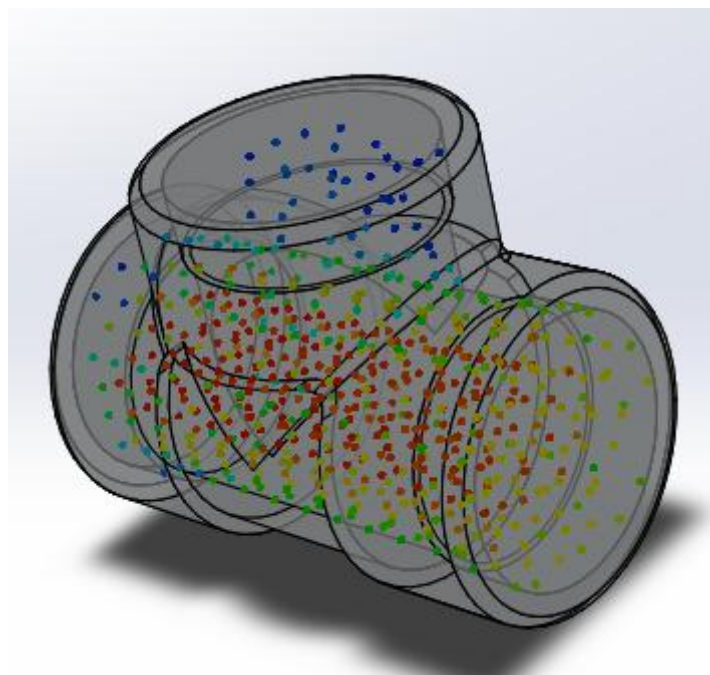
Factor de seguridad de la válvula de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020

En las siguientes figuras se observa la simulación de la mezcla de los fluidos aire comprimido y arena fina, para el proceso de acabado superficial.



Simulación de fluidos de la válvula de mezcla
Fuente: Solidworks, 2020



Simulación de fluidos de la válvula de mezcla
Fuente: Solidworks, 2020

ANEXO 15. MANGUERA DE MESCLA DE AIRE COMPRIMIDO Y ARENA:

Es la manguera de manipulación del operador para realizar el acabo superficial de una estructura metálica, en ella se mezcla el aire comprimido y la arena proveniente de un tanque de almacenamiento.

d) Presión en la manguera de mezcla de aire comprimido y arena

$$P_m = \frac{F_3}{S}$$

Dónde F3 es la fuerza de la mezcla de aire comprimido y arena de 51.1 N.

$$P_m = \frac{51.1 \text{ N}}{0.0008 \text{ m}^2}$$

$$P_m = 63875 \text{ Pa}$$

e) Fuerza sobre las paredes laterales de la manguera de mezcla

$$F_m = P_m * A_{mm}$$

Dónde:

F_m : Fuerza de la mezcla sobre las paredes laterales

P_m : Presión de la mezcla, con un valor de 63875 Pa

A_{mm} : Área de la manguera de mezcla y se calcula:

$$A_{mm} = \pi * d_{mm} * L_{mm}$$

La manguera de mezcla tiene un diámetro de 1 ¼ pulg (0.03175 m) con una longitud de 25 pies (7.62 m).

$$A_{mm} = \pi * 0.03175 \text{ m} * 7.62 \text{ m}$$

$$A_{mm} = 0.76 \text{ m}^2$$

La fuerza de aire comprimido en la manguera de mezcla seria:

$$F_m = P_m * A_{mm}$$

$$F_m = 63875 \text{ Pa} * 0.76 \text{ m}^2$$

$$F_m = 48545 \text{ N}$$

$$F_m = 48.545 \text{ KN}$$

f) Pérdidas de presión en la manguera

Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho_m * V_m * d_{mm}}{\mu_m}$$

Dónde la densidad de la mezcla es 825.08 Kg/m³ con una viscosidad de 2.052*10⁻⁵ Pa.s, el cual circula a una velocidad media de 8.8 m/s en un diámetro de manguera de 1 ¼ pulg (0.03175 m).

$$Re = \frac{825.08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 8.8 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.03175 \text{ m}}{2.052 * 10^{-5} \text{ Pa.s}}$$

$$Re = 112.34 * 10^5$$

Factor de fricción: Por la ecuación de Colebrook. Donde la rugosidad de la manguera de poliuretano, tiene una rugosidad absoluta de 0.0015 mm.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7 * d_{int}} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{0.0015 \text{ mm}}{3.7 * 31.75 \text{ mm}} + \frac{2.51}{112.34 * 10^5 * \sqrt{f}} \right)$$

Resolviendo:

$$f = 0.010$$

De la ecuación de Darcy – Weisbach, las perdidas mayores son:

Donde la longitud de la manguera es 25 pies (7.62 m).

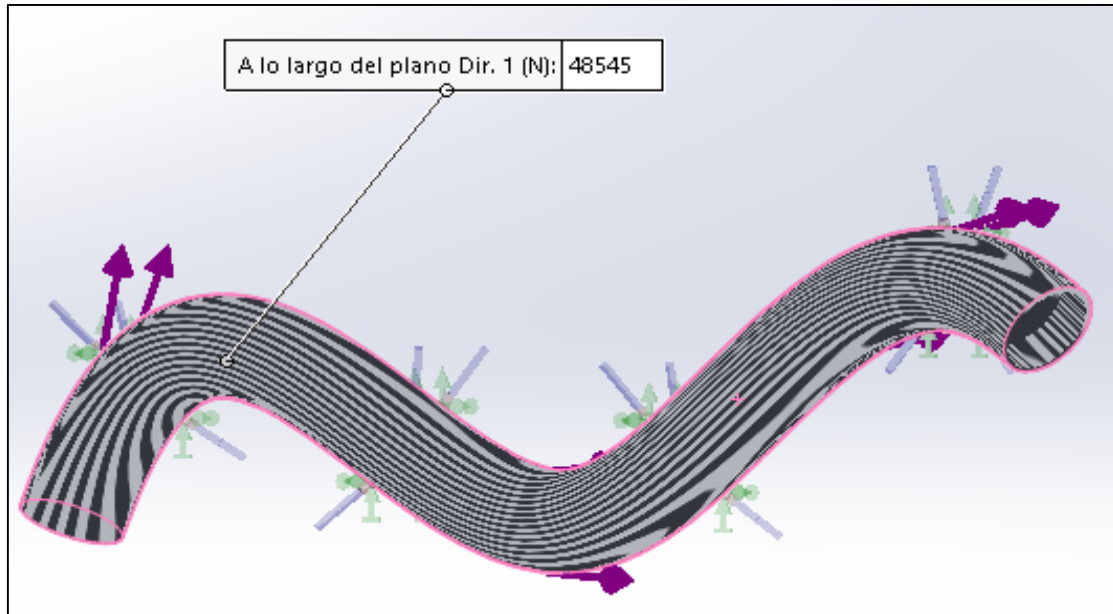
$$hp_M = f * \frac{L}{d_{mm}} * \frac{V_m^2}{2g}$$

$$hp_M = 0.010 * \frac{7.62 \text{ m}}{0.03175 \text{ m}} * \frac{\left(8.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}$$

$$hp_M = 9.47 \text{ m}$$

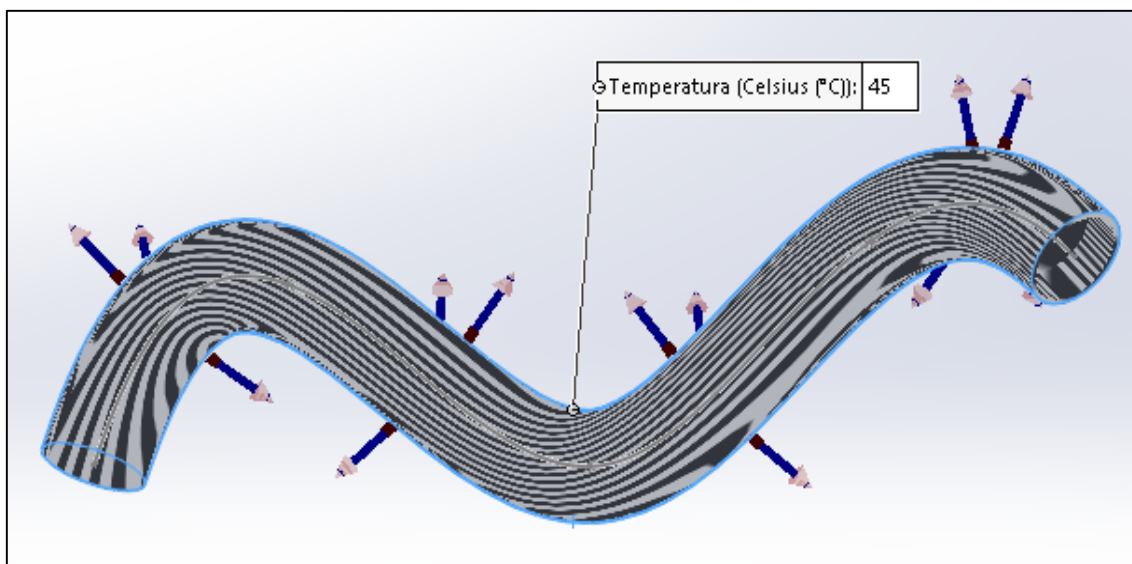
g) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

La manguera de mezcla de aire comprimido y arena, es afectada por una fuerza cortante 48.545 KN y una temperatura media de 45°C en el trayecto de su superficie lateral.



Carga aplicada sobre la manguera de mezcla

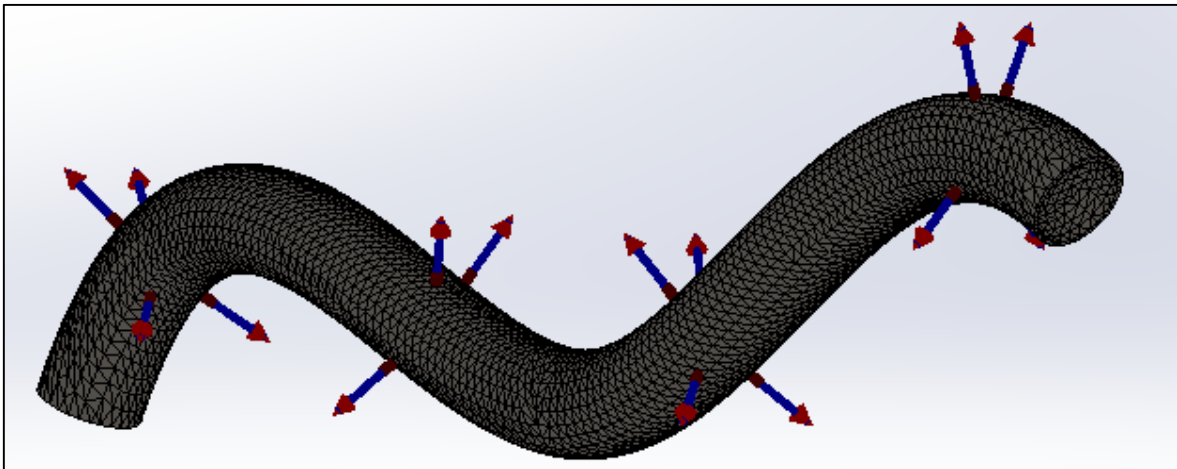
Fuente: Solidworks, 2020



Temperatura aplicada sobre la manguera de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020

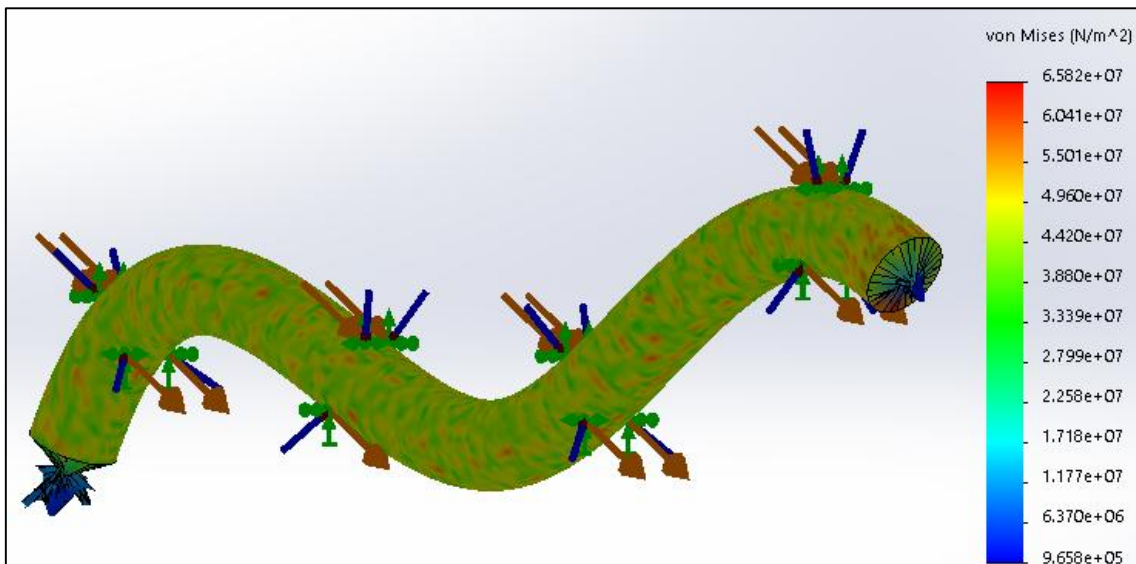
Se muestra la aplicación de la malla fina sobre la superficie lateral de la manguera de mezcla. La malla es el proceso del análisis de métodos finitos y secciona el área total en miles de áreas para la obtención de mejores resultados.



Malla aplicada sobre la manguera de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020

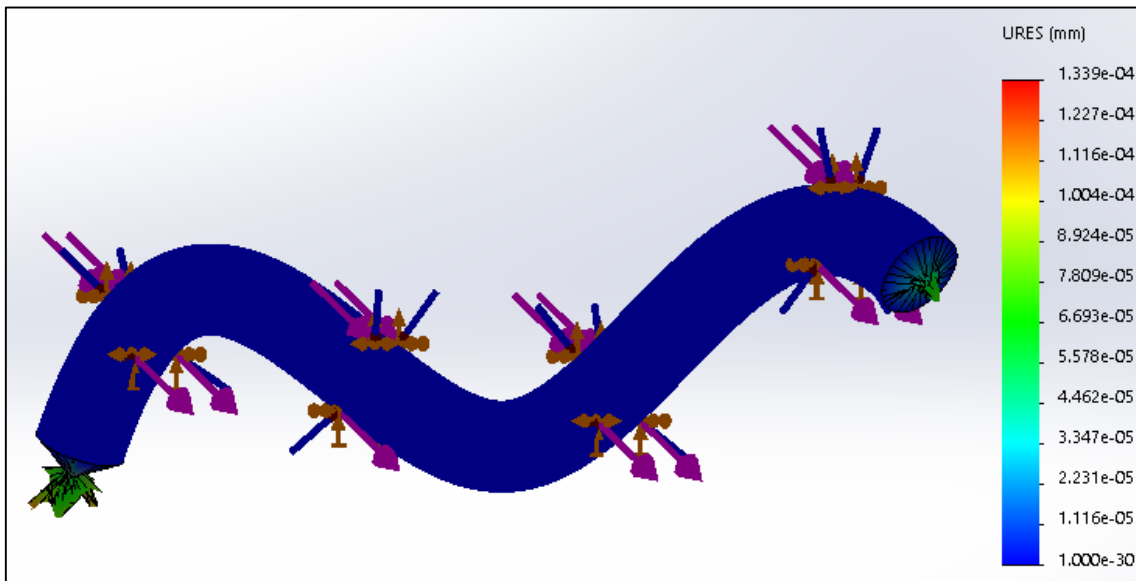
Para la selección del material y dimensiones de la manguera se utilizó un proceso iterativo en Solidworks, utilizando como material poliuretano con un diámetro interno de 1 ¼ pulg y espesor de ¼ pulg, obteniendo un esfuerzo máximo de 65.82 MPa.



Esfuerzo máximo aplicado sobre la manguera de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020

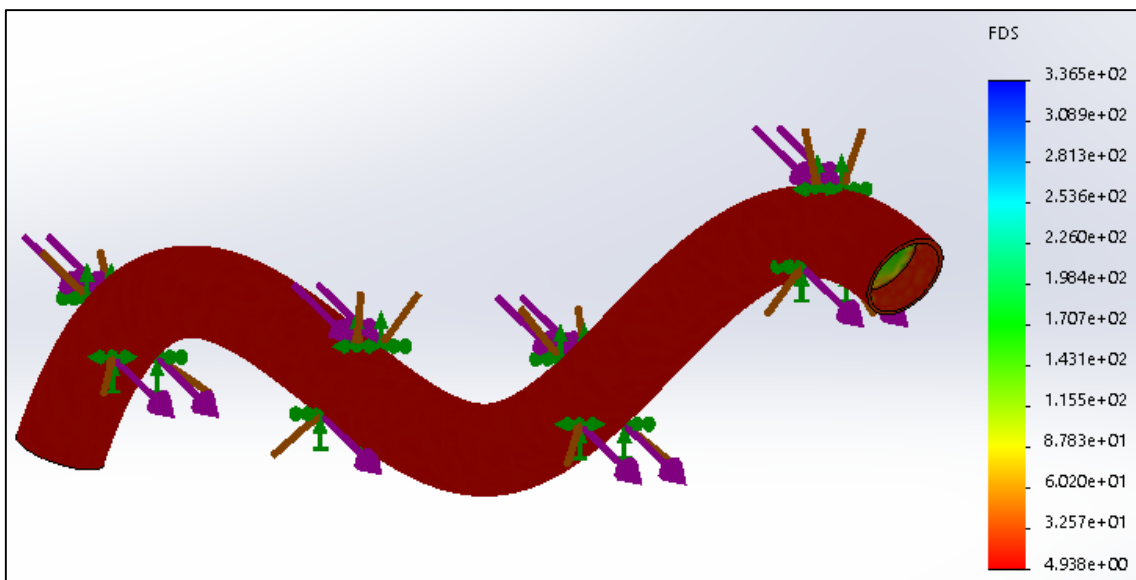
La manguera de mezcla sufrirá una deformación máxima de $1.339 \cdot 10^{-4}$ mm (zona roja), valor que no repercute en la operación de este elemento.



Deformación de la manguera de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020

El material poliuretano con un diámetro interno de 1 ¼ pulg y espesor de ¼ pulg seleccionado para la manguera de mezcla, tiene un factor de seguridad mínimo de 4.938.



Factor de seguridad de la manguera de mezcla

Fuente: Solidworks, 2020

ANEXO 16. TOBERA

La tobera permite regular la velocidad y fuerza de salida de la mezcla (arena + aire comprimido). Los ensayos de pruebas determinaron que con una presión de aire de 8 bar, diámetro de manguera de 1 ¼ pulg y un diámetro mínimo en la boquilla de tobera de 5/16 pulg (7.9375 mm), se logra una óptima calidad, dónde se necesitan de 1 a 2 pasadas para remover por completo revestimientos duros.

a) Velocidad de la mezcla en salida de la tobera:

$$U_{mst} = \frac{\dot{m}_{mezcla}}{\rho_{mezcla} * S_b}$$

Dónde:

U_{mst} : Velocidad de la mezcla en salida de la tobera

\dot{m}_{mezcla} : Mezcla de arena y aire, con un valor de 5.806 Kg/s

ρ_{mezcla} : Densidad de la mezcla, con un valor de 825.08 Kg/m³

S_b : Superficie transversal de la boquilla de la tobera

$$S_b = \frac{\pi * d_b^2}{4}$$
$$S_b = \frac{\pi * (0.0079375 \text{ m})^2}{4}$$
$$S_b = 5 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

La velocidad a la salida de la tobera sería:

$$U_{mst} = \frac{5.806 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{825.08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 5 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$
$$U_{mst} = 140.74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Presión a la salida de la tobera:

Para determinar la presión de salida de la tobera, aplicaremos la ecuación simplificada de la energía de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho_m * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho_m * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2$$

Dónde:

P_1 : Es la presión de la mezcla aire y arena, $P_1 = 0.64$ bar

ρ_{mezcla} : Densidad de la mezcla, $\rho_{mezcla} = 825.08$ Kg/m³

V_1 : Velocidad de la mezcla aire y arena, $V_1 = 8.8$ m/s

Z_1, Z_2 : Altura geodésica, $Z_1 = Z_2 = 0$ m

V_2 : Velocidad de salida de la mezcla de aire y arena, $V_2 = 140.74$ $\frac{m}{s}$

Reemplazando:

$$\frac{0.64 * 10^5 \text{ Pa}}{825.08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{(8.8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0 = \frac{P_2}{825.08 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{(140.74 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0$$

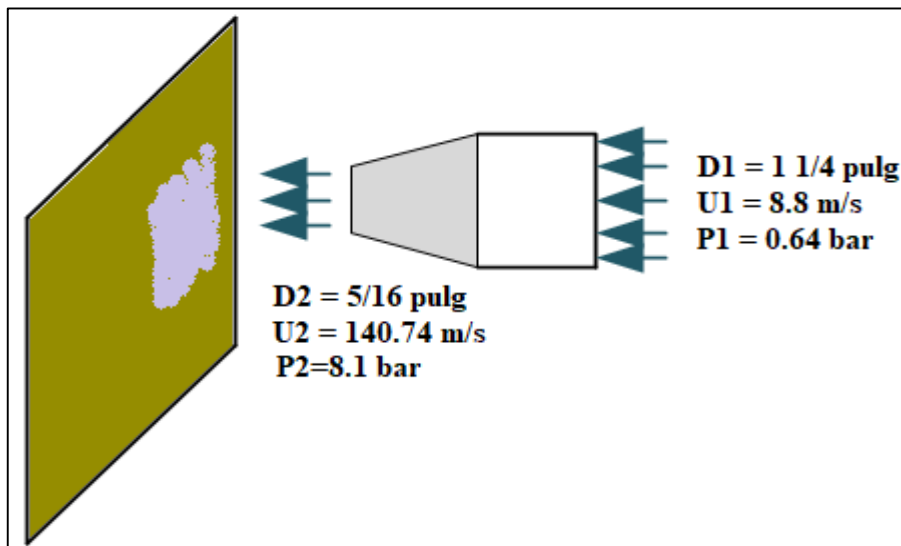
$$P_2 = 8.1 \text{ bar}$$

La fuerza a la salida de la tobera seria:

$$F_2 = P_2 * S_b$$

$$F_2 = 8.1 * 10^5 \text{ Pa} * 5 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$F_2 = 40.50 \text{ N}$$

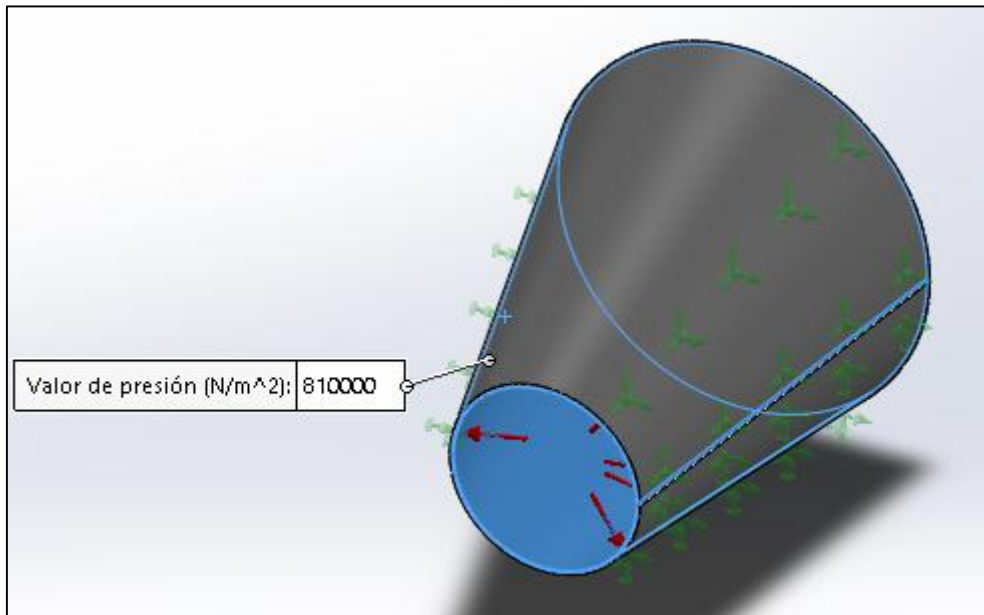


Parámetros de funcionamiento de la tobera

Fuente: Elaborado por los autores

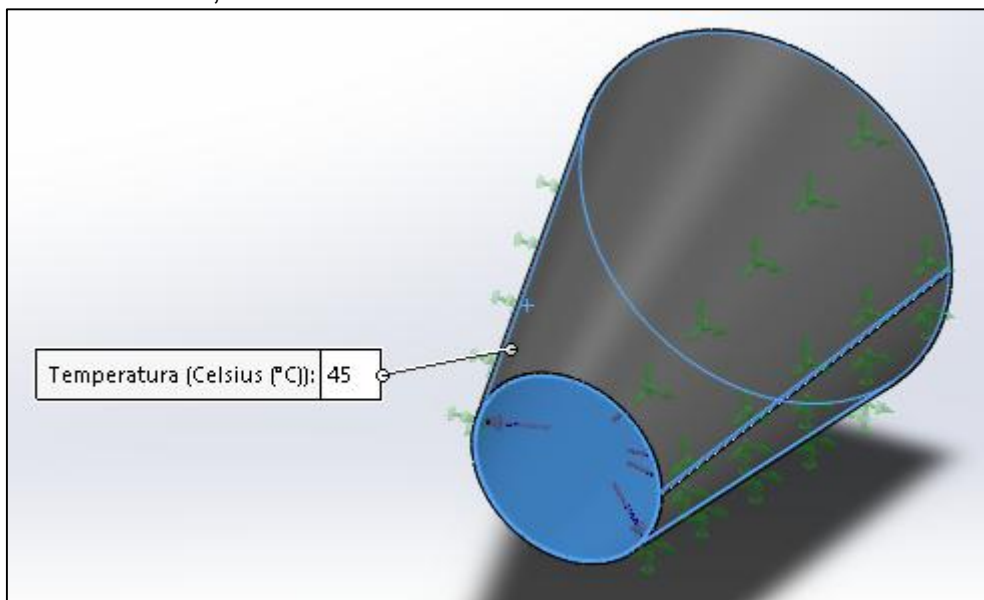
c) Análisis de elementos finitos por cargas combinadas

La tobera está afectada por las condiciones de entrada y salida, permitiendo elevar la velocidad de 8.8 m/s a 140.74 m/s requeridos en el proceso de acabado superficial. Asimismo al existir una variación de áreas existe un incremento significativo de la presión de 0.64 bar a 8.10 bar para originar una fuerza de 40.50 N a una temperatura máxima de 45°C.



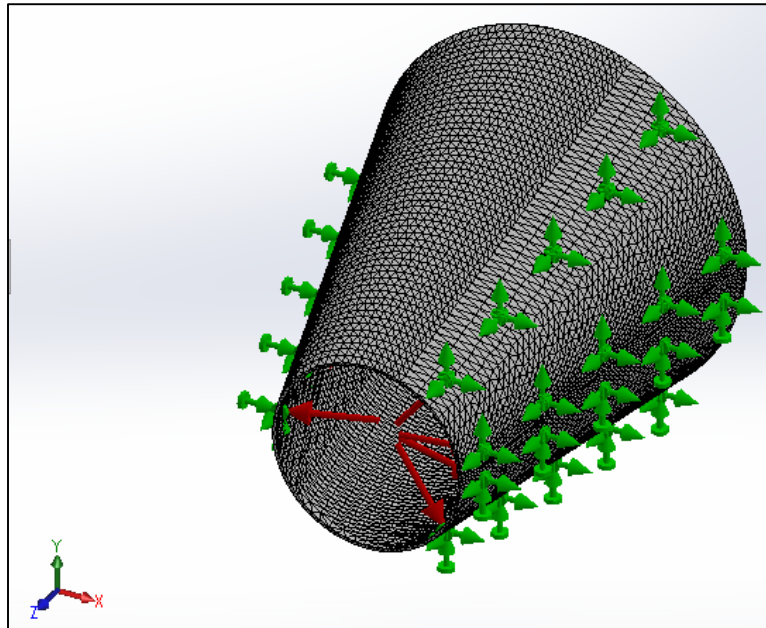
Presión máxima aplicada sobre una sección de la tobera

Fuente: Solidworks, 2020



Temperatura aplicada sobre una sección de la tobera

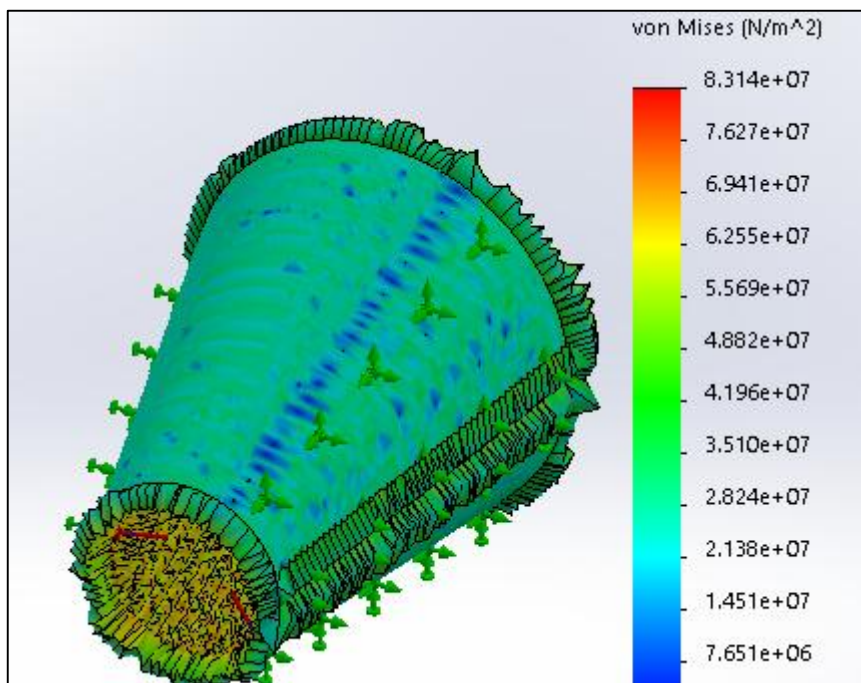
Fuente: Solidworks, 2020



Malla aplicada sobre una sección de la tobera

Fuente: Solidworks, 2020

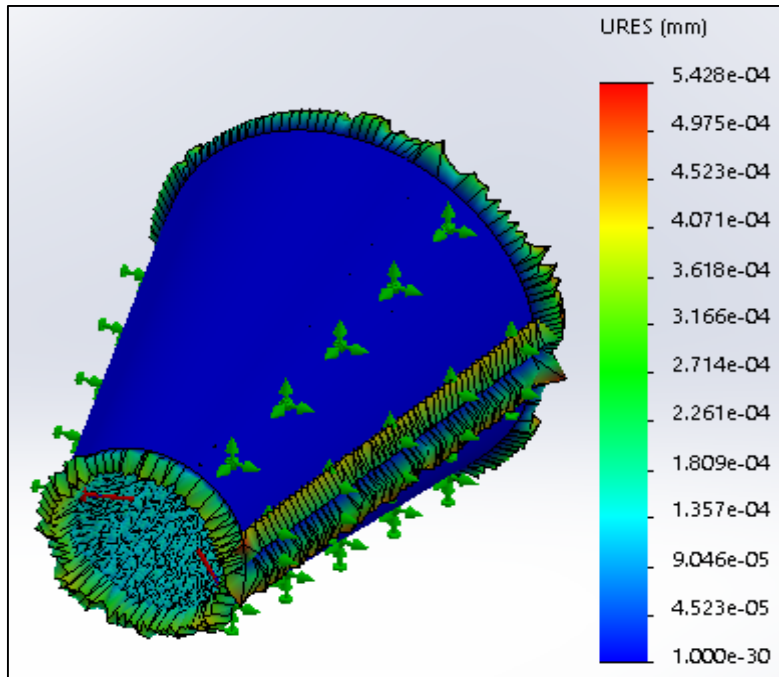
La tobera de material poliuretano con un diámetro de ingreso de 1 ¼ pulg y diámetro de salida de 5/16 pulg y espesor de 1/8 pulg, sufre un esfuerzo máximo de 83.14 MPa.



Esfuerzo máximo sobre una sección de la tobera

Fuente: Solidworks, 2020

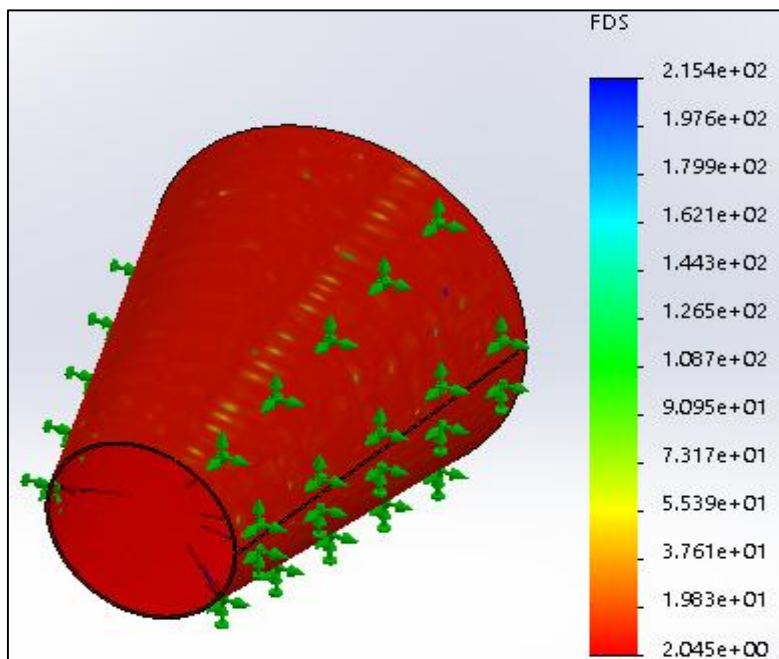
Las cargas aplicadas sobre la tobera originan una deformación máxima de $5.428 \cdot 10^{-4}$ mm, lo cual no afecta su funcionamiento.



Deformación máxima sobre una sección de la tobera

Fuente: Solidworks, 2020

Con las parámetros considerados respecto a un diámetro de ingreso de 1 ¼ pulg y diámetro de salida de 5/16 pulg y espesor de 1/8 pulg, la tobera tiene un factor de seguridad mínimo de 2.043.

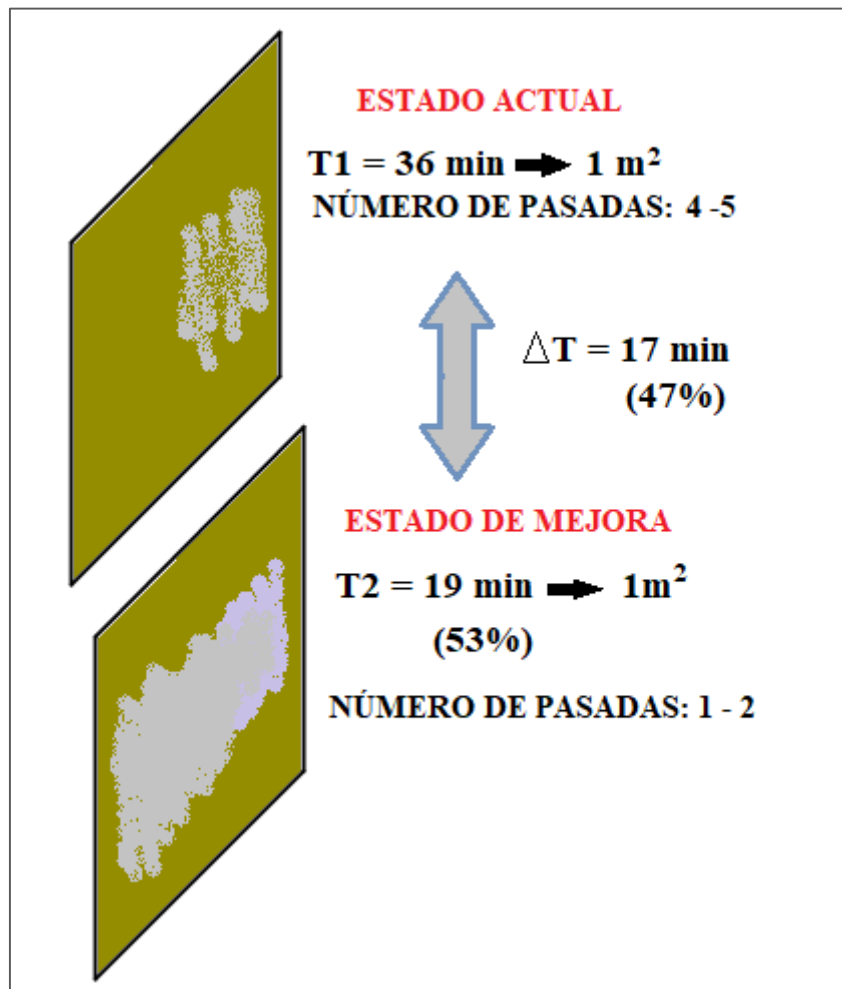


Factor de seguridad de la tobera

Fuente: Solidworks, 2020

ANEXO 17. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACABADO SUPERFICIAL

En la figura 46, se observa que actualmente la empresa con la máquina de arenado con la que cuenta tarda en promedio 36 minutos para remover 1 m² de recubrimiento necesitando entre 4 a 5 pasadas, pero con la propuesta planteada el tiempo se reduce a 19 minutos empleando entre 1 a 2 pasadas, con un ahorro en tiempo de trabajo de 17 minutos, es decir la calidad incrementa en 47%.



Calidad del proceso de arenado.

Fuente: Elaborado por los autores

En la siguiente tabla se muestran los ensayos realizados en una estructura metálica sobre un área de 1 m².

Ensayos de calidad de acabado superficial en un área de 1 m².

| ENSAYOS | Presión 6.3 bar | | Presión 8 bar | |
|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Tiempo (minutos) | Número de pasadas | Tiempo (minutos) | Número de pasadas |
| 1 | 40 | 4 a 5 | 18 | 1 a 2 |
| 2 | 35 | 3 a 4 | 21 | 1 a 2 |
| 3 | 33 | 3 a 4 | 18 | 1 a 2 |
| Promedio | 36 | 4 a 5 | 19 | 1 a 2 |

A continuación se muestran fotografías del proceso de calidad de acabado superficial



Calidad de acabado de estructuras metálicas con 6.3 bar.



Calidad de acabado de estructuras metálicas con 8 bar.

- **Masa de arena en condiciones actuales:**

$$m_{\text{arena actual}} = \dot{m}_{\text{arena actual}} * t_1$$

$$m_{\text{arena actual}} = 5.633 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (36 * 60)\text{s}$$

$$m_{\text{arena actual}} = 12167.28 \text{ Kg}$$

- **Masa de arena en condiciones de mejora:**

$$m_{\text{arena actual}} = \dot{m}_{\text{arena actual}} * t_1$$

$$m_{\text{arena actual}} = 5.633 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * (19 * 60)\text{s}$$

$$m_{\text{arena actual}} = 6421.62 \text{ Kg}$$

- **Porcentaje de ahorro de consumo de arena:**

$$\% \text{ Arena} = \frac{\text{masa de arena de 1 a 2 pasadas}}{\text{masa de arena de 4 a 5 pasadas}} * 100$$

$$\% \text{ Arena} = \frac{6421.62 \text{ Kg}}{12167.28 \text{ Kg}} * 100$$

$$\% \text{ Arena} = 53\%$$

ANEXO 18. ANÁLISIS ECONÓMICO - FINANCIERO

4.3.1. BENEFICIO ECONÓMICO EN CONDICIONES ACTUALES

La empresa en la actualidad tiene una producción promedio de limpieza de estructuras metálicas de 750 m²/ mes (9000 m²/año), con un costo unitario de 32.00 soles/m². Asimismo la empresa para cuenta para este servicio con 2 operadores los cuales tienen un sueldo unitario de 930.00 soles/mes (11160.00 soles/año). También cabe recalcar que la máquina tiene un consumo de arena de 22 m³/mes (264 m³/año) con un costo unitario de 47 soles/m³.

c) Costo por limpieza:

$$CL = PLE * CUL$$

Dónde:

PLE: Producción de limpieza de estructuras metálicas, 9000 m²/año.

CUL: Costo unitario de limpieza de estructuras metálicas, 32.00 soles/m²

Tenemos:

$$CL = 9000 \frac{\text{m}^2}{\text{año}} * 32.00 \frac{\text{soles}}{\text{m}^2}$$
$$CL = 288000.00 \text{ soles/año}$$

d) Costos fijos

Costo por mano de obra:

$$CMO = N^{\circ}P * CUS$$

Donde:

N[°]P: Número de personal empleado para la limpieza de estructuras metálicas, 2 personas.

CUP: Costo unitario de salario del personal, 11160.00 soles/año.

Tenemos:

$$CMO = 2 * 11160.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$
$$CMO = 22320.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Costos en abrasivo (arena)

$$CA = VA * CUA$$

Dónde:

VA: Volumen de arena, 264 m³/año.

CUA: Costo unitario de arena, 47 soles/m³.

Tenemos:

$$CA = 264 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * 47 \frac{\text{soles}}{\text{m}^3}$$

$$CA = 12408 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Costos en consumo de aire comprimido:

La compresora para producir aire comprimido, gasta en promedio 990 soles/mes (11880 soles/año).

$$CAC = 11880 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Costo de mantenimiento:

El equipo de arenado en promedio tiene un costo de mantenimiento de 4000 soles/mes (48000.00 soles/año).

$$CM = 60000.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Los costos fijos son:

$$CF = CMO + CA + CAC + CM$$

$$CF = 22320.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}} + 12408 \frac{\text{soles}}{\text{año}} + 11880 \frac{\text{soles}}{\text{año}} + 48000.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

$$CF = 94608.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

El beneficio en condiciones actuales, se calcula:

$$BEA = CL - CF$$

$$BEA = 288000.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}} - 94608.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

$$BEA = 193392.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

4.3.2. BENEFICIO ECONÓMICO EN CONDICIONES DE MEJORA

b) Costo por limpieza:

$$CL = PLE * CUL$$

La producción aumentará debido al mejoramiento de la calidad (47%), la cual permite reducir el tiempo para realizar un determinado acabo superficial.

Dónde:

La producción de limpieza de estructuras metálicas en condiciones de mejora, sería:

$$PLE = 9000 \frac{m^2}{año} + 0.47 * 9000 \frac{m^2}{año}$$
$$PLE = 13230.00 \frac{m^2}{año}$$

Tenemos:

$$CL = 13230.00 \frac{m^2}{año} * 32.00 \frac{soles}{m^2}$$
$$CL = 423360.00 \frac{soles}{año}$$

El beneficio en condiciones de mejora sería:

$$BEM = CL - CF$$
$$BEM = 423360.00 \frac{soles}{año} - 94608.00 \frac{soles}{año}$$
$$BEM = 328752.00 \frac{soles}{año}$$

4.3.3. BENEFICIO ÚTIL

Es el beneficio logrado del proyecto, respecto del diseño de la máquina de chorro por arena con aire comprimido.

$$BU = BEM - BEA$$
$$BU = 328752.00 \frac{soles}{año} - 193392.00 \frac{soles}{año}$$
$$BU = 135360.00 \frac{soles}{año}$$

4.3.4. INVERSIÓN EN ACTIVOS FIJOS

Inversión en activos fijos

| CONCEPTO | CANTIDAD/ METRADO | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL (Soles) |
|--|----------------------|-------------------|---------------------------|
| Tanque de arenado e = ¼ pulg, material AISI 1045 CD Sy =530MPa, diámetro de cuerpo 810 mm, altura de cuerpo 1510 mm, altura de cono 660 mm, diámetro de cono 76.20 mm. | 1 | 11345.00 | 11345.00 |
| Compresor de aire de tornillo rotativo HYUNDAI modelo 78HYQUA1510, potencia nominal 15 HP, presión máxima 10 bar, caudal nominal 53 cfm. | 1 | 17564.00 | 17564.00 |
| Manguera de poliuretano, presión nominal 12 bar, longitud 12 pies, diámetro 1 ¼ pulg. | 1 | 2330.00 | 2330.00 |
| Válvula de manga de uretano con embolo de acero tratado térmicamente, rosca macho 1-1/4 x macho 1-1/2 pulg. | 1 | 344.00 | 344.00 |
| Tobera Poliuretano y carburo de silicona, diámetro de entrada 1 ¼ pulg, diámetro de salida 5/16 pulg. | 1 | 122.00 | 122.00 |
| Manguera de abrasivos, diámetro de 1 ¼ pulg, longitud de 25 pies, presión nominal 12 bar. | 1 | 734.00 | 734.00 |
| Válvula de paso de uretano de 1 ¼ diámetro. | 4 | 86.00 | 344.00 |
| Tubería AISI 1045CD, diámetro de 1 ¼ pulg, longitud 3m. | 1 | 155.00 | 155.00 |
| Manifold AISI 1045CD, e = ¼ pulg, diámetro 115mm, longitud 100 cm. | 1 | 290.00 | 290.00 |
| Estructura base del tanque AISI 1015CD | 1 | 240.00 | 240.00 |
| Soldadura de tope h=1/4 in E7018 | 8 Kg | 35.00 | 280.00 |
| Mano de obra | 1 | 1 | 11811.8 |
| COSTO TOTAL | | | 45559.8 |

4.3.5. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio útil}}$$

$$\text{PRI} = \frac{45559.8 \text{ soles}}{135360.00 \frac{\text{soles}}{\text{año}}}$$

$$\text{PRI} = 0.34 \text{ años} \approx 4 \text{ meses}$$

La empresa Carrocerías Ballena, recuperaría la inversión del costo de la máquina de arenado en 4 meses, el cual es un indicador viable.

En la siguiente tabla se muestra la producción de la empresa Carrocerías Ballena antes y después de la mejora.

| Máquina Arenadora | Producción | Rentabilidad |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Actual arenadora | 9000.00 m ² /año | 193392.00 soles/año |
| Arenadora propuesta | 13230.00 m ² /año | 328752.00 soles/año |
| Diferencia | 4230.00 m²/año | 135360.00 soles/año |

4.3.6. HERRAMIENTAS FINANCIERAS

Para el análisis del valor actual neto y tasa interna de rentabilidad, se consultó a la Superintendencia de banca y seguros del Perú, el cual indica que la tasa de interés promedio es 12.50% con un periodo promedio de 5 años.

Utilizando una hoja de cálculo en Excel, se determinó que el valor actual neto es 436398.73 soles y la tasa interna de rentabilidad 297%, lo cual hace viable su ejecución.

Herramientas financieras del proyecto

| Años | Flujo de Fondos | Movimientos en el Periodo - Año |
|-------------------|-----------------|---------------------------------|
| Inversión | -S/ 45559.80 | Costo Inicial del Proyecto |
| 1 | S/ 135360.00 | Beneficios Netos anuales |
| 2 | S/ 135360.00 | Beneficios Netos anuales |
| 3 | S/ 135360.00 | Beneficios Netos anuales |
| 4 | S/ 135360.00 | Beneficios Netos anuales |
| 5 | S/ 135360.00 | Beneficios Netos anuales |
| Total de Ingresos | S/ 676800.00 | |
| Tasa de Interés: | 12.50% | |
| TIR | 297% | Tasa Interna de Retorno |
| VAN | S/ 436398.73 | Valor Actual Neto |

ANEXO 19. FICHA TÉCNICA DE LA COMPRESORA

| FICHA TECNICA DE LA COMPRESORA KAESER AS 20T | | | |
|---|-----------------------|-----|-----|
| Compresora de tornillo rotativo por accionamiento por bandas | | | |
| Modelo | AS20T | | |
| Presión de trabajo (psi) | 125 | 160 | 217 |
| Flujo de sistema completo a presión de trabajo (acfm) | 99 | 85 | 64 |
| Presion Máxima de operación (psi) | 125 | 160 | 217 |
| Potencia nominal del motor (hp) | 20 | | |
| Secador refrigerativo | ABT40 | | |
| Dimensiones L x A x H (in) | 32 x 58 x 60 | | |
| Conexión Aire Comprimido | 1 1/4 NPT | | |
| Nivel de Presión sonora (dB A) | 67 | | |
| Peso (lb) | 1.279 | | |
| Voltaje | 230/460V/3 Fases/60Hz | | |

Fuente: <http://yunfer.com/pdf/Aircenter-SK-20T.pdf>

ANEXO 20. FICHA TÉCNICA DEL TANQUE DE ARENADO

| FICHA TECNICA DEL TANQUE DE ARENADO | |
|--|---------------|
| ESPESOR DE PLANCHA | 1/4 mm |
| DIMENSIONES : | |
| ALTURA DEL TANQUE : | 1510 mm |
| DIAMETRO DE TANQUE: | 810 mm |
| ALTURA DEL CONO: | 660 mm |
| DIAMETRO DEL CONO: | 76.2 mm |
| CAPACIDAD | |
| LLENADO DEL TANQUE: | 3/4 CAPACIDAD |

Fuente: elaboración propia.

ANEXO 21. FICHA TÉCNICA DE VÁLVULA

| | |
|------------------------|--|
| CARACTERÍSTICAS | Manga de uretano |
| | Entrerroscas de tubo cementado |
| | Émbolo de acero inoxidable tratado térmicamente |
| | Diseño sencillo fácil de usar y mantener |
| | Disponible con conexiones de 1", 1-1/4" o 1-1/2" |
| NÚMERO DE PARTE | DESCRIPCION |
| 1014103 | Rosca hembra 1" x hembra 1" |
| 1014100 | Rosca hembra 1" x macho 1-1/2" |
| 1014101 | Rosca macho 1-1/4" x macho 1-1/2" |
| 1014102 | Rosca macho 1-1/2" x macho 1-1/2" |
| 1014123 | Kit de servicio (émbolo, sello de émbolo, manga, empaque) |

Fuente: <https://www.gtandco.com/products/bantam-abrasive-metering-valve>

ANEXO 22. FICHA TÉCNICA LA MANGUERA DE INYECCIÓN

| FICHA TECNICA DE LA MAGUERA DE INYECCION | |
|---|--|
| CARACTERISTICAS | Mantenga una trayectoria uniforme de 1-1/4" I.D. de abrasivo desde la olla de blasteo hasta la boquilla para disminuir la pérdida de presión |
| | Ligera y flexible para reducir la fatiga al operador |
| | El negro de carbono ayuda a disipar la electricidad estática. |
| | El revestimiento con pequeñas perforaciones disminuye la formación de ampollas. |
| | Diámetros interiores (I.D) disponibles: 1", 1-1/4" |
| | Longitudes disponibles: por pie, 10', 12.5', 25', 50', 100', 400' |
| | Clasificada para presión de régimen de 175 psi |
| | Línea de orientación emblemática MARRÓN CLARO |

Fuente: <http://www.marco.us/blasting/blast-hose-fittings-accessories>

ANEXO 23. FICHA TÉCNICA DE LA TOBERA

| | |
|--|--|
| Rosca de 50 mm | |
| Características: | Disminuye el roscado cruzado |
| | Rosca más profunda |
| | 4-½ vueltas por pulgada |
| | Más fácil de retirar e instalar |
| | Disminuye el agarrotamiento y la corrosión |
| | 2" de diámetro de rosca |
| Rosca de 1-¼" NPSM | |
| Características: | 11-½ vueltas por pulgada |
| | 1-½" de diámetro de rosca |
| BOQUILLAS 100 % DE POLIURETANO Y CARBURO DE SILICONA DE BLASTMASTER | |
| Características: | Sobrecubierta y roscas ligeras, 100 % de poliuretano |
| | Forro de carburo de silicona |
| | Entrada de 1-1/4" de ancho con rosca de 50 mm |
| | Entrada estándar de 1" con rosca de 1-1/4" NPS |

Fuente: <https://www.gtandco.com/collections/marco/products/all-poly-tungsten-carbide-venturi-nozzle>

ANEXO 24. FICHA TÉCNICA DE LA ARENA FINA

| Características físicas de arena fina | |
|--|----------------------------------|
| Peso específico | 2.60 gm/cm ³ |
| Peso unitario | 1.649,13 (kg/m ³) |
| Peso unitario suelto | 1.464,24 (kg/m ³) |
| Vacíos | 35.82 % |
| Absorción | 0.75 % |
| Contenido de materia orgánica | 5% |
| Pasa el tamiz 200 | 16.01 % |
| Módulo de finura | 1.79 % |

| Numero de partículas por matiz que componen el agregado fino (arena) | | | | | | |
|---|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Tipo | Nro.4 | Nro. 8 | Nro. 16 | Nro. 30 | Nro. 50 | Nro. 100 |
| Riolita | 1 | 102 | 95 | 79 | 82 | 98 |
| Andesita | 1 | 48 | 36 | 28 | 24 | 18 |
| Vidrio | 0 | 0 | 6 | 41 | 71 | 104 |
| Horblenda | 0 | 0 | 5 | 11 | 10 | 9 |
| Pómez | 0 | 0 | 8 | 9 | 7 | 4 |
| Totales | 2 | 150 | 150 | 168 | 194 | 233 |

| Porcentaje de partículas por tamiz que componen el agregado fino (arena) | | | | | | |
|---|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Tipo | Nro.4 | Nro. 8 | Nro. 16 | Nro. 30 | Nro. 50 | Nro. 100 |
| Riolita | 50 | 68 | 63.33 | 47.02 | 42.26 | 42.06 |
| Andesita | 50 | 32 | 24 | 16.66 | 12.37 | 44.63 |
| Vidrio | 0 | 0 | 4 | 24.4 | 36.6 | 44.63 |
| Horblenda | 0 | 0 | 3.33 | 6.54 | 5.15 | 3.86 |
| Pómez | 0 | 0 | 5.33 | 5.35 | 3.6 | 1.71 |
| Totales | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: https://www.academia.edu/8410989/FICHA_T%C3%89CNICA_ARENA_FINA.pdf.

ANEXO 25. FICHA TÉCNICA DE COMPRESOR HYUNDAI 78HYQUA1510



HYUNDAI
ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS

78HYQUA1510

COMPRESORES TORNILLO

HYUNDAI

EMASA

Respaldo y Garantía

www.emasa.cl

BENEFICIOS Y FUNCIONES

1. Compresor de tornillo con transmisión por correas, asegura una menor pérdida de energía y una vida útil de tres veces mayor
2. Particularmente indicado para empresas donde el consumo de aire es continuo
3. Controlador electrónico EasyTronic Micro II: monitorea y controla todas las variables del compresor
4. Fabricado con materiales insonorizados, permitiendo la instalación del equipo en cualquier entorno de trabajo.
5. Asegura una temperatura óptima de trabajo gracias a su ventilador integrado.



FICHA TÉCNICA

| | |
|---|---|
| Potencia Nominal | 15 HP /11 kW |
| Presión de trabajo | 10 bar |
| Capacidad Tanque | 500 L |
| Tipo de transmisión | Por correas |
| Caudal Mínimo | 53 cfm 90 m ³ /h 1.500 L/min |
| Capacidad de aceite | 5,5 L |
| Temperatura máxima del aire por sobre el ambiente | 15 °C |
| Recuperación de calor | 37.600 kJ/h |
| Tipo de Ventilador | Radial |
| Flujo del Ventilador | 1.600 m ³ /h |
| Potencia Nominal Ventilador | 0,24 kW |
| Acumulación Partículas de Aceite | 2-4 mg/m ³ |
| Motor Eléctrico | 132 - B34 |
| Velocidad Motor | 3.000 rpm |
| Máxima absorción de potencia | 11,5 kW |
| Potencia Específica | 7,69 kW/m ³ /1' |
| Eficiencia Eléctrica | 91,2 % |
| Grado de protección IP | IP54 |
| Temperatura del ambiente de trabajo (Min/Máx) | +2/+45 °C |
| Nivel de ruido | 69 dB |
| Garantía (Unidad de Tornillo y Sistema Electrónico) | 2 años |
| Garantía (Resto del equipo) | 1 año |
| Código Interno EMASA | 78HYQUA1510 |

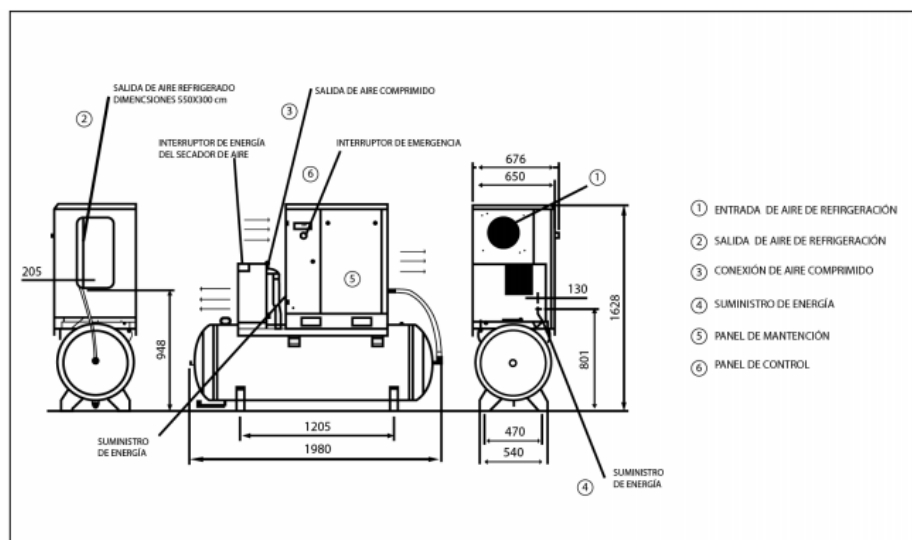
| INFORMACIÓN ELECTRÓNICA | |
|---|-----------|
| Voltaje | 400 V |
| Tipo de corriente | Trifásico |
| Tensión Auxiliar | 24 V |
| Corriente absorbida en puesta en marcha | 59 A |
| Máxima absorción de corriente | 24 A |
| Potencia absorbida en desocupación | 5,1 kW |
| Grado de protección IP del motor / Grado de Aislamiento | IP55 / F |
| Factor de servicio del Motor | 1.1 |

| INDICADORES DE SEGURIDAD | |
|--|--------|
| Temperatura Máxima del aceite | 110 °C |
| Pre-Alerta de Temperatura | 105 °C |
| Ajuste de la transmisión térmica del motor | 14 A |
| Ajuste de la válvula de seguridad | 14 bar |



COMPRESOR TORNILLO PLUS 15-10 500 ES

| DIMENSIONES Y PESO | |
|--------------------|----------|
| Largo | 1.980 mm |
| Ancho | 700 mm |
| Alto | 1.630 mm |
| Peso | 395 Kg |



ANEXO 26. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AIRE

| Temp., T , °C | Densidad, ρ , kg/m ³ | Calor específico, c_p , J/kg · K | Conductividad térmica, k , W/m · K | Difusividad térmica, α , m ² /s ² | Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s | Viscosidad cinemática, ν , m ² /s | Número de Prandtl, Pr |
|--------------------|---|--|--|--|---|--|-----------------------------|
| -150 | 2.866 | 983 | 0.01171 | 4.158×10^{-6} | 8.636×10^{-6} | 3.013×10^{-6} | 0.7246 |
| -100 | 2.038 | 966 | 0.01582 | 8.036×10^{-6} | 1.189×10^{-5} | 5.837×10^{-6} | 0.7263 |
| -50 | 1.582 | 999 | 0.01979 | 1.252×10^{-5} | 1.474×10^{-5} | 9.319×10^{-6} | 0.7440 |
| -40 | 1.514 | 1 002 | 0.02057 | 1.356×10^{-5} | 1.527×10^{-5} | 1.008×10^{-5} | 0.7436 |
| -30 | 1.451 | 1 004 | 0.02134 | 1.465×10^{-5} | 1.579×10^{-5} | 1.087×10^{-5} | 0.7425 |
| -20 | 1.394 | 1 005 | 0.02211 | 1.578×10^{-5} | 1.630×10^{-5} | 1.169×10^{-5} | 0.7408 |
| -10 | 1.341 | 1 006 | 0.02288 | 1.696×10^{-5} | 1.680×10^{-5} | 1.252×10^{-5} | 0.7387 |
| 0 | 1.292 | 1 006 | 0.02364 | 1.818×10^{-5} | 1.729×10^{-5} | 1.338×10^{-5} | 0.7362 |
| 5 | 1.269 | 1 006 | 0.02401 | 1.880×10^{-5} | 1.754×10^{-5} | 1.382×10^{-5} | 0.7350 |
| 10 | 1.246 | 1 006 | 0.02439 | 1.944×10^{-5} | 1.778×10^{-5} | 1.426×10^{-5} | 0.7336 |
| 15 | 1.225 | 1 007 | 0.02476 | 2.009×10^{-5} | 1.802×10^{-5} | 1.470×10^{-5} | 0.7323 |
| 20 | 1.204 | 1 007 | 0.02514 | 2.074×10^{-5} | 1.825×10^{-5} | 1.516×10^{-5} | 0.7309 |
| 25 | 1.184 | 1 007 | 0.02551 | 2.141×10^{-5} | 1.849×10^{-5} | 1.562×10^{-5} | 0.7296 |
| 30 | 1.164 | 1 007 | 0.02588 | 2.208×10^{-5} | 1.872×10^{-5} | 1.608×10^{-5} | 0.7282 |
| 35 | 1.145 | 1 007 | 0.02625 | 2.277×10^{-5} | 1.895×10^{-5} | 1.655×10^{-5} | 0.7268 |
| 40 | 1.127 | 1 007 | 0.02662 | 2.346×10^{-5} | 1.918×10^{-5} | 1.702×10^{-5} | 0.7255 |
| 45 | 1.109 | 1 007 | 0.02699 | 2.416×10^{-5} | 1.941×10^{-5} | 1.750×10^{-5} | 0.7241 |
| 50 | 1.092 | 1 007 | 0.02735 | 2.487×10^{-5} | 1.963×10^{-5} | 1.798×10^{-5} | 0.7228 |
| 60 | 1.059 | 1 007 | 0.02808 | 2.632×10^{-5} | 2.008×10^{-5} | 1.896×10^{-5} | 0.7202 |
| 70 | 1.028 | 1 007 | 0.02881 | 2.780×10^{-5} | 2.052×10^{-5} | 1.995×10^{-5} | 0.7177 |
| 80 | 0.9994 | 1 008 | 0.02953 | 2.931×10^{-5} | 2.096×10^{-5} | 2.097×10^{-5} | 0.7154 |
| 90 | 0.9718 | 1 008 | 0.03024 | 3.086×10^{-5} | 2.139×10^{-5} | 2.201×10^{-5} | 0.7132 |
| 100 | 0.9458 | 1 009 | 0.03095 | 3.243×10^{-5} | 2.181×10^{-5} | 2.306×10^{-5} | 0.7111 |

ANEXO 27. PROPIEDADES FÍSICAS DE ARENADO PARA TRATAMIENTO DE SUPERFICIES METÁLICA.

| Agente Químico | Sinónimos | N° CAS | Estado físico. Forma de presentación | Propiedades Físicas |
|--------------------------|---------------------|-------------|---|-------------------------------|
| | | | | P.E. 2230°C |
| | Cuarzo | | | Pf.1610 °C |
| Sílice cristalina cuarzo | Dióxido de silicio. | 148808-60-7 | Sólido polvo cristalino | D.r.2,635 |
| | Oxido de silicio | | | Insoluble en agua. |
| | SiCO2 | | | Soluble en ácido fluorhídrico |

Fuente Zegarra, (2014)

ANEXO 28. NORMATIVA SSPC PARA PREPARACIÓN DE SUPERFICIES DE ACERO Y SUSTRATO DE HORMIGÓN.

| Norma SSPC | Descripción | | Última revisión |
|-------------------------|--|---|-----------------|
| SSP-SP COM | Comentarios sobre preparación de superficies para acero y sustrato de hormigón | | Mar. 2015 |
| SSPC-SP 1 | Limpieza con solventes | | Abr. 2015 |
| SSPC-SP 2 | Limpieza con herramientas manuales | Cepillos, lijas, etc | Nov.2014 |
| SSPC-SP 3 | Limpieza con herramientas manuales mecánicas | Herramientas eléctricas o neumáticas | Nov.2014 |
| SSPC-SP 5/ NACE N°1 | Limpieza con chorro abrasivo | Granallado metal Blanco | Ene.2007 |
| SSPC-SP 6/ NACE N°3 | Limpieza con chorro abrasivo | Granallado Comercial | Ene.2007 |
| SSPC-SP 7/ NACE N°4 | Limpieza con chorro abrasivo | Granallado Ligero | Ene.2007 |
| SSPC-SP 8 | Decapado químico | | Nov.2014 |
| SSPC-SP 10/ NACE N°2 | Limpieza con chorro abrasivo | Granallado Semi – Blanco | Ene.2007 |
| SSPC-SP 11 | Limpieza manual con herramientas mecánicas | Limpieza metal limpio o desnudo c/ rugosidad mínima de 25 micrones | Jul.2012 |
| SSPC-SP 12/ NACE N°5 | Limpieza con agua a presión - Waterjetting | Reescrita en Julio 2012 y reemplazadas por las normas SSPC-SP WJ -1,2,3 Y 4 | Jul.2002 |
| SSPC-SP 13/ NACE N°6 | Limpieza de concreto | | Mar.2003 |
| SSPC-SP 14/ NACE N°8 | Granallado industrial | | Ene.2007 |
| SSPC-SP 15 | Limpieza manual con herramientas mecánicas | Limpieza comercial con rugosidad mínima de 25 micrones | Jul.2012 |
| SSPC-SP 16 | Limpieza metales no ferrosos | Galvanizado, Acero inoxidable, cobre, aluminio, latón, etc | Abr.2010 |

ANEXO 29. CLASIFICACIÓN DE ABRASIVOS NO METÁLICOS SEGÚN LA NORMA ISO.

| | Material | Abreviación | Forma Inicial de la partícula |
|--------------|------------------|-------------|-------------------------------|
| Tipo Natural | Arena | N/SI | G |
| | Arena olivene | N/OL | G |
| | Estauroлита | N/ST | S/G |
| | Garnet (granete) | N/GA | G |

Fuente Zegarra (2014)

ANEXO 30. CLASIFICACIÓN DE ABRASIVOS NO METÁLICOS SEGÚN LA

| | | | |
|-----------|--------------------|------|---|
| Sintética | Escoria alto horno | N/FE | G |
| | Escoria cobre | N/CU | G |
| | Escoria níquel | N/NI | G |
| | Escoria coke | N/CS | G |
| | Oxido Al fundido | N/FA | G |

NORMA ISO.

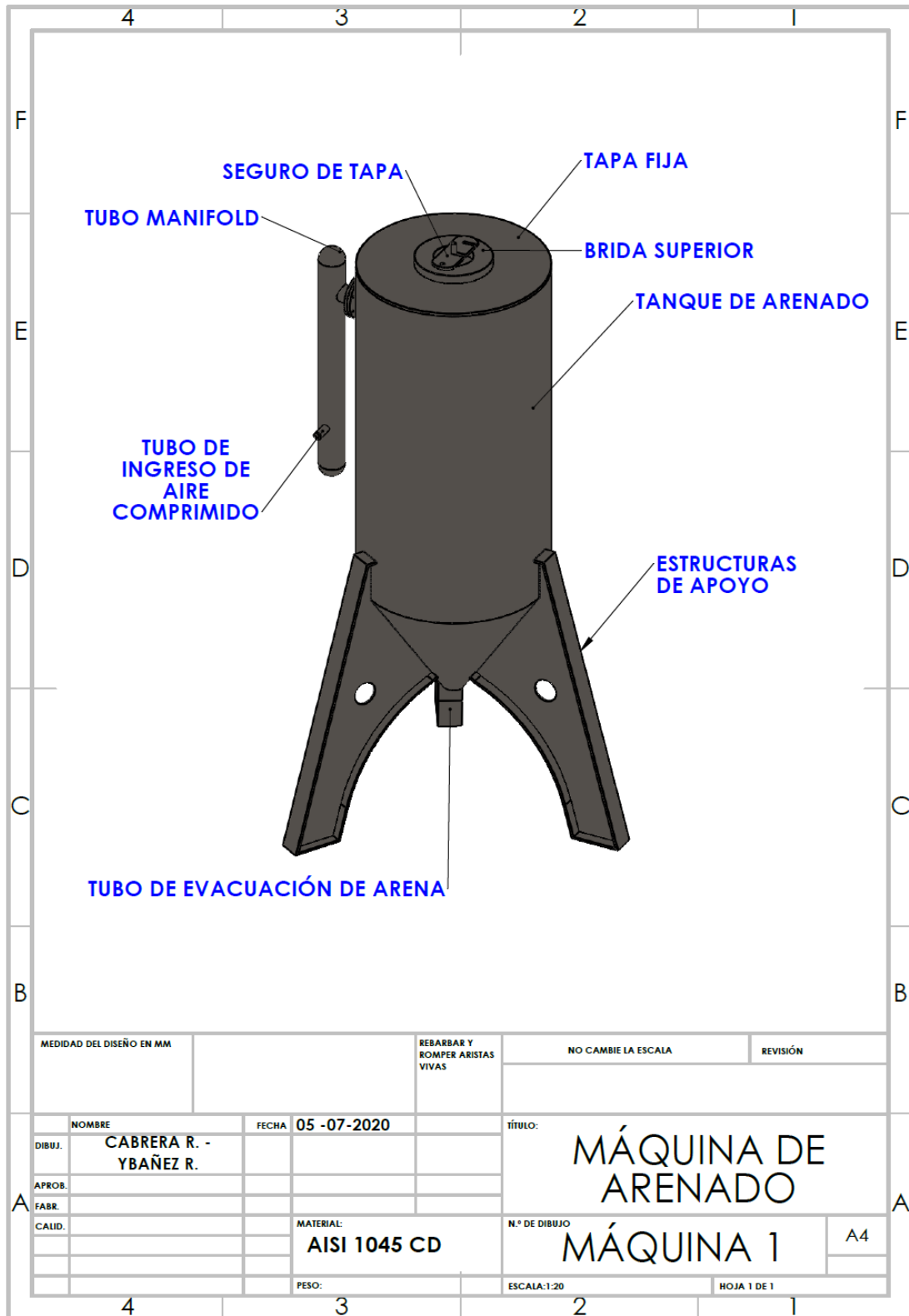
Fuente: Zegarra (2014)

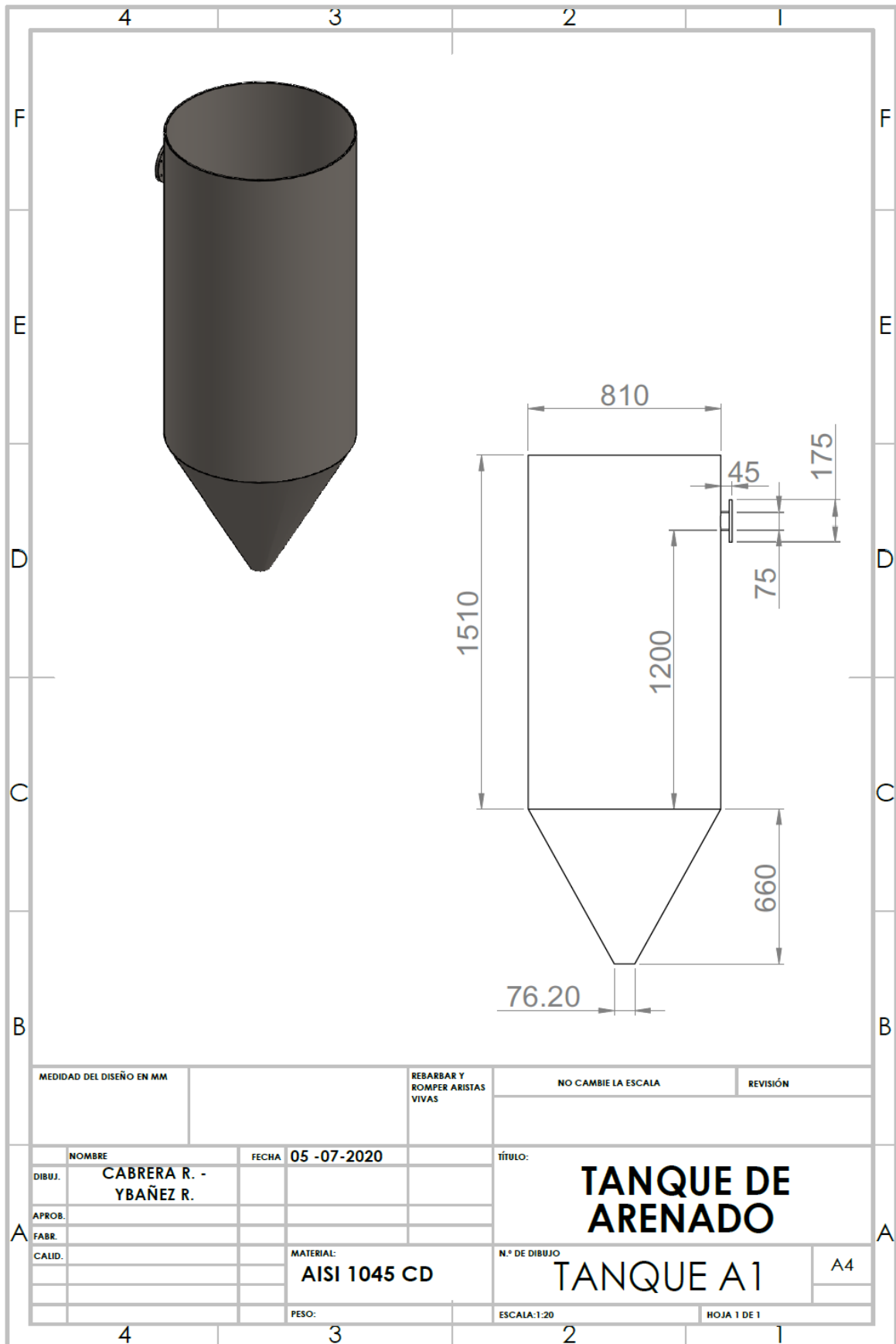
ANEXO 31. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL DIÁMETRO DE LOS ABRASIVOS

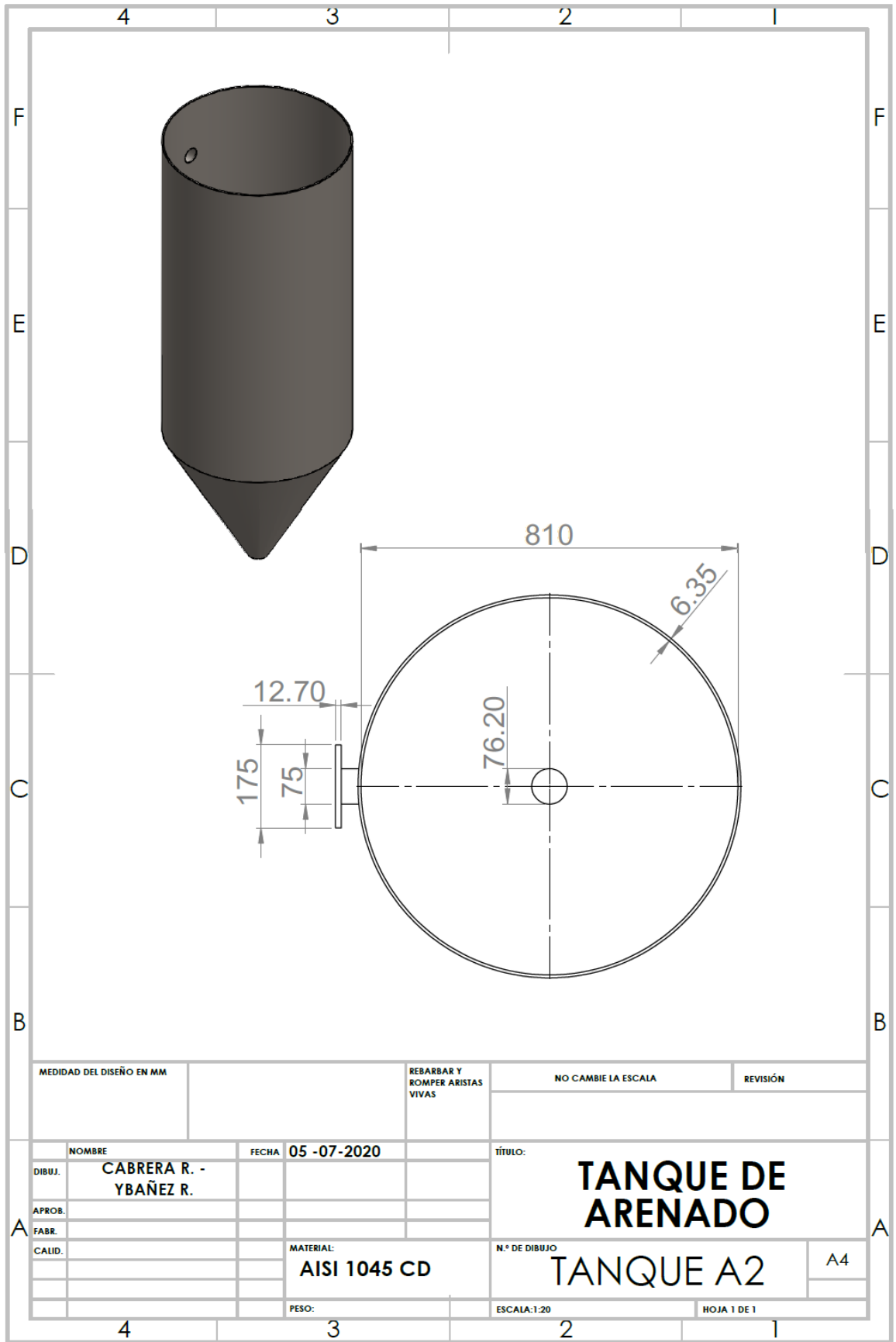
NORMA SUECA

| | |
|-----------|---------------------|
| A1 | 0,2 – 0,5 mm |
| A2 | 0,2 – 0,8mm |
| A3 | 0,2 – 1,4 mm |
| A4 | 0,2 – 2,2 mm |
| B1 | 1,4, – 2,2mm |
| B2 | 0,8 – 2,2 mm |
| B3 | 0,5 – 2,2mm |
| X | 0,5 – 1,4 mm |

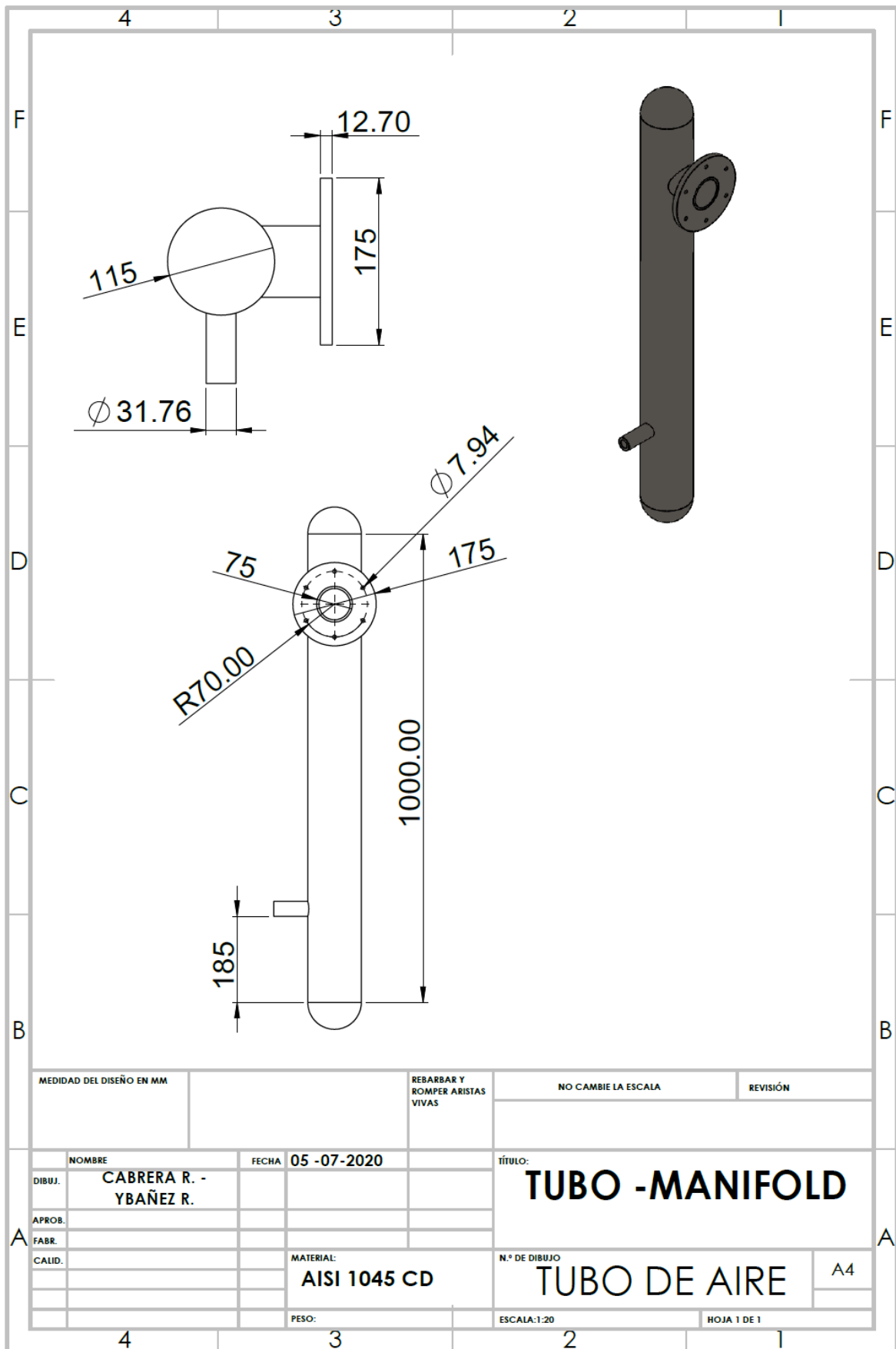
ANEXO 32. PLANOS DE FABRICACIÓN



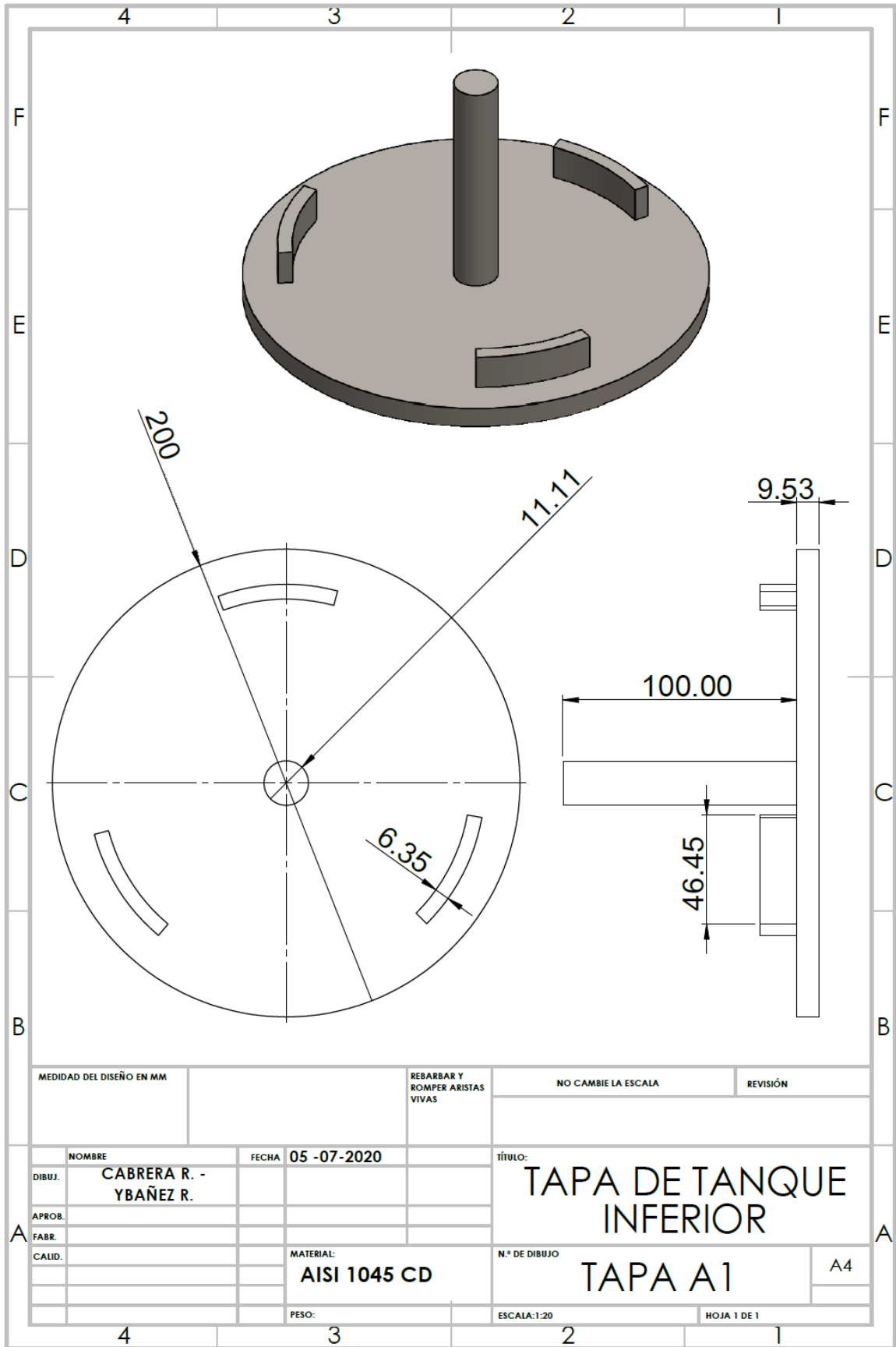




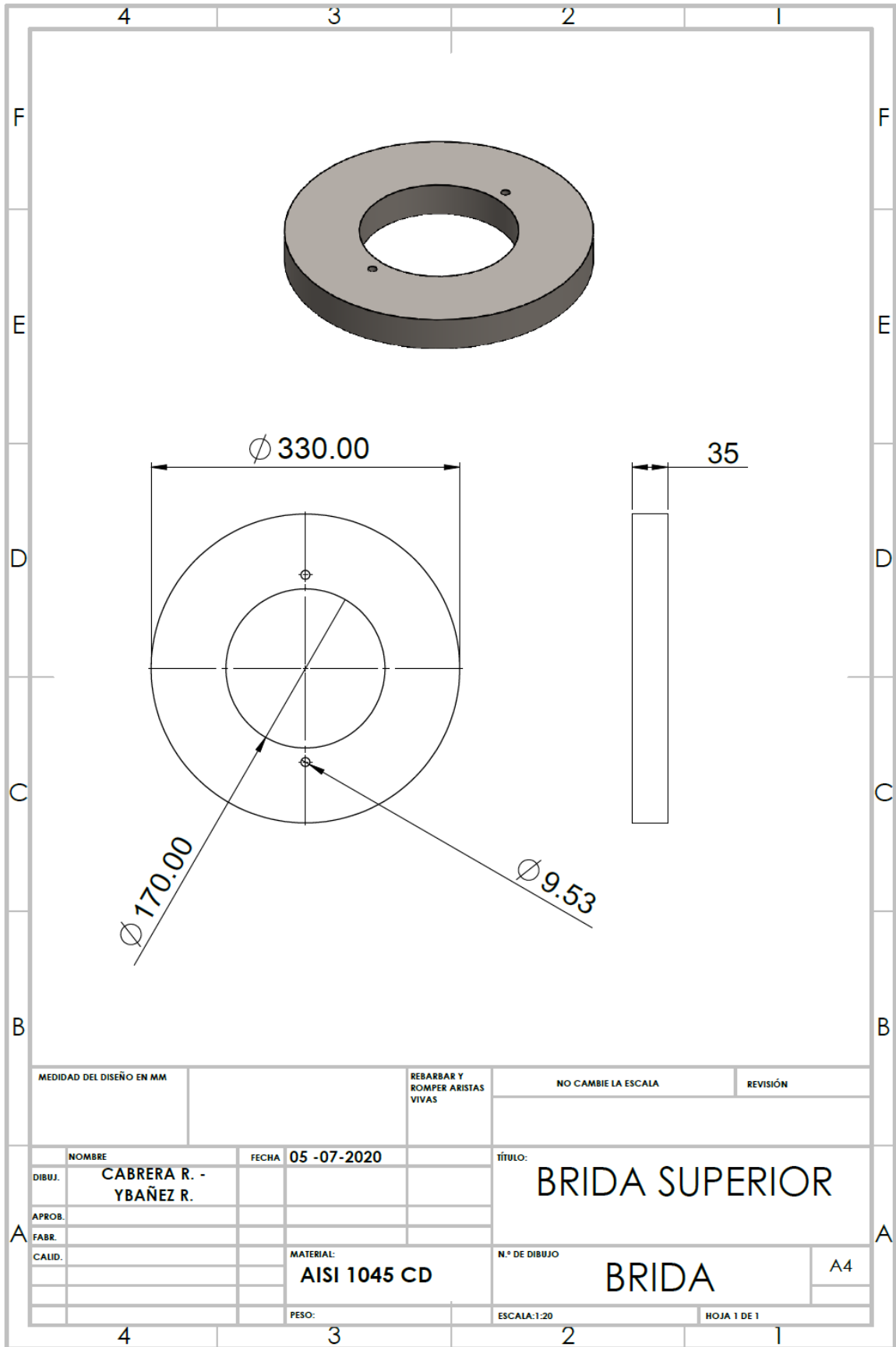
| | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|--------------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | TANQUE DE ARENADO | | | |
| APROB. | | | | | | | |
| FABR. | | | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| CALID. | | MATERIAL: | | TANQUE A2 | | | |
| | | AISI 1045 CD | | ESCALA:1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |
| | | PESO: | | | | | |



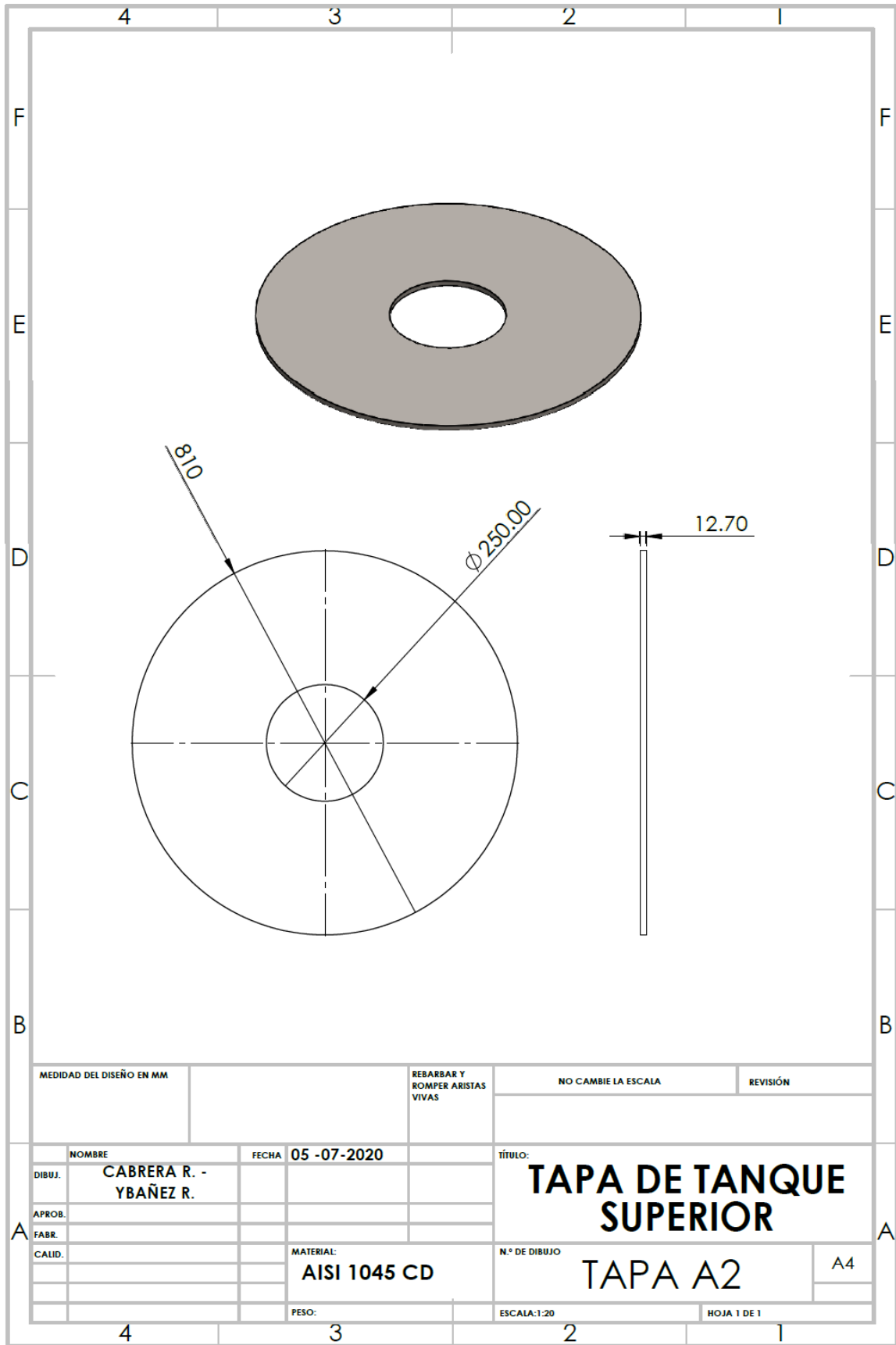
| | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|-----------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | TUBO -MANIFOLD | | | |
| APROB. | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | |
| CALID. | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| | | AISI 1045 CD | | TUBO DE AIRE | | | |
| | | PESO: | | ESCALA:1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |



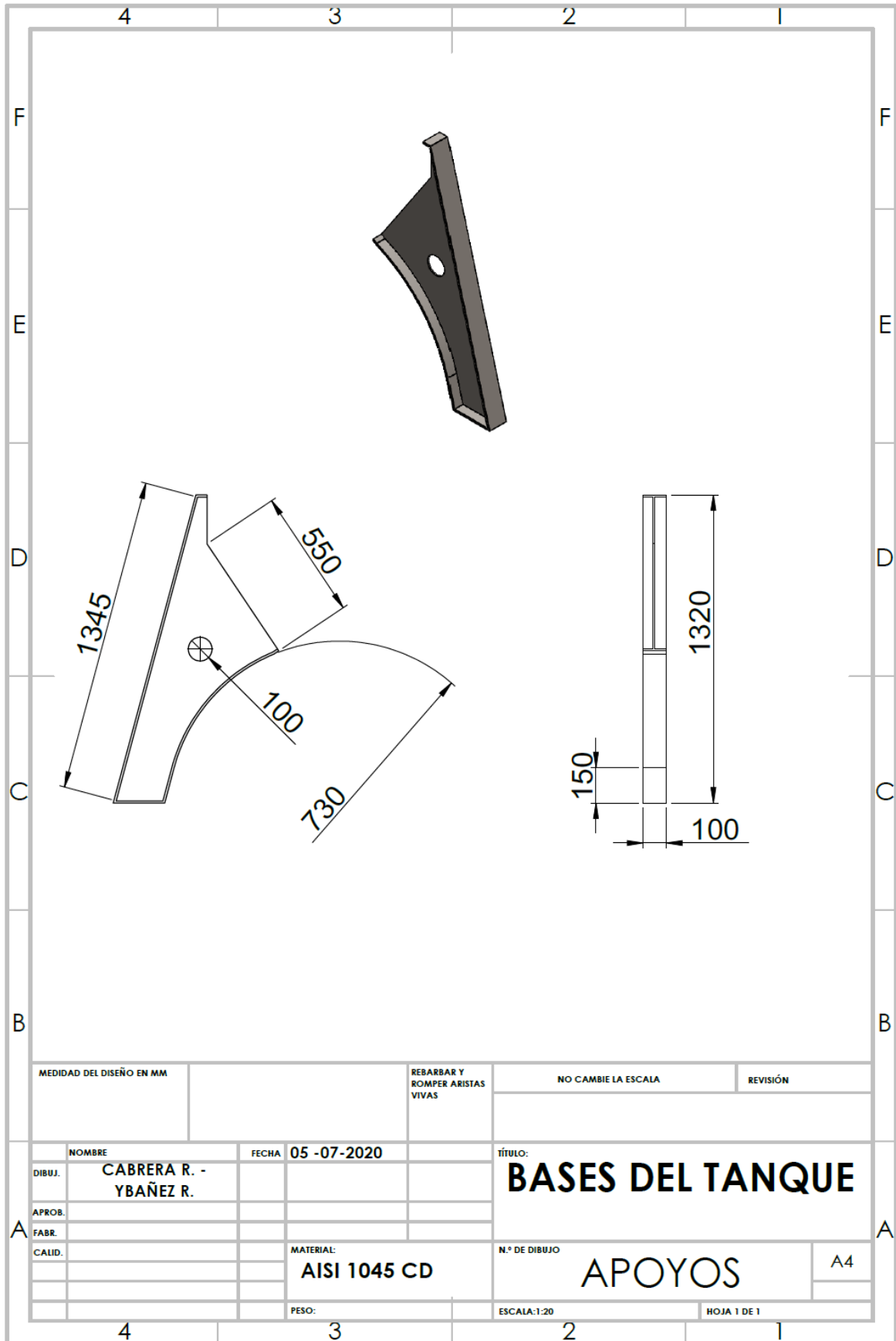
| | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|-------------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | TAPA DE TANQUE INFERIOR | | | |
| APROB. | | | | N.º DE DIBUJO | | | |
| FABR. | | | | TAPA A1 | | | |
| CALID. | | MATERIAL: | | | | A4 | |
| | | AISI 1045 CD | | | | | |
| | | PESO: | | ESCALA:1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |



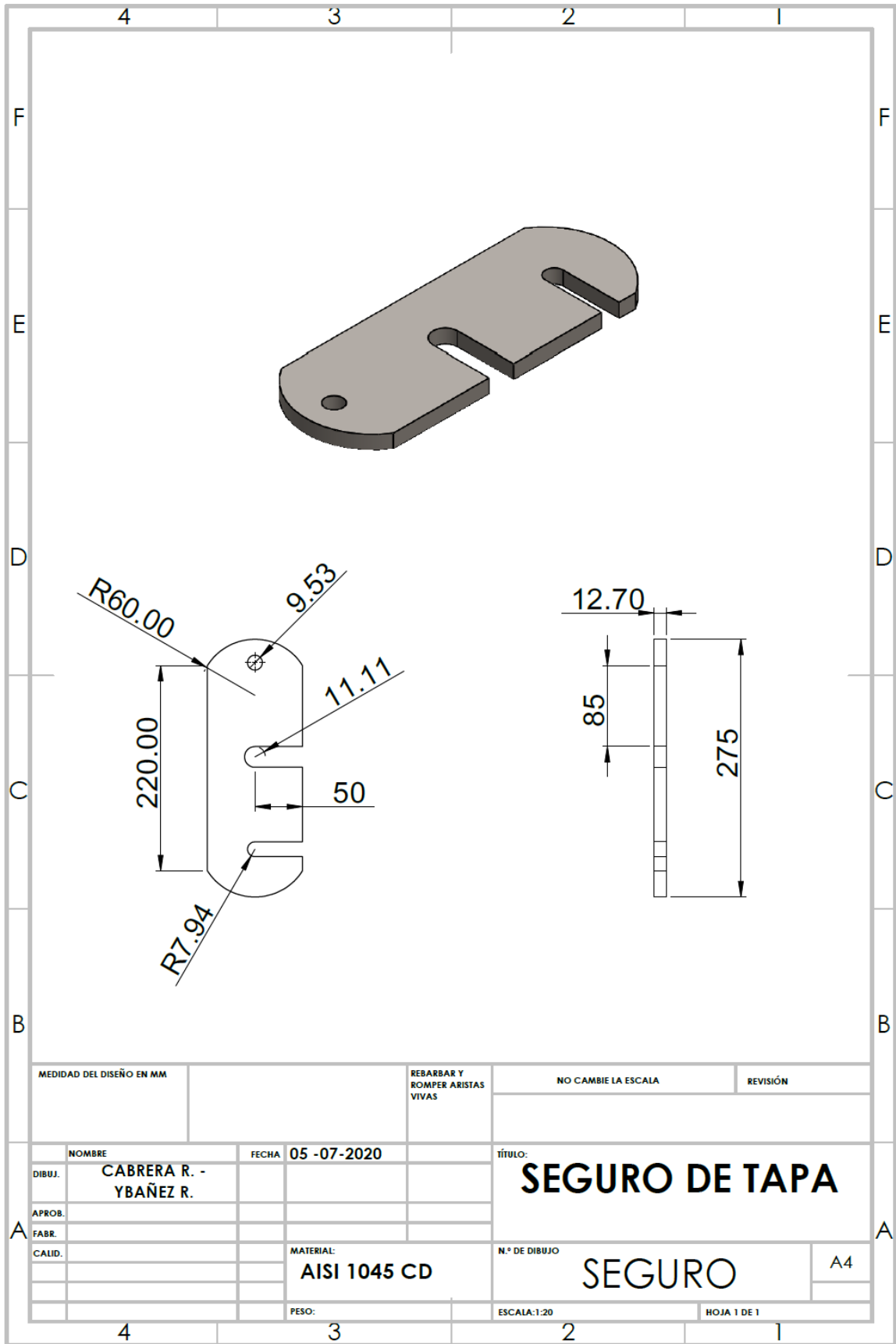
| | | | | | | | |
|--------------------------|--|---------------------------------|--|---------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | BRIDA SUPERIOR | | | |
| DIBUJ. | | | | | | | |
| APROB. | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | |
| CALID. | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| | | AISI 1045 CD | | BRIDA | | | |
| | | PESO: | | ESCALA:1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |



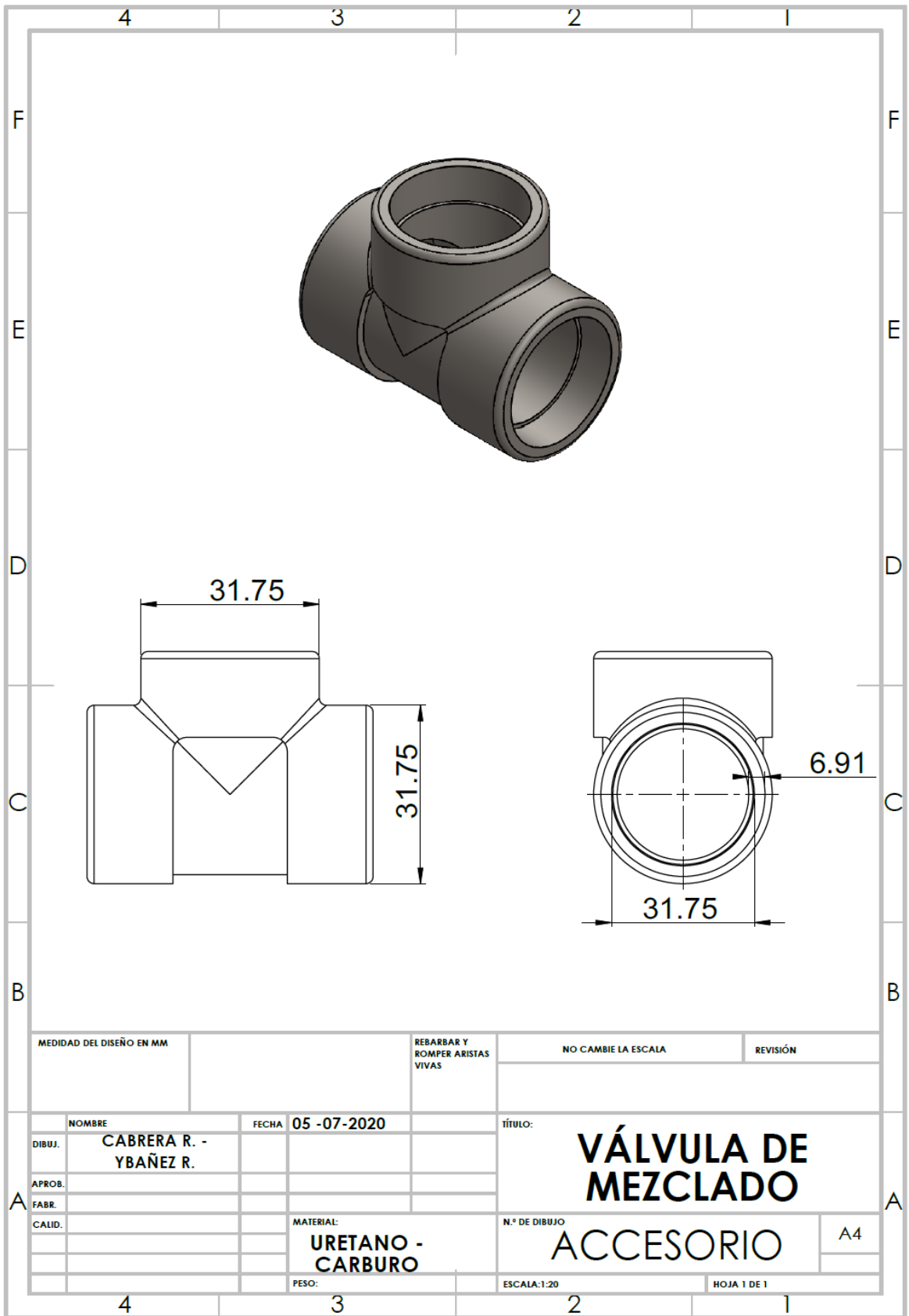
| | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|--------------------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | TAPA DE TANQUE SUPERIOR | | | |
| APROB. | | | | N.º DE DIBUJO | | | |
| FABR. | | | | TAPA A2 | | | |
| CALID. | | MATERIAL: | | A4 | | | |
| | | AISI 1045 CD | | | | | |
| | | PESO: | | ESCALA: 1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |



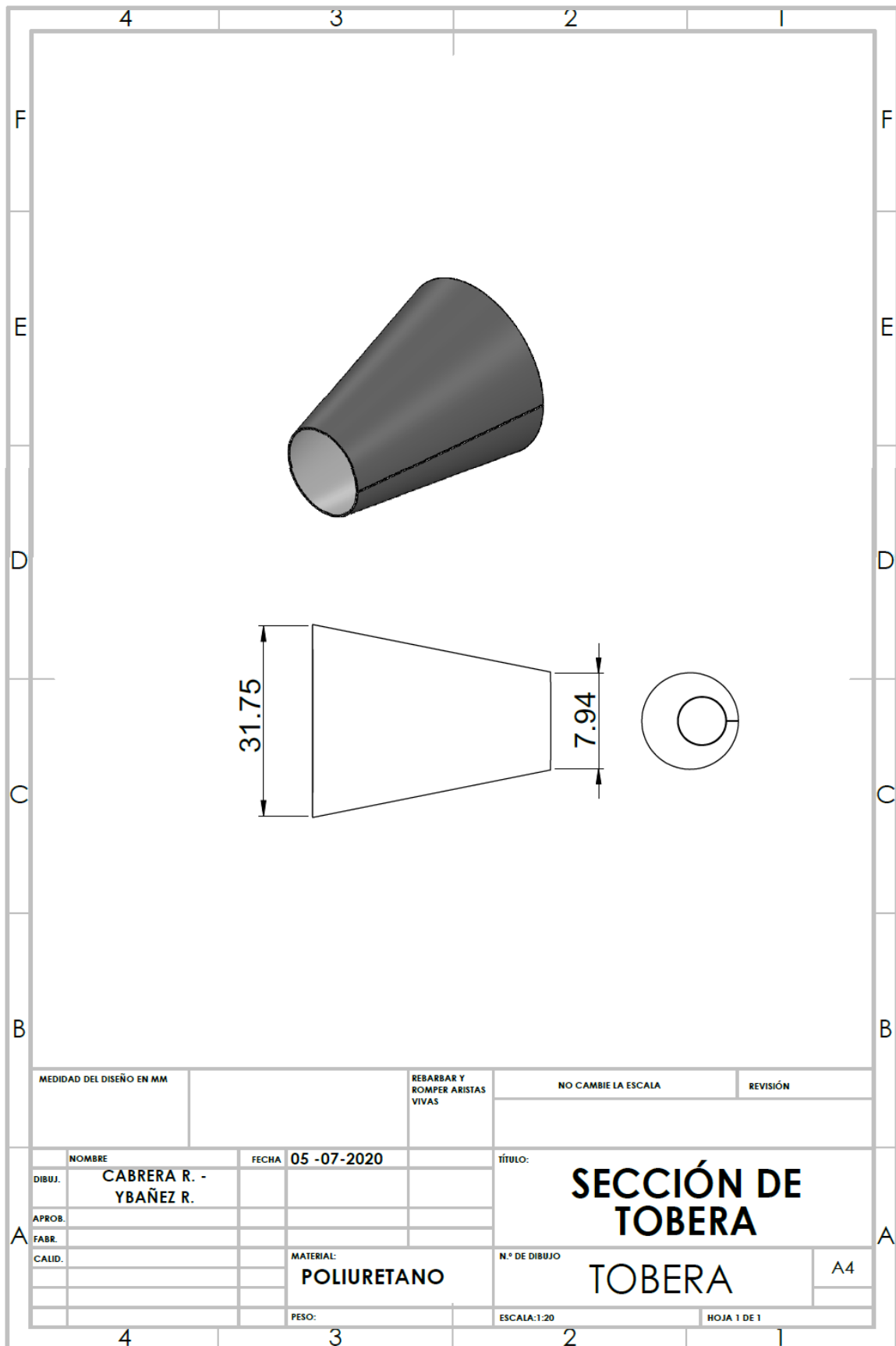
| | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|-------------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | BASES DEL TANQUE | | | |
| APROB. | | | | N.º DE DIBUJO | | | |
| FABR. | | MATERIAL: | | APOYOS | | A4 | |
| CALID. | | AISI 1045 CD | | ESCALA:1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |
| PESO: | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|-----------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | SEGURO DE TAPA | | | |
| APROB. | | | | | | | |
| FABR. | | | | | | | |
| CALID. | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | | A4 | |
| | | AISI 1045 CD | | SEGURO | | | |
| | | PESO: | | ESCALA:1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |



| | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|----------------------------|--|-------------|--|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | | REVISIÓN | |
| NOMBRE | | FECHA | | TÍTULO: | | | |
| DIBUJ. CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | 05 -07-2020 | | VÁLVULA DE MEZCLADO | | | |
| APROB. | | | | | | | |
| FABR. | | MATERIAL: | | N.º DE DIBUJO | | | |
| CALID. | | URETANO - CARBURO | | ACCESORIO | | | |
| PESO: | | | | ESCALA:1:20 | | HOJA 1 DE 1 | |



| | | | | | |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| MEDIDAD DEL DISEÑO EN MM | | REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS | | NO CAMBIE LA ESCALA | REVISIÓN |
| NOMBRE | | FECHA | 05 -07-2020 | TÍTULO: | |
| DIBUJ. | CABRERA R. - YBAÑEZ R. | | | SECCIÓN DE TOBERA | |
| APROB. | | | | | |
| FABR. | | | | | |
| CALID. | | | | | |
| | | MATERIAL: | POLIURETANO | N.º DE DIBUJO | TOBERA |
| | | PESO: | | ESCALA:1:20 | HOJA 1 DE 1 |

