



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL LA PLATA

MECÁNICA TECNOLÓGICA

Departamento de Ingeniería Mecánica

MECÁNICA TECNOLÓGICA

Publicación del departamento de Ingeniería Mecánica

Director

Dr. Ing. Matías E. Fernández

Coordinación General

Ing. Lucas O. Basiuk

Comité Evaluador

Dr. Ing. Ariel G. Meyra

Dr. Ing. Ramiro Irastorza

Dr. Marcos Madrid

Propietario

Facultad Regional La Plata
Av. 60 esq. 124 S/n (CP 1923)
Berisso
Buenos Aires
Argentina

ISSN: 2683-9148.



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Plata

PRESENTACIÓN

La revista Mecánica Tecnológica (ISSN: 2683-9148), es una publicación anual de carácter técnico producida por el departamento de Ingeniería mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata. Nace con la finalidad de jerarquizar los informes de las prácticas supervisadas de los alumnos/as próximos a graduarse.

La revista tiene como objetivo difundir los trabajos técnicos desarrollados, abarcando una amplia rama de la ingeniería mecánica: análisis estructural, ciencia de materiales, simulación numérica, mecánica de fluidos, robótica, entre otros.

Los trabajos que presentamos en este número han sido seleccionados luego de una exhaustiva evaluación por parte del comité evaluador. A ellos, les agradecemos por su tiempo, esfuerzo y colaboración.

Además, quiero agradecer a las autoridades del Departamento de Ing. Mecánica director Mg. Ing. David Barceló y secretario Ing. Damián Genoso por el apoyo recibido.

Por último, un agradecimiento especial a todas las personas que están involucradas en el trabajo directo e indirecto de la publicación de la revista. En este año tan especial de pandemia, todas las partes han redoblado sus esfuerzos: alumnos/as, docentes, tutores y evaluadores. Agradecimiento a todos ellos por el aporte y el esfuerzo realizado.

Dr. Ing. Matías E. Fernández
Director Mecánica Tecnológica

INDICE

Manual de usuario para centro de mecanizado Travis M 1000 con CNC Fagor 8055.....	5
Autora: Solange M. Cardozo	
Especificación Cruce Dirigido en Poliducto	17
Autor: Alexis Gil Marino	
Desarrollo de vehículo autónomo	31
Autor: Iliana B. Robador	
Máscara plástica por inyección	41
Autor: Pedro Augé	
Cálculo y diseño de soldadora circunferencial	53
Autor: Raiquen Correa Chirino	
Desarrollo de tapas de cilindros de competición en el automovilismo.....	67
Autor: Pedro Rivarola	
Montaje de grandes cañerías en un buque	76
Autor: Bejger Nicolás	
Sistema de transporte neumático para material pulverulento	85
Autor: Franco Di Pietrantonio	
Ingeniería de dispositivo para la demostración didáctica del fenómeno de termosifón	96
Autora: Agustina Córdoba	

MANUAL DE USUARIO PARA CENTRO DE MECANIZADO TRAVIS M 1000 CON CNC FAGOR 8055

Cardozo Solange Mariquena

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional

RESUMEN

Un centro de mecanizado CNC, es una máquina herramienta capaz de realizar tareas de mandrinado, taladrado y fresado, es decir, mecanizados por arranque de viruta mediante un control numérico por computadora, el cual es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, en este caso, la máquina. Mediante un programa y un conjunto de órdenes añadidas se realizan los mecanizados.

Es muy frecuente, en el ámbito de las máquinas herramienta comandadas por control numérico, encontrar que no existe un Manual de Usuario dedicado especialmente para cada máquina. Tal es el caso del Centro de Mecanizado TRAVIS M 1000.

Para resolver esta situación se pretende escribir un Manual de Usuario que permita, a cualquier persona autorizada a utilizar la máquina de referencia, seguir los pasos adecuados para trabajar exitosamente minimizando los riesgos siempre presentes.

OBJETIVO

Como fue anticipado en el resumen de este documento, no existe un Manual de Usuario para el Centro de Mecanizado TRAVIS M 1000, por lo que se pretende realizar el mismo abarcando los temas principales, con el fin de cumplir como documento de consulta para resolver problemas frecuentes y como texto de estudio para alumnos de la carrera.

Dadas estas consideraciones, el objetivo principal que persigue el presente es obtener un manual de usuario que incluya buenas prácticas de seguridad e higiene, con el fin de lograr condiciones de trabajo aptas y seguras en el ámbito universitario.

CENTRO DE MECANIZADO TRAVIS M 1000

El Centro de Mecanizado vertical Travis modelo M-1000 que podemos encontrar en el sector de Control Numérico dentro de la Facultad, es una máquina herramienta capaz de realizar tareas de mandrinado, taladrado y fresado, es decir, mecanizados por arranque de viruta mediante un Control Numérico Continuo asistido por computadora, el cual es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, en este caso, la herramienta.

Se destaca como una máquina automatizada capaz de realizar operaciones de alto rendimiento. Dispone de guías con cubierta de Turcite-B en la superficie de contacto, además de rodamientos de alta calidad con contacto angular (P4) en el husillo, así como un sistema de fijación de herramienta neumático.

Posee lubricación automática, viabilidad para funcionar a 4 ejes, de los cuales en nuestro caso generalmente se utilizan solo 3; dispone de un cambiador del tipo sombrilla o random, de un control numérico Fagor y un portaherramientas que es capaz de contener 24 herramientas.

Previo al encendido de la máquina, se debe verificar que el aire comprimido se encuentre activo, a una presión mayor a 6 Kg/cm² y que el nivel de aceite de lubricación centralizada se encuentre mayor a ½ litro.

Las características técnicas que posee nuestro Centro de Mecanizado son:

MESA DE TRABAJO	
Superficie	1200 x 505 [mm]
Nº de ranuras y medidas	5 – 16 x 86 [mm]
Carga máxima admisible sobre la mesa	1000 [Kg]

Tabla I. Mesa de trabajo.

CARRERAS Y DISTANCIAS	
Carrera longitudinal Eje X	1000 [mm]
Carrera transversal Eje Y	530 [mm]
Carrera vertical Eje Z	600 [mm]
Distancia de nariz de husillo a mesa	100/670 [mm]
Distancia de husillo a columna	600 [mm]

Tabla II. Carreras y distancias.

CABEZAL	
Cono del husillo	BT-40
Sistema de fijación de herramienta	Neumático
Gama de velocidades	1-8000 [rpm]
Diámetro del husillo	70 [mm]

Tabla III. Cabezal.



Fig. 1: Centro de mecanizado TRAVIS M 1000.



Fig. 2: Portaherramientas.

FUNCIONAMIENTO

El cubo se coloca sobre la base de la prensa y luego sobre la parte superior de este se colocará a modo de tapa la otra mitad de la prensa; realizada esta maniobra se aplicará presión mediante el torqueo de los espárragos de alta resistencia.

El torqueo que se debe aplicar a cada espárrago surge de la fuerza de compresión total que debe ejercer para lograr la presión solicitada sobre las caras del cubo, dividido por el número de espárragos. (Ver anexos en donde se explica la fuerza de apriete en función del diámetro del tornillo, la calidad de este y el torqueo de apriete)

Una vez torqueados todos los espárragos y por ende alcanzada la carga de compresión deseada sobre el cubo, se procederá a realizar las mismas tareas para lograr la compresión sobre las otras dos caras laterales del cubo. Esto se realiza colocando dos placas laterales de similares características a las utilizadas en la cara superior e inferior.

La inyección del fluido a presión será provisionada y controlada por la prensa triaxial, esto permitirá controlar con precisión y llevar registro de la variación de presión durante el ensayo.

CUERPO CENTRAL

El manual estará compuesto por un índice con seis secciones principales.

Índice

SEGURIDAD E HIGIENE	6
Incendio	6
Riesgo eléctrico.....	6
Eliminación de residuos	7
PUESTA EN MARCHA	8
Prevención de riesgos	8
Recomendaciones generales	11
FIJACIÓN DE LA PIEZA A MECANIZAR	15
CERO PIEZA CON HERRAMIENTA PATRÓN.....	18
Recomendaciones generales	18
HERRAMIENTAS	24
Carga del almacén.....	24
Medición de herramientas.....	24
Tabla de correctores	28
CARGA, SIMULACIÓN, EJECUCIÓN Y EDICIÓN DE UN PROGRAMA.....	28
Carga de un programa	28
Simulación de un programa	31
Ejecución de un programa	32
Edición de un programa.....	33

Fig. 3: Índice.

A continuación, pasaremos a explicar cada sección correspondiente.

SEGURIDAD E HIGIENE

La seguridad e higiene en el ámbito laboral, permite que se construya un medio ambiente de trabajo adecuado y justo. De este modo, aquel que vaya a utilizar la máquina herramienta, puede desarrollar su actividad en un ambiente seguro, sin riesgos de accidentes y con las condiciones de higiene necesarias para que se desarrolle la actividad.

Dada su importancia, se divide la sección en tres títulos:

- Incendio.
- Riesgo eléctrico.
- Eliminación de residuos.

Incendio

El incendio puede provocar desde lesiones personales por humo, gases tóxicos y altas temperaturas, hasta daños materiales en las instalaciones y el propio lugar.

En el manual se mencionan los distintos tipos de extintores y como proceder en el caso de que ocurra uno. Ejemplo: En caso de incendio se deberá proceder a la evacuación del lugar en forma inmediata y no se deberá transportar durante la evacuación ningún efecto personal ni bultos que entorpezcan la misma, así como tampoco se podrá volver a ingresar al sector evacuado en ninguna circunstancia.

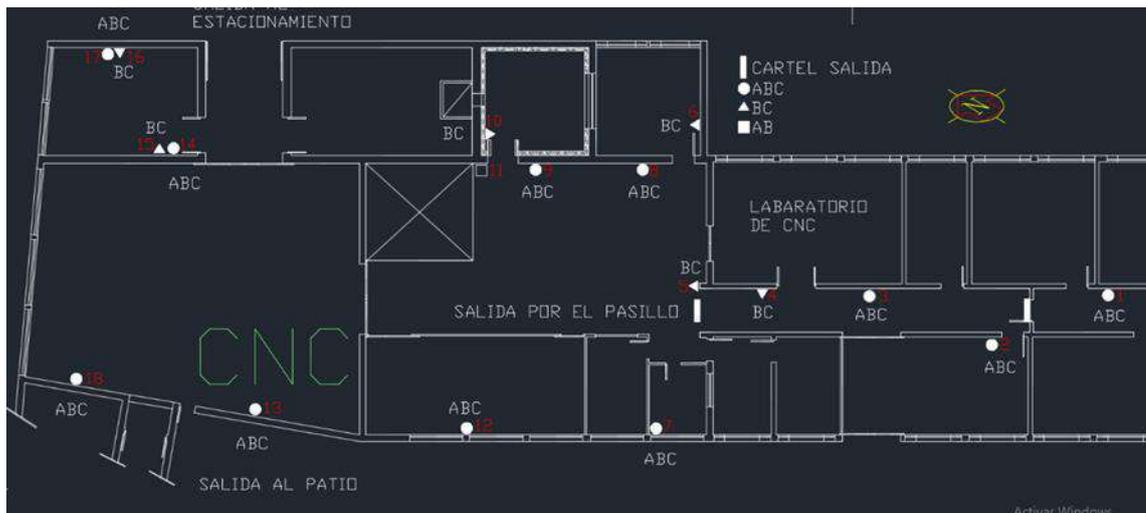


Fig. 4: Plano del taller con sus respectivos matafuegos. ABC, BC, AB.

Riesgo eléctrico

El riesgo eléctrico es la posibilidad de contacto directo o indirecto del cuerpo humano con la corriente eléctrica, el cual puede resultar en un peligro para la integridad de las personas.

Si bien las instalaciones, aparatos y equipos eléctricos tienen incorporados diversos sistemas de seguridad contra los riesgos producidos por la corriente, estos sistemas no son suficientes para una protección total. Por lo tanto, el manual brinda algunas medidas de seguridad que se deberán tener en cuenta para la utilización de la energía eléctrica en cualquiera de sus formas.

Algunas de las medidas son:

- No alterar ni modificar la regulación de los dispositivos de seguridad.
- No utilizar aparatos eléctricos, ni manipular partes de instalaciones eléctricas, cuando accidentalmente se encuentren mojadas o si se tienen las manos o los pies mojados y para desconectar una clavija de enchufe, tirar siempre de ella, nunca del cable de alimentación.
- Toda anomalía que se observe en las instalaciones eléctricas se debe comunicar inmediatamente.

Eliminación de residuos

El manejo limpio y responsable de los residuos como por ejemplo los aceites de corte del mecanizado, es posible y no sólo redundará en evitar multas y riesgos para la salubridad pública, también es un factor determinante para mejorar la productividad y obtener beneficios económicos.

Esta sección en el manual busca mejorar la gestión de los cortes para tener el mayor aprovechamiento, además de separar los tipos de virutas, de modo que se facilite su reutilización y reciclado.

Los beneficios que se consiguen siendo efectivos en el corte y mecanizado de piezas son:

- Reducción del tiempo de mecanizado.
- Reducción de los costes de eliminación de residuos y energía.
- Menor capacidad de almacenamiento requerida.
- Reducción del tiempo de manipulado de las virutas.

PUESTA EN MARCHA

La puesta en marcha es el proceso de arranque y regulación de la máquina de forma planificada. En el manual, dentro de este título, se podrán encontrar dos apartados:

- Prevención de riesgos.
- Recomendaciones generales.

Prevención de riesgos

Los accidentes derivados del uso de máquinas-herramientas pueden dar lugar a accidentes con lesiones

graves que pueden ocasionar incapacidades parciales y/o permanentes. Por esta razón, antes de poner en marcha el CNC se deben realizar algunos controles previos.

Entre los controles previos que se nombran en el manual, se pueden encontrar:

- Verificación de la presión de aire: debe ser mayor a 6 Kg/cm².



Fig. 5: Válvula de presión.

- Verificación del nivel de aceite de la lubricación centralizada: debe ser mayor a ½ litro (½ de aceite sólo dura 24 horas). Aunque la máquina no se encuentre en funcionamiento, al estar encendida gasta aceite cada 10 minutos.



Fig. 6: Aceite de lubricación centralizada.

- Verificación que el tornillo de evacuación de viruta esté en Off.



Fig. 7: Interruptor evacuación de viruta.

Recomendaciones generales

Una vez que se corroboran todos los controles previos y se enciende la máquina, en la pantalla del control numérico se mostrará el menú principal, donde aparecerán dos errores a solucionar.

- Error 1: Referido al Almacén de herramientas.

La posición del almacén de herramientas debe coincidir con la posición actual del mismo. En la parte

superior derecha de la pantalla se verán dos números, uno encima del otro, el de arriba indica la posición actual mientras que el de abajo indica la posición del almacén propiamente dicho.

Por ejemplo:

1

20

- Error 2: Falta búsqueda de cero.

Cuando hablamos de búsqueda de cero, nos referimos al cero máquina, el cual se ejecuta incorrectamente. El error detiene el avance de los ejes y el giro del cabezal, eliminando todas las señales de habilitación y anulando todas las salidas analógicas del CNC.

Este apartado indicará los pasos a seguir para solucionar cada uno de esos errores.

FIJACION DE LA PIEZA A MECANIZAR

La fijación de la pieza es un paso previo a mecanizar de suma importancia, ya que de esto depende que el mecanizado se realice correctamente. Esta fijación dependerá del trabajo que se deba realizar como del material.

En el manual se presentan distintos elementos de sujeción tales como la morsa, el plato de sujeción y los clampings.



Fig. 8: Morsa.



Fig. 9: Plato de sujeción.



Fig. 10: Clampings.



Fig. 11: Kit de clampings.

CERO PIEZA CON HERRAMIENTA PATRON

El cero pieza es el punto en donde el programador sitúa un sistema de referencia según ejes X, Y, Z. Éste viene dado respecto del cero máquina, por lo que, una vez definido el cero pieza, el programa CNC es independiente de la posición exacta en que se sujeta la pieza en el cabezal del torno. Esta posición queda determinada por las funciones G54 a G59.

En esta sección se encontrarán las recomendaciones generales sobre controles previos a la puesta en cero, como que la posición del almacén que enfrenta al husillo se encuentre vacía.

Luego de realizar los controles previos, se debe sujetar la pieza a mecanizar adecuadamente y se procede a buscar el cero pieza, la cual se realiza manualmente con el volante, con las indicaciones dadas en el manual.



Fig. 12: Herramienta patrón utilizada. (Palpador)

HERRAMIENTAS

Las herramientas a utilizar deben ser medidas y cargadas en el almacén para su apropiada ejecución. En esta sección encontraremos los controles previos a la medición de herramientas y tres apartados diferentes sobre:

- Carga del almacén.
- Medición de herramientas.
- Tabla de correctores.

Carga del almacén

El almacén de herramientas es aquel donde se encuentran las mismas. Cuando se habla de carga del almacén, se hace referencia al orden en el que cada herramienta está ubicada en el portaherramientas del CNC que se eligió para un determinado trabajo.

Esta ubicación debe ir en sincronía con lo anotado en la tabla de herramientas del control.

Medición de herramientas

La medición de herramientas tiene la finalidad de obtener los datos de cada herramienta que se utilizara en el mecanizado para poder cargarlos dentro de la tabla de herramientas y que no se produzca ningún error o accidente a la hora de mecanizar.

En esta sección se mostrará un ejemplo claro de los pasos a seguir para medir las herramientas que sean necesarias.

Para la correcta medición, se utiliza un palpador comparador, como el de la siguiente imagen:



Fig. 13: Herramienta tocando palpador.

Tabla de correctores

Su función es guardar la información relativa a las herramientas. Cuando se realiza un cambio de herramienta, el CNC asume los datos definidos en la tabla para esa herramienta.

La tabla de herramientas está conformada por correctores, donde están definidos los datos de las mismas. Dentro de éstos se encuentra el radio y longitud que presenta cada herramienta, el desgaste tanto en el eje X como en el Z, y el factor de forma o modo en el que se ha calibrado la misma.

CORR.	LONGITUD X	LONGITUD Z	RADIO	TIPO	CORRECCION X	CORRECCION Z
0001	X 42.7080	Z 28.9700	R 0.4000	F03	I 0.0000	K 0.0000
0002	X -10.7270	Z 258.4875	R 0.4000	F05	I 0.0000	K 0.0000
0003	X 49.4430	Z 27.9000	R 0.4000	F03	I 0.0000	K 0.0000
0004	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.4000	F05	I 0.0000	K 0.0000
0005	X 45.6710	Z 24.3096	R 0.4000	F03	I 0.0000	K 0.0000
0006	X -10.4270	Z 84.7631	R 0.0000	F66	I 0.0000	K 0.0000
0007	X 50.7030	Z 24.3477	R 0.0000	F02	I 0.0000	K 0.0000
0008	X -8.9630	Z 87.5291	R 0.0000	F06	I 0.0000	K 0.0000
0009	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0010	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0011	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0012	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0013	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0014	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0015	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0016	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0017	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0018	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0019	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000
0020	X 0.0000	Z 0.0000	R 0.0000	F00	I 0.0000	K 0.0000

Fig.14: Tabla de correctores.

CARGA, SIMULACIÓN, EJECUCIÓN Y EDICIÓN DE UN PROGRAMA

En esta sección se explicará paso a paso, acompañado de imágenes ilustrativas, como cargar un programa, simularlo, ejecutarlo y editarlo en el caso que se requiera hacerlo.

Carga de un programa

Cargar un programa, significa crearlo en una computadora partiendo de un archivo .txt y utilizar un determinado programa para pasarlo al CNC que estará conectado a la computadora.

El programa que utilizamos en este caso es el WinDNC V06.02. Para poder utilizarlo, se deberá crear una carpeta que contendrá el archivo creado en .txt convertido en un archivo .PIT.

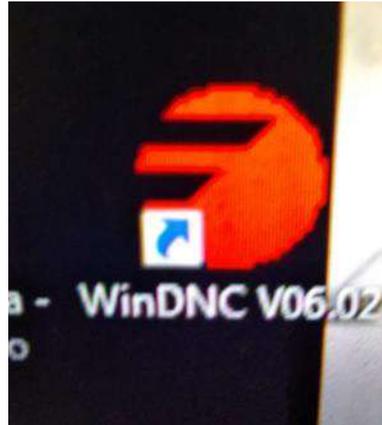


Fig. 15: Programa que se utiliza.

Simulación de un programa

La simulación es un paso previo de suma importancia a la ejecución de un programa. En este momento el usuario debe verificar que el programa se encuentre en orden, es decir sin ningún fallo, por ejemplo: ninguna línea de trazado debe superar los límites de la máquina.

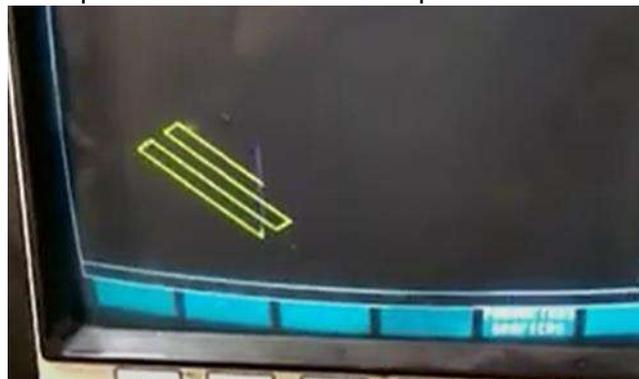


Fig. 16: Simulación de un programa.

Ejecución de un programa

Al momento de ejecutar un programa, se deben seguir algunos pasos con el fin de que no ocurra un accidente.

Los pasos que se detallan en el manual se encargan de que la máquina opere en un principio a una baja velocidad y bloque a bloque, hasta el momento en que se dirige a las coordenadas programadas. Una vez que se corrobora que no hay riesgo de accidente, se procede a la ejecución continua y velocidad normal del programa.

Edición de un programa

En el caso que se requiera editar un programa, se encuentran los pasos a seguir para la realización de este.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La idea de crear un Manual de Usuario, surgió hace unos años por Víctor Sacchetto, con el fin de plasmar en un documento todos los conocimientos para el correcto uso del centro de mecanizado de personas futuras.

En un principio, cuando se me presentó la idea, se abrieron muchas posibilidades de su confección. Se pensó en realizar los primeros capítulos, y que próximos alumnos continuasen; luego en realizarlo siguiendo un cuaderno rojo de su propiedad, donde poseía anotaciones que fue haciendo a lo largo de los años; y finalmente se llegó a la conclusión de realizar un índice con secciones fundamentales

acompañado de diversos videos, para brindar un conocimiento a gran escala y cualquier persona capacitada pueda utilizar.

Se presentaron algunas dificultades en el transcurso del trabajo. Debido a la pandemia que se produjo en el año 2020, los videos propuestos no se pudieron realizar ya que el establecimiento se encuentra cerrado.

Sin embargo y a pesar de los obstáculos generados, la PS se desarrolló por completo, pudiendo plasmar satisfactoriamente los puntos importantes a saber en el momento de mecanizar.

Si bien se abarcan todos los temas principales para poder utilizar la máquina sin inconvenientes, el presente manual, queda abierto a futuras modificaciones/ ampliaciones a fin de corregir/ complementar con situaciones que se presenten a lo largo de los años.

VINCULACIÓN DEL PROYECTO CON MATERIAS DE LA CARRERA

Este proyecto nació dentro del Laboratorio de CNC y se vincula directamente con el mismo y con la materia Tecnología de fabricación.

Esta materia nos introduce dentro del mundo del control numérico computarizado y nos enseña a gran escala el inicio de la programación y utilización de una máquina CNC, ya sea fresa, torno o centro de mecanizado.

Nos enseña el lenguaje técnico utilizado, la nomenclatura y cada componente de la máquina o elemento complementario que se utilice al momento de mecanizar.

El manual se especifica particularmente en el Centro de mecanizado del laboratorio de CNC, pero requerirá de los conocimientos previos de Tecnología de fabricación.

LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del manual a aquellas personas que se encuentren interesadas en realizar trabajos con el Centro de Mecanizado.

A lo largo de la realización de este, yo misma obtuve nuevos conocimientos sobre la programación y uso del Centro de Mecanizado.

El manual es de fácil comprensión y contribuirá al buen uso de la máquina y a la reducción de riesgos al momento de mecanizar.

Se destaca la seguridad e higiene en el trabajo, el conocimiento de los riesgos para tener en cuenta y el cuidado ambiental con respecto al reciclaje al momento de deshacerse de la viruta y los aceites de corte.

BIBLIOGRAFÍA

- <https://www.programacioncnc.es/introduccion-manual-de-datos-mdi-en-controles-fanuc-0i/>
- MANUAL DE OPERACIÓN FAGOR CNC 8055 MC.
- GUÍA TÉCNICA DE PREVENCIÓN: PROTECCIONES EN MÁQUINAS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS. Superintendencia de Riesgos del Trabajo.
- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS SEGUROS PARA LAS PRÁCTICAS DE TALLER Y LABORATORIO. Universidad Nacional de Mar del Plata.

Especificación Cruce Dirigido en Poliducto

Gil Marino, Alexis ^{1,2}

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional.

² YPF S.A.

RESUMEN

Establecer la metodología, requisitos y alcance de las tareas para la realización de un cambio de cañería de acero al carbono de 12,75" de diámetro y 1.650 metros de longitud, de un Poliducto que atraviesa una laguna, mediante la técnica de Perforación Horizontal Dirigida. Para lo cual se comenzará estudiando la necesidad del trabajo, las condiciones geográficas del entorno, accesos y locaciones, posibilidades técnicas de ejecución, requerimientos de permisos, tanto gubernamentales como privados, para luego desarrollar cada una de las tareas necesarias para la ejecución del cambio de traza, culminando con el operativo de empalme de la nueva cañería, con el objetivo de mantener la integridad y extender la vida útil del Poliducto.

DEFINICIONES ABREVIATURAS – PALABRAS CLAVES

PHD - Perforación Horizontal Dirigida.

AFD - Flujo Magnético Transversal.

END – Ensayo no destructivo

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en la realización de un documento técnico para la especificación y descripción de cómo realizar la instalación de una nueva cañería subterránea mediante la técnica de Cruce Dirigido, siguiendo los requerimientos de la Resolución 1460 de la Secretaría de Energía de la Nación, las Normas y reglas de práctica y diseño para la perforación horizontal dirigida.

OBJETIVO

Lograr exitosamente el reemplazo de una sección de cañería para asegurar la integridad del poliducto y su vuelta al servicio bajo las condiciones de diseño.

Metodología

Para realizar el trabajo, se desarrolla una especificación técnica con cada una de las etapas de Obra necesarias para el reemplazo de una sección de cañería mediante la técnica de Perforación Horizontal Dirigida, empleando el conocimiento y experiencia obtenidos en YPF S.A.

IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

La Resolución 120-E/2017 de Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina, requiere que los Ductos de YPF se inspeccionan internamente con scrapper instrumentado de alta resolución. Basado en dichos estudios realizados con la herramienta de Inspección (AFD) se detectan anomalías, que debido a sus características comprometen a la integridad del Poliducto, por lo que debe ser reparado a la brevedad.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN

La anomalía está localizada bajo una laguna, por lo que se analiza la geografía del entorno, tanto de la ubicación de la anomalía como de los posibles accesos al lugar, se compara también el perfil batimétrico, para analizar las posibles alternativas.

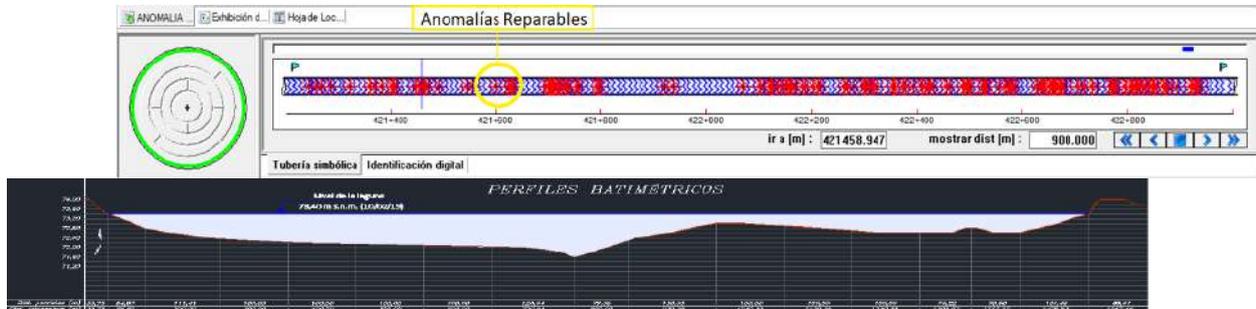


Fig. 1 Análisis de inspección de la cañería y perfiles batimétricos



Fig. 2 Imagen satelital Laguna



Fig. 3 Croquis de ubicación

Alternativa de Reparación Puntual:

Para realizar una reparación convencional, se debe acondicionar la zona anegada para acceder al punto de trabajo, conteniendo el agua circundante y descubriendo el ducto.

La alternativa más viable de acondicionamiento del terreno y contención, teniendo en cuenta las distancias hasta los puntos de acceso terrestres y profundidades de agua, es la del Tablestacado (Ver Fig.3).

Tareas que implica una intervención (reparación) convencional:

- Adquisición de coordenadas con precisión submétrica y distancias a referencias desde la superficie para la cual debe contarse con estación total.
- La tapada del ducto es entre 1 a 1,2 m
- La excavación se realiza hasta 0,50 m por debajo de la zona inferior del caño para acceder a todo

- el perímetro de la cañería a la hora de reparar.
- Identificación de la anomalía.
- Reparación de la anomalía mediante soldadura de refuerzos circunferenciales tipo camisas.

Ventaja: se logra una reparación permanente de la anomalía identificada.

Desventaja: el error en la ubicación del punto de reparación podría llevar a tener que realizar una locación de trabajo demasiado grande para asegurarse poder acceder a la anomalía.

Su ejecución puede provocar cambios en el medio ambiente.

Los cambios climáticos o cambios de nivel de agua durante la reparación hacen que sea una tarea riesgosa.

Si bien esta reparación es permanente, no descarta que en futuras inspecciones puedan surgir nuevas anomalías, producto del paso del tiempo, y tenga que repetirse el proceso de reparación en otros puntos bajo la laguna.

Alternativa Cruce Dirigido:

Esta técnica permite realizar el remplazo de la traza actual mediante la técnica de Perforación Horizontal Dirigida, la cual consiste básicamente en realizar una perforación por debajo de la laguna en una longitud de 1.650 metros, por la cual luego se inserta la nueva cañería, paralela a la actual.

Tareas que implica un PHD:

- Estudio de suelo, relevamiento topográfico, verificación del cruce.
- Construcción de locaciones a ambas márgenes.
- Construcción de columna (cañería 12", longitud 1.650m)
- Perforación e Inserción de la cañería
- Empalme de la nueva cañería con la traza actual

Ventaja: se logra una reparación permanente, ya que se reemplaza la totalidad del cruce con cañería nueva, lo cual no solo soluciona el problema de la anomalía detectada, sino también el de futuras inspecciones.

Es un método no invasivo, por lo que no se alteran las condiciones medioambientales ni del entorno.

Desventaja: presenta un desafío técnico sin precedentes por la longitud del Cruce.

Conclusión:

Se define que la mejor opción técnica y definitiva para garantizar la integridad del Poliducto y prolongar su vida útil era la realización de un Cruce Dirigido.

DEFINICIÓN TAREAS PREVIAS

Análisis de entorno y zona de trabajo, locaciones y accesos

La laguna posee una distancia de 1.600 metros entre las costas Este y Oeste, por la cual atraviesa la traza del Poliducto. Se relevan las márgenes y accesos, se define que la máquina se ubicará en la margen Oeste (Locación acometida – Inicio de perforación), mientras que la construcción de la cañería irá en la margen Este (locación de inserción).

Una vez determinada las locaciones se realiza el dimensionamiento de cada zona de trabajo, teniendo en cuenta maquinaria, equipos, obradores, materiales, y espacio necesario de maniobras y tránsito de personal y vehículos.



Fig. 4 Locaciones

Relevamiento topográfico Plano y perfiles batimétricos

Relevamiento topográfico:

Se realiza para obtener la información necesaria para la confección del plano con perfil longitudinal y planimetría general entre extremos del cruce, es sumamente importante ya que se toman los valores para definir las cotas y alturas del cruce.

Batimetría:

Determina el relieve de la laguna a lo largo del eje del ducto existente, define las características topográficas del fondo de la laguna.

Estudio de suelo:

El mismo consiste en investigar las características geotécnicas del suelo de fundación.

Se realizan 3 (tres) perforaciones en la zona de proyecto, alcanzándose en ellas las profundidades de 15 metros, con las cuales se determina la Granulometría y los valores de resistividad, Expansibilidad y Compresibilidad del terreno.

Diseño del cruce - Cálculo de Tracción y Tensiones

Con los datos obtenidos de los estudios previos se verifica los valores de tracción y tensiones a los cuales estará sometida la cañería durante el proceso de inserción, así también se define la capacidad de tiro de la máquina perforadora.

Determinación del trazado:

Con los datos obtenidos se realiza el perfil del cruce en forma paralela al poliducto existente, transcurriendo por debajo de la laguna, a una cota 12 metros por debajo de la cota de inicio dejando una tapada entre 10 metros debajo del lecho actual de la Laguna. El punto de recepción se ubica a aproximadamente 110 metros del margen Este de la Laguna. El largo horizontal entre los extremos es de 1.650 metros siendo el largo por progresivos inclinados + 2 metros.

Ángulos de entrada y salida:

Se busca la mayor eficiencia de tiro en la máquina, tomando en cuenta el diámetro del caño de 12,75", combinado con una extensión relativamente alargada, se define ángulos de acometida de 14° y de salida de 8°.

Los radios seleccionados para la curvatura de caños en perforación direccional se basan en las normas ANSI B 31.4 y 31.8. Estas normas, toman la siguiente ecuación para el cálculo de radios mínimos en el curvado de tubería por flexión propia dentro del límite elástico: $R = E \cdot J / M$.

Donde E = al módulo elástico del material del caño;
J= al momento de inercia de la tubería respecto al eje neutro
M = el momento flexor.

Especificación de la cañería a instalar:

El cálculo del espesor de pared y las tensiones mínimas de fluencia de la columna a instalar, deben cumplir plenamente con las normas oficiales vigentes para la instalación de Poliductos. Lo propuesto por la Cámara de la Industria de la Perforación Direccional es que el espesor de pared para caños a insertarse por tracción sea no menor a 1.5 veces el espesor determinado por la norma de uso o que se utilice un índice de relación diámetro / espesor no mayor a 50.

Características del caño seleccionado son:

Caño de acero con costura longitudinal
Tipo de caño: de acero al carbono API 5L – X 52M – PSL2
Diámetro externo nominal 12 ¾" - 323,85 mm
Espesor de Pared: 0,281" - 7,14 mm
Revestimiento exterior tricapa: 6mm

Planilla de cálculo:

Los análisis de las cargas y las tensiones que se originan sobre cañerías al instalarlas por tracción en túneles excavados por técnicas de perforación direccional nacen de las normas de aplicación, entre ellas el ASME B 31.8-1992. Se debe otorgar especial atención a aquellas tensiones longitudinales originadas en las flexiones elásticas durante la inserción, a las cargas de tensiones axiales y a las tensiones circunferenciales creadas por presiones externas ejercidas por la columna de fluido adyacente dentro del túnel.

Las tensiones individuales y combinadas, calculadas para cada etapa de la construcción, deben ser comparadas con las tensiones de fluencia mínima especificadas. Por ejemplo, la normativa ASME B 31.8 propone los siguientes límites para ductos de este tipo:

Máxima tensión longitudinal permisible=80% de Tensión de Fluencia Mín Especificada.

Máxima tensión circunferencial permisible=72% de Tensión de Fluencia Mín especificada.

Máxima tensión combinada permisible = 90% de Tensión de Fluencia Mín Especificada.

Realizado el análisis de las cargas y tensiones durante la instalación se comprueba que la cañería verifica bajo las condiciones de operación supuestas.

Gestión Estudio de Impacto Ambiental y permisos de Obra

Se debe realizar todas las gestiones de permisos necesarias, tanto en ante entes gubernamentales o privados previo al inicio de las tareas, los cuales incluyen, por ejemplo: permisos provinciales/municipales, OPDS, hidráulica, campos privados, rutas, etc. Sin las aprobaciones correspondientes no se puede iniciar los trabajos.

ALCANCE TÉCNICO – CAMBIO DE TRAZA CRUCE DIRIGIDO

Movilización - Logística de Traslado

Locación Acometida OESTE, lado Máquina Perforadora:

Se debe realizar acondicionamiento del camino desde el punto de ingreso hasta la locación, con una longitud de 600 metros y un ancho de 5 metros, de manera tal que permita la circulación de camiones con una carga de 10 Tn. por eje.

Requiere una superficie de 2.700 m² (60 mts x 45 mts) y contiene la máquina perforadora, bombas, recicladores, planta de elaboración de lodos, disposición de materiales y materias primas, etc.



Fig. 5 accesos Locación Oeste

Locación Recepción ESTE, lado Cañería:

Se debe realizar acondicionamiento del camino desde el punto de ingreso hasta la locación de inserción, aprox. 250 metros.

Requiere una superficie de 1.200 m² (30 mts x 40 mts) y que es donde se ubica obrador de recepción, cambiarán las herramientas de la sarta y se alistará la inserción de la columna.



Fig. 6 accesos Locación Este

Elaboración de Ingeniería de Cruce Dirigido

Luego de haber realizado los relevamientos y verificaciones previas, se conforma la ingeniería del Cruce Dirigido, diseño del trazado, fosas y piletas correspondientes.

Plano de Ingeniería de Detalle de Cruce Dirigido:

Contiene el detalle de Planimetría, Altimetría, referencia geotécnica, cotas, curvaturas, numeración barras de perforación, progresivas, inclinación y profundidad.

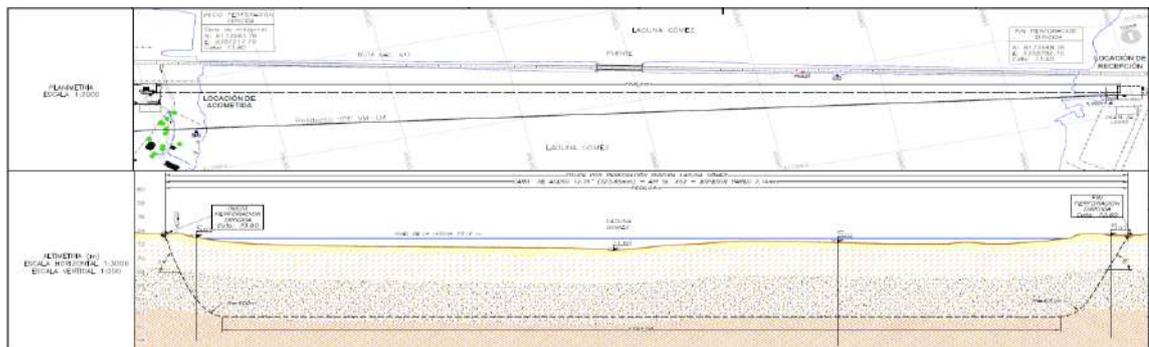


Fig. 7 Plano PHD

Construcción cañería 12,75" (1.650 metros)

Preparación de pista:

La construcción de la cañería se realiza en la margen Este de la Laguna, paralela a la traza actual, se limpia y nivela la pista asegurando el libre escurrimiento de las aguas pluviales evitando su acumulación y la inundación de la franja de trabajo, y se garantiza la circulación permanente de vehículos y equipos. Se realiza la presentación de cañería sobre tacos de madera con almohadillas o sacos de arena para evitar deformaciones y daños en el revestimiento.

Soldadura:

La cañería se alinea mediante presentador externo y se suelda a tope por soldadura eléctrica manual SMAW de acuerdo con la norma API 1104 - última edición (respetando los códigos y normas de la AWS (American Welding Society) e IRAM).



Fig. 8 Soldadura Cañería

Inspección Radiográfica:

Las uniones soldadas se verifican por inspección visual y control de gamma grafiado de acuerdo con la norma API 1104 última edición. Se realiza las radiografías al 100 % de las uniones soldadas.

Prueba Hidráulica:

El tramo de cañería a instalar es sometido a prueba hidráulica en su totalidad de acuerdo con lo establecido en el Reglamento Técnico y Normas ASME B31.4 y API RP 1110.

Previamente a la prueba hidráulica se procede a la limpieza interna de la cañería correspondiente al tramo a ensayar mediante el pasaje de scraper.

Posteriormente se introducirá la cantidad de agua necesaria y un scrapper impulsado con el agua de llenado a efectos de desplazar el aire contenido. Su composición responderá a los siguientes valores:

PH:	6 a 9
Cloruros:	máx.: 200 p.p.m
Sulfuros:	máx.: 250 p.p.m
Sólidos en suspensión:	máx.: 50 p.p.m

La duración de la prueba será:

Prueba de resistencia: 4 hs. A una presión de 1,25 de la presión de diseño.

Prueba de estanqueidad 24 hs. A 1,1 de la presión de diseño.

Posicionamiento de la cañería:

Una vez aprobados los ensayos, se debe montar sobre los rodillos, los cuales se posicionan paralelos a la cañería cada 10 metros y están alineados con el perfil de inserción, en esta etapa se debe contar con todos los medios de izaje adecuados para levantar, mover y bajar la cañería sobre los respectivos rodillos,

además de los equipos se debe prever fajas, carros de bajada, etc.

Revestimiento uniones soldadas:

El revestimiento consistente en Mantas Termo contraíbles especiales para Cruces Dirigidos con alma de fibra de vidrio según recomendación CAN/CSA – Z 245 .21.02 Syst. B1 FM 30C Espesor 6mm, las cuales además de proteger las uniones soldadas poseen una franja o suncho de refuerzo transversal, denominada borde de ataque, la cual protege a la manta durante la inserción, evitando así su desprendimiento y garantizando la protección de la cañería. Luego de montar las mantas se realiza un ensayo de adherencia, para corroborar la correcta aplicación.

Pasaje de Placa calibradora

Una vez terminada la construcción de la cañería y su posicionamiento sobre los rodillos se debe realizar un pasaje de placa calibradora, a efectos de comprobar que no halla deformaciones geométricas en la cañería.

Construcción de cabezal de tiro

Para la posterior inserción de la cañería debe construirse un cabezal de tiro, el mismo sirve para sujetar la cañería a en el momento de la inserción.



Fig. 9 Revestimiento uniones soldadas – Construcción Cabezal de tiro

Construcción de piletas de lodos y agua

Zanja de acometida:

En la locación de acometida frente a la máquina perforadora se construye una zanja de 1,5 m de profundidad en el sitio de ataque de la sarta de perforación, necesaria para posicionar luego el inicio del cabezal perforador.

Pileta de Estériles y lodos:

Desde la zanja de acometida se bombearán los lodos y barros recolectados hasta una planta de reciclado detrás de la cual, en forma paralela se continuará una pileta para el depósito de lodos y la tierra de descarte.

Pileta de agua:

Se construye una pileta de reservorio de agua de 350 M3 de capacidad, la cual proveerá el suministro necesario según el caudal de perforación.

Pileta de Lodos:

De aquí se bombea los lodos recolectados hasta una pileta con capacidad acorde al volumen a ser desplazados por la inserción de las columnas.



Fig. 10 Pileta de agua y lodos

Perforaciones para agua

El agua para la perforación debe cumplir con niveles de PH 9 y valores de sales, cloruros y dureza necesarios según los requerimientos químicos del fluido de perforación diseñado.

En este caso las aguas de la laguna no cumplen con los requerimientos, por lo que se realiza una perforación a 50 metros de profundidad, donde el análisis da valores de cloruros 27 y dureza 70 aptos para el trabajo. Se instala una bomba para garantizar los 250 M3 necesarios por día.

Emplazamiento de máquina Perforadora

Para el asentamiento de la máquina perforadora dentro de la locación, se construye una base nivelada de 5 mts de ancho x 15 mts de largo x 150 mm de espesor con un material de suelo cemento. La máquina se asienta sobre dicha plataforma nivelada, con fijación a la estructura de anclaje (muerto) de dimensiones acordes a la tracción que requiere para la cañería a insertar.

Dentro de esta locación se ubican los siguientes componentes de la planta:

Máquina de perforación (Capacidad de tiro 440 Tn) - Retroexcavadora.

Generador diésel para máquina, bombas, equipo reciclador y cabina de control.

Conjunto de barras de perforación.

Bombas de captación de agua y sumergible de transferencia de lodos.

Planta recicladora de lodos doble.

Unidad de mezclado de fluidos y Tanque de transferencia de fluido y Filtros

Moto Bomba de lodos de alta presión

Cabina de control, Contenedor oficina, taller de repuestos, comedor, herramental.



Fig. 11 Máquina Perforadora y Equipamiento Locación Acometida

EJECUCIÓN PHD

Perforación Túnel Piloto

Previo al inicio de la perforación piloto se realiza una nueva agrimensura entre los extremos del cruce,

verificando los datos topográficos, para contrastarlas contra el diseño aprobado.

Una vez confirmada la alineación del equipo perforador con la traza y determinado el acimut de referencia, se inicia la perforación del pozo piloto.

La PHD comienza con la construcción del túnel piloto, con motor de desplazamiento positivo de fondo, a lo largo del trazado previsto.



Fig. 12 Perforación piloto

Método de Guiado Electromagnético:

Para asistir a la construcción precisa del túnel piloto y tomando en cuenta la profundidad a la que se encuentra la sarta al pasar por debajo de la laguna, se utiliza el método de guiado electromagnético de alta resolución. El componente primario de este método se basa en una sonda electromagnética que opera dentro del pozo, colocada dentro de una barra portadora no magnética acoplada al extremo posterior del ensamble de fondo. La sonda es alimentada con 24V desde la máquina por medio de un cable conductor impermeable que se enhebra a través de las barras al ir progresando la perforación. La sonda contiene un inclinómetro, magnetómetros y acelerómetros que aportan señales que informan sobre su inclinación, su rumbo con respecto al norte magnético y a la grilla en superficie y la orientación de la cara de la herramienta de perforación con respecto al dial del reloj.

El componente complementario del método propuesto consiste en la construcción de una grilla goniométrica a lo largo del trazado, la que una vez excitada con corriente continua crea un campo magnético en superficie cuya señal es reconocida por la sonda.

Las señales electrónicas transmitidas por la sonda son enviadas por medio del propio cable conductor eléctrico a un ordenador. Una vez desmodulados y enviados al centro de cómputos en la cabina de control permiten proyectar sobre la pantalla de la computadora adjunta datos que dan una visión del cruce en tiempo real. Además, al avanzar la perforación del túnel, es posible graficar la planimetría y corte longitudinal del trazado real haciendo posible contrastarla con el trazado de diseño.

Tren de barras de Perforación:

La perforación piloto se ejecuta con un tren de barras con conexión de 5-1/2", FH DS (orificio completo y conexiones doble tope) para alto torque, largo 9 mts., Cal S-135/IEU, (DS55).

Ensanche hasta 24"

En esta etapa, ya perforado el túnel piloto y con el tren de barras dentro del mismo se cambia el ensamble de fondo por un ensanchador con un diámetro 24" y con forma adecuada al terreno a rectificar y se procede a tirar desde la máquina abriendo al túnel existente a una medida superior. A su vez, se van colocando nuevas barras de perforación por detrás de la herramienta de manera que cuando la misma llegó al pie de la máquina, hay un nuevo tren de barras montado dentro del túnel.

Este

procedimiento permite el pasaje de herramientas de rectificación hasta lograr la apertura de un túnel con un diámetro aproximado de 12" superior al del caño a insertar.

Inserción de cañería

Previo a la inserción se realiza el pasaje de equipo Holiday con collarín para verificar integridad del revestimiento.

Es la etapa del trabajo se toma el caño por medio de un cabezal de tiro y se lo conecta a través de una unión giratoria al tren de barras de manera de insertar la columna por tiro dentro del túnel sin que el mismo gire.

La columna, para su acometida, se alinea sobre el eje de la perforación montada sobre rodillos. Se acondiciona el peralte de la rampa de la zanja de recepción a un ángulo de 8° adecuado a la inserción. Luego utilizando un carrito de bajada maniobrado por una grúa de 70 tn de capacidad suficiente se conforma la columna por medio de un cuello de cisne que adapta su punto de ingreso al ángulo de introducción del túnel. Se posiciona otro equipo de izaje de 50 tn con carro de bajada a unos 30 mts detrás del primero, que toma la carga del tramo descendente hacia los rodillos, además una excavadora de apoyo para sostener a la columna durante su tránsito y avance sobre los rodillos en el final de la columna.



Fig. 13 Inserción de la Cañería

Aceptación del Cruce Dirigido

Para dar aceptación al cruce dirigido se realiza un ensayo de envío de corriente, para comprobar que no halla fallas en el revestimiento. Además, se realiza nuevamente el pasaje de la placa calibradora para verificar que no halla deformaciones geométricas en la cañería.

Fluidos de Perforación

La cantidad de fluido a utilizar es de cinco veces el volumen final del mismo. La base de este fluido de perforación es agua, la que, combinada con una mínima proporción de bentonita natural y algunos polímeros orgánicos biodegradables, asiste a crear una presión positiva que además de limpiar el túnel ejecutado, ayudando a sellar sus paredes. Además, facilita la introducción suave de la columna ya que la misma durante su inserción se traslada flotando por el túnel, reduciéndose así tensiones y esfuerzos de tracción sobre la misma.

Funciones principales de los fluidos:

Lubricar la sarta de perforación y herramientas de corte.

Refrigerar la sonda de guiado.

Excavación y remoción de los sólidos recortados.

Sellado de la pared del túnel

Estabilización del pozo

Medio para flotación del caño

Reciclado y Tratamiento de Barros:

La gran cantidad de fluidos necesarios para la operación generara retornos con el suelo excavado que es necesario almacenar en piletas de contención. Desde allí se entregan a una planta de reciclado para su nuevo aprovechamiento o permanecer para su tratamiento y disposición final.

Mantenimiento del fluido:

Durante el curso de la obra se efectúan análisis periódicos sobre los fluidos de inyección y los barros que retornan por el túnel. Según los resultados obtenidos se van introduciendo nuevas cargas de bentonita y polímeros para así mantener las condiciones reológicas requeridas para este tipo de suelo.

EMPALME Y PUESTA EN SERVICIO NUEVA TRAZA

Instalación de Monturas y perforación

Para la vinculación de la nueva cañería a la traza existente se debe realizar la instalación de dos monturas, aguas arriba y aguas abajo del cruce, las cuales consisten es dos medias cañas con un cuello bridado de 12" (igual diámetro que la cañería).

Para su instalación se realizan excavaciones para acceder a la cañería existente, se sueldan y sobre ellas se montan válvulas sándwich, las cuales cumplen la función de cerrar el paso de fluido hacia el exterior, una vez fijadas se posiciona la máquina perforadora, las cual realiza el corte de la cañería, extrayendo un cupón, de esta manera se prepara la instalación para el operativo de empalme.

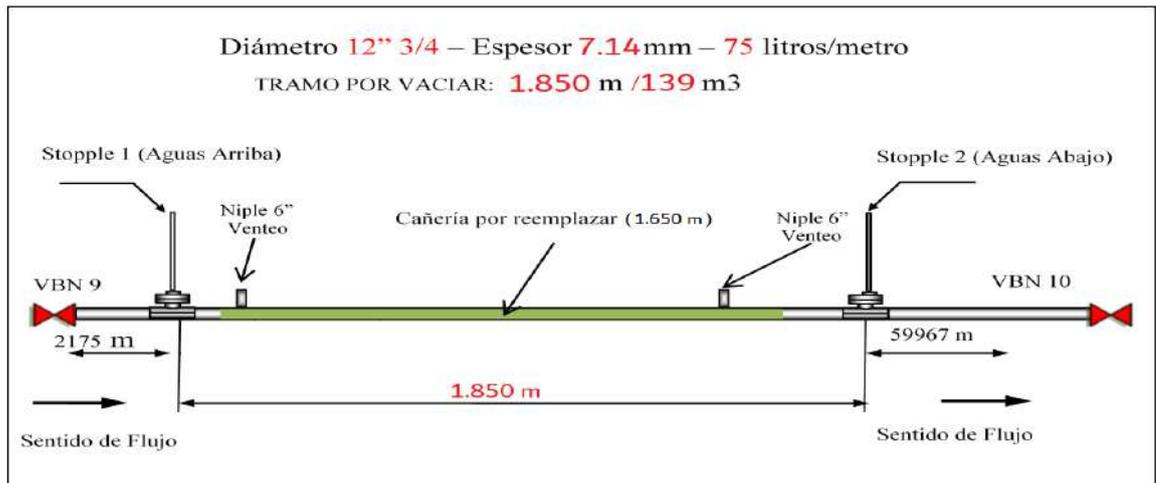


Fig. 14 Máquina Perforadora y Stopple

Obturación, vaciado y corte de cañería en servicio

Debido a que la cañería se encuentra en servicio, se programa el día de Operativo de empalme, debido a que para realizar la vinculación de la nueva traza se debe detener el bombeo del Poliducto.

Previamente se montan las máquinas de stopple en las monturas aguas arriba y aguas abajo del cruce. Se envía desde Planta, ubicada aguas arriba del cruce, un scraper, cuando el mismo pasa la Montura N°1 se detiene el bombeo y se cierran VB de bloqueo aguas arriba y aguas abajo del cruce, una vez estanco el Poliducto se procede a bajar el cabezal obturador de la Montura N°1, y a través de un niple instalado se sopla con aire a presión el scraper hasta pasar la Montura N°2, en ese momento se baja el cabezal Obturador de la Montura N°2 y la cañería entre Monturas queda vacía y preparada para el corte.



Presentación y empalme nueva cañería con existente

Luego se realizan los cortes en frío en los puntos de empalme, se procede a presentar y biselar las caras de las cañerías y sellar con bentonita, para evitar que haya vapores de hidrocarburos durante las soldaduras. Con presentadores externos se alinean las cañerías y se realizan las soldaduras. Una vez finalizadas se realiza ensayos de radiografía en ambas costuras para balizar las soldaduras.

Llenado y Puesta en servicio del ducto

Una vez terminado el empalme, se comienza el llenado del nuevo tramo entre monturas a través de una manguera de alta presión conectada en el niple de equalización de la máquina stopple. Cuando la cañería está llena se equalizan presiones aguas arriba y aguas debajo de los stopples y se levantan los cabezales obturadores, en este momento el Poliducto vuelve al servicio y se concluye el cambio de la traza.

CONCLUSIONES

Se logró completar exitosamente el cambio de cañería mediante la técnica de PHD, sin incidentes ni complicaciones técnicas, superando el desafío que implicaba no tener antecedentes de trabajos similares por la magnitud que representaba la Obra, se aseguró la integridad del Poliducto y su vuelta al servicio bajo las condiciones de diseño originales.

La Obra de PHD es reconocida internacionalmente por su gran innovación tecnológica y constituye un récord argentino debido a su extensión de 1.650 metros y 24" Ø.

NORMAS DE APLICACIÓN

Normas de Aplicación para la Perforación Horizontal Dirigida:

- ASME B31.4: American National Standard Code for pressure Piping Liquid Petroleum Transportation Piping Systems
- NAG 100 y NAG 108
- API –RP 1111-2015
- API - RP 2A-WSD-2000
- DNV – OS-F101-2000
- Reglamentaciones vigentes en materia de Higiene y Seguridad en el Trabajo: Ley Nacional Nº 19.587 - Decreto Regl. 351/79 - Decreto Nº 911/96, Resolución S.R.T: 51/97

Normas de Aplicación para la provisión y construcción de la cañería:

- Reglamento Técnico para Transporte de Hidrocarburos Líquidos por Tuberías
- API 1104: API - Standard for Welding Pipe Lines and Related Facilities
- SSPC.SP N° 10: Limpieza de cañería por granallado (según patrones visuales)
- API RP 1107: Recommended Pipeline Maintenance Welding Practices.
- Normas corporativas: SCOR/MACOR

Reglas de Práctica y Diseño para la Perforación Direccional:

- PRCI, N° PR 227-144507-E01, Installation of Pipelines by HDD, an Engineering Design Guide of Pipeline Research Council International, September 2015.
- HDD , Good practices guidelines, May 2017
- AGA PR-227-9424: Installation of pipelines by horizontal directional drilling

Desarrollo de vehículo autónomo

Robador Iliana belén

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad
Tecnológica Nacional

RESUMEN

En el presente trabajo se detalla el “Desarrollo de vehículo móvil autónomo” realizado dentro del Grupo de Materiales Granulares (GMG), en el departamento de Ingeniería Mecánica de la UTN – FRLP. El proyecto surge debido a la necesidad de saber cómo funciona esta clase de dispositivos. La particularidad de esto y lo que más llama la atención es su autonomía y libertad para realizar diferentes movimientos. Toda la investigación se basó en el trabajo científico “Robot incorporado impulsado por retroalimentación ambiental auto organizada” [1], del mismo tratamos de imitar el dispositivo, que se trata de un carro autónomo.

INTRODUCCIÓN

Objetivos

Como primer objetivo se tiene poder concretar la realización de un solo vehículo autónomo que funcione de acuerdo con una programación.

Luego de realizar varios ensayos y pruebas, el objetivo a largo plazo es la realización de un “tren” de vehículos autónomos que puedan estar conectados, pero que cada uno tenga su propia neurona y que lleguen a poder moverse todos en una misma dirección y sentido.

Marco de referencia

La primera parte de este proyecto se dedicó específicamente en investigar, en un comienzo leyendo el trabajo científico en el cual nos basamos y buscando información sobre programación por Arduino.

Luego pasamos a ver cómo estaba constituido y desarrollado, cómo se iba a desplazar, qué tipo de materiales y componentes electrónicos se iban a utilizar.

Una vez logrado esto, se pasó a la parte de materializar toda la investigación y datos que se había recolectado.

METODOLOGÍA

Equipo experimental

Como ya se dijo anteriormente, la primera etapa fue de investigación, ya que todo este tema de la programación y autonomía de ciertos objetos es muy reciente y requiere de actualización continua.

Una vez que se tenían en claro cómo se iba a realizar el proyecto, comenzamos la etapa de diseño, de cómo iba a estar constituido y que componentes debería llevar.

Cuando se tuvo la información suficiente de cómo iba a estar constituido el carro, se procedió a la compra de los materiales, al ser algo casi netamente electrónico.

2.2 Componentes del equipo

Los materiales y componentes del equipo son:

- Chasis
- Pilas recargables / batería.
- Arduino UNO Mega 2560

- Motor reductor de doble salida con rueda incluida.
- Módulo Driver L298n.
- Modulo sensor velocidad giro rueda
- Rueda contadora de vueltas

Chasis: constituido de acrílico, y sobre él van todos los componentes del vehículo.

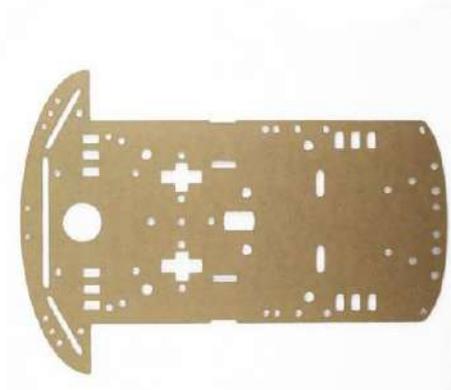


Figura 1: Chasis de acrílico

Pilas recargables / batería: Se van a utilizar tres pilas doble AA recargables, para la alimentación de los motores y de los distintos componentes. La batería, cumpliría la misma función.



Figura 2: Pilas recargables

Arduino MEGA 2560: Es el elemento central a través del cual se opera el equipo. Es un microcontrolador, que tiene la capacidad de almacenamiento y otras funciones. En este se insertan los circuitos del doble puente H, los encoders, y la fuente de alimentación, en este caso las pilas o batería. También se carga el programa que comandará a los motores para que estos se muevan independientemente.



Figura 3: Arduino Mega

Motor reductor con doble salida con rueda incluida: La función del motor es hacer girar la rueda que va a tener en una de las dos salidas. Es un motor reductor de 12V. Entre el chasis y la rueda, irá montado el sensor de velocidad de giro junto con el disco ranurado.



Figura 4: A la izquierda: Rueda

A la derecha: Motor Reductor

Doble puente H (L298N): este componente se encuentra conectado entre la fuente de alimentación (pilas/batería), el Arduino MEGA y los dos motor reductores. Nos permite invertir la polaridad y con esto el sentido de giro del motor que sera fundamental para realizar los cambios de direccion y sentido de las ruedas. Esta contenido en el chasis con el resto de los componentes



Figura 5: Doble puente H (L298N)

Sensor de velocidad de giro: El sensor tiene un emisor y receptor infrarrojo que al poner un objeto en medio de este cambia su salida digital [2]. Este sensor se utiliza principalmente para medir la velocidad de las ruedas haciendo que una rueda perforada pase por el medio del detector.

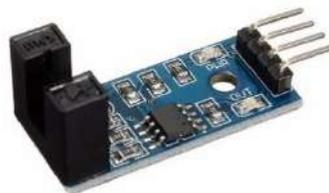


Figura 6: Sensor de velocidad de giro

Disco ranurado: La función de este disco ranurado es dejar pasar o no la luz emitida por el encoder, en sí no cuenta, sino que genera el tren de pulsos que el encoder digitalizará. Está situado solidario al eje del motor reductor.



Figura 7: Disco Ranurado

Modelo teórico

Una vez que tuvimos armado el dispositivo, fuimos probando distintos programas que puedan llegar a cumplir el objetivo, es decir, imponer diferentes velocidades a cada una de las ruedas de manera individual para llegar de una posición a otra.

Su funcionamiento se detalla a continuación:

Sistema de control

El carro tiene que saber en qué posición se encuentra $(X_i; Y_i)$ y hacia dónde tiene que ir $(X_f; Y_f)$, para gestionar la velocidad de las ruedas. En la figura 8 se muestra un diagrama de control realimentado en el que la referencia es la posición final y la salida es la posición instantánea en la que se encuentra el carrito.

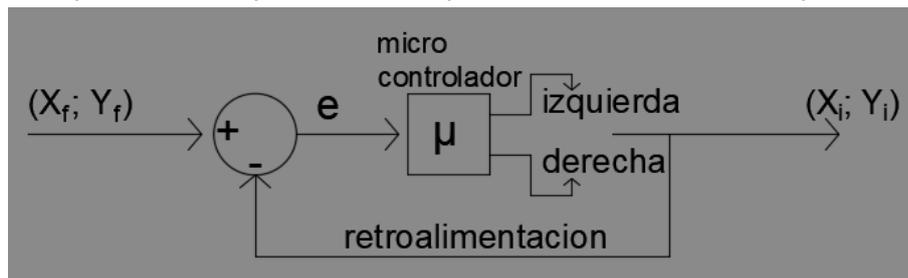


Figura 8: Esquema de principio de funcionamiento básico

La diferencia entre $(X_i; Y_i)$ y $(X_f; Y_f)$ nos da un error (e) , que ingresa en un microcontrolador, lo que nos va a controlar la rueda derecha e izquierda. Para que el carro conozca su posición en cada instante se colocan los encoders mencionados en la sección anterior, de esta manera se puede determinar el movimiento que hizo la llanta y con eso medir que tanto se desplazó, es decir, podemos ir calculando los puntos $(X_i; Y_i)$. Si suponemos el desplazamiento nulo.

En todo sistema de control automático se debe tener un modelo de la planta que se desea controlar. En nuestro caso será el carrito que se muestra en el esquemático.

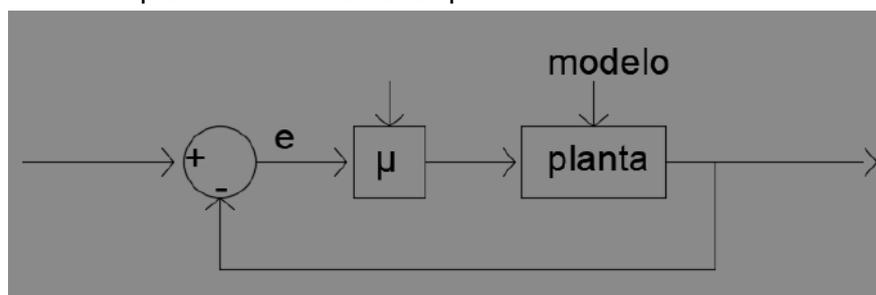


Figura 9: Esquema de modelo.

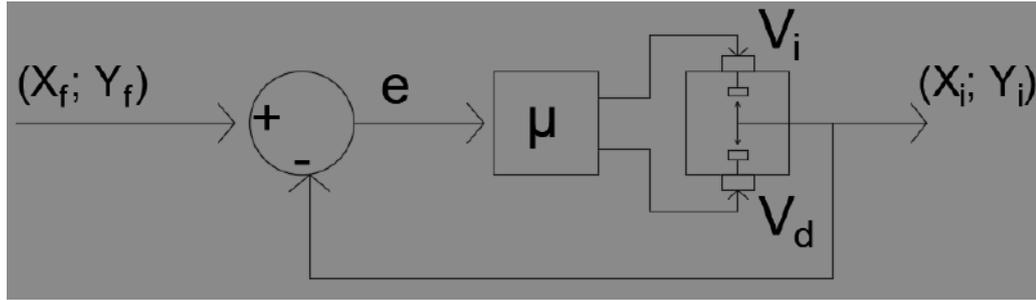


Figura 10: Esquema de velocidades.

Al modelo físico del carrito le vamos a ingresar las velocidades de las ruedas (individualmente), y como salida vamos a tener las coordenadas (X; Y) donde se encuentra posicionado. Necesitamos algo que nos describa sus entradas y salidas.

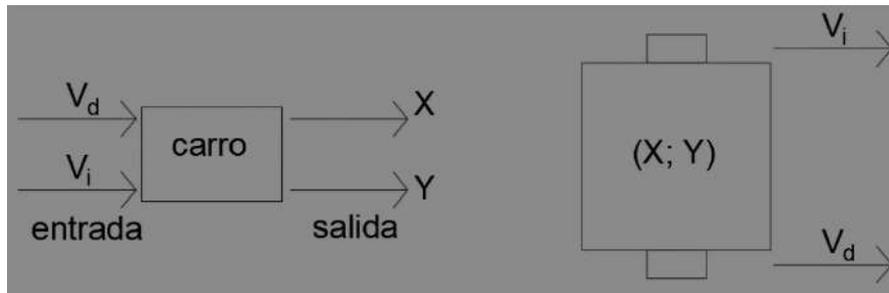


Figura 11: Esquema muestra velocidades entrada y salida.

Teniendo las velocidades vamos a poder relacionar entradas con salidas. Las ecuaciones matemáticas que relacionan las velocidades con las salidas (X; Y), las deduciremos utilizando las leyes de Newton
Conceptos básicos

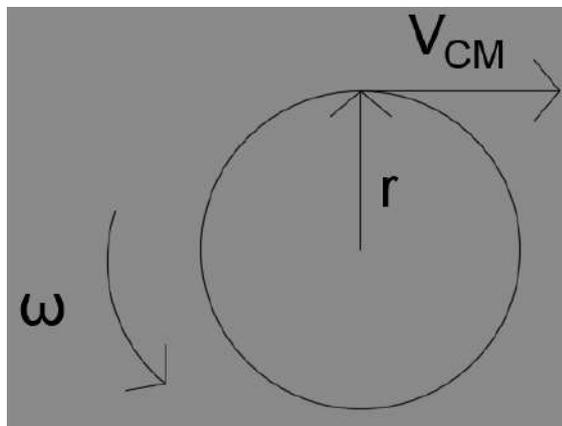


Figura 12: Velocidad angular.

Si la rueda tiene un radio r , con velocidad de giro ω (velocidad angular), que se desplaza a una V_{CM} (velocidad de centro de masa)

Hay una relación entre los tres parámetros:

$$V_{CM} = \omega * r \quad (1)$$

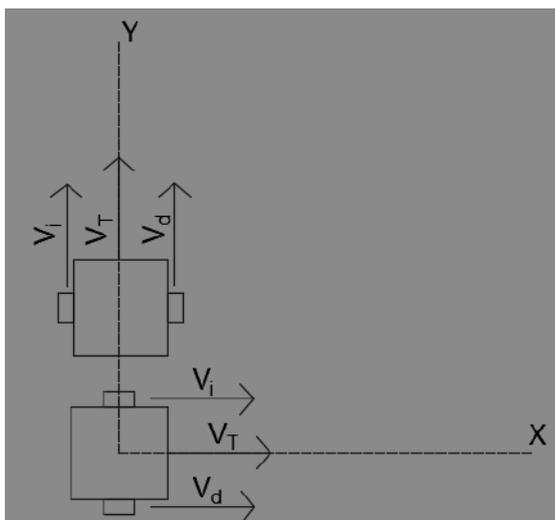


Figura 12: Esquema movimiento recto.

Tomemos el ejemplo de un carro moviéndose en un eje, la velocidad del centro de masa (V_{CM}) es el promedio entre:

$$V_T = \frac{V_I + V_D}{2} \quad (2)$$

Si el carro estuviera de manera vertical, nuestra V_T sería igual a la velocidad en el eje y (V_y), si en cada rueda tuviéramos las mismas velocidades.

La velocidad total sigue siendo el promedio de ambas velocidades, pero aún no sabemos cuánto valen V_x y V_y .

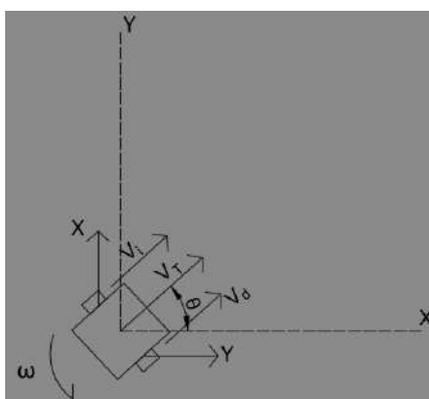


Figura 13: Esquema de giro de velocidades.

Tomemos el caso de la figura 12, donde V_d es mayor que V_i , conociendo el valor de θ y por el teorema de Pitágoras, podemos sacar los valores de V_x y V_y .

$$\begin{cases} V_x = V_T \cos \theta \rightarrow \left(\frac{V_I + V_D}{2} \right) \cos \theta \\ V_y = V_T \sin \theta \rightarrow \left(\frac{V_I + V_D}{2} \right) \sin \theta \end{cases} \quad (3)$$

Otro caso interesante es el cálculo de la velocidad de rotación del sistema. Debemos calcular ω , la velocidad a la que es capaz de dar la vuelta, mostrada en la figura 13.

La distancia "L", ósea la distancia entre llanta y llanta, va a ser fija, es decir la misma, no va a cambiar con el tiempo.

$$\begin{cases} V_I = \omega(B - L/2) \\ V_D = \omega(B + L/2) \end{cases} \quad (4)$$

Vamos a hacer las ecuaciones en función de ω , V_I , V_D y $L/2$, ya que B puede cambiar

$$\Rightarrow B = \frac{V_I + \omega L/2}{\omega} \rightarrow V_D = \omega \left(\frac{V_I + \omega L/2}{\omega} + L/2 \right) = V_I + \frac{\omega L}{2} + \frac{\omega L}{2} \quad (5)$$

$$V_D = V_I + \omega L \Rightarrow \omega = \frac{V_D - V_I}{L} \quad (6)$$

Con las ecuaciones (3) y (6) armamos un sistema de tres ecuaciones con 3 incógnitas.

$$\begin{cases} V_X = \frac{V_D + V_I}{2} \cos \theta \\ V_Y = \frac{V_D + V_I}{2} \sin \theta \\ \omega = \frac{V_D - V_I}{L} \end{cases} \quad (7)$$

Estas ecuaciones describen las componentes de la velocidad del centro de masa del carro en X, Y y ω en nuestro carro con respecto a las velocidades de las ruedas.

Nosotros queremos saber las velocidades instantáneas, es decir conocer posición y velocidad en cada instante de tiempo de las llantas del carrito.

El cambio de posición en estas variables nos da la velocidad. Reemplazando esto en nuestro sistema de ecuaciones:

$$\boxed{V_X = \dot{X} ; V_Y = \dot{Y} ; \omega = \dot{\theta}} \quad (8)$$

Reemplazando esto en nuestro sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} \dot{X} = \frac{V_D + V_I}{2} \cos \theta \\ \dot{Y} = \frac{V_D + V_I}{2} \sin \theta \\ \dot{\phi} = \frac{V_D - V_I}{L} \end{cases} \quad (9)$$

Este es nuestro modelo matemático. Integrando estas variables obtenemos la posición.

Vamos a usar un modelo simplificado del carro, que no tenga rueda derecha ni izquierda, solo velocidad angular ω y su velocidad lineal V . Las ecuaciones que describen este elemento son:

$$\begin{aligned} V_X = V \cos \theta &\rightarrow V_X = \frac{V_D + V_I}{2} \cos \theta \\ V_Y = V \sin \theta &\rightarrow V_Y = \frac{V_D + V_I}{2} \sin \theta \\ \omega = \dot{\phi} &\rightarrow \omega = \frac{V_D - V_I}{L} \end{aligned} \quad (10)$$

Por relación sabemos que: $V = \frac{V_D + V_I}{2} \rightarrow V_D = 2V - V_I$

$$\omega = \frac{V_D - V_I}{L} \rightarrow \omega L = 2V - V_I - V_I = 2V - 2V_I$$

$$\begin{cases} V_I = V - \frac{\omega L}{2} \\ V_D = V + \frac{\omega L}{2} \end{cases} \quad (11)$$

Velocidades de las ruedas derecha e izquierda en función de V y ω . Por ejemplo:

- Si $\omega=0$: se mueve en línea recta
- Si $\omega>0$: $V_D > V_I$ entonces la rueda derecha gira más rápido que la izquierda

Odometría

En esta sección vamos a calcular la posición del carro. Lo vamos a hacer mediante encoders, que por medio de sensores infrarrojos detecta si pasó por una ranura o no.

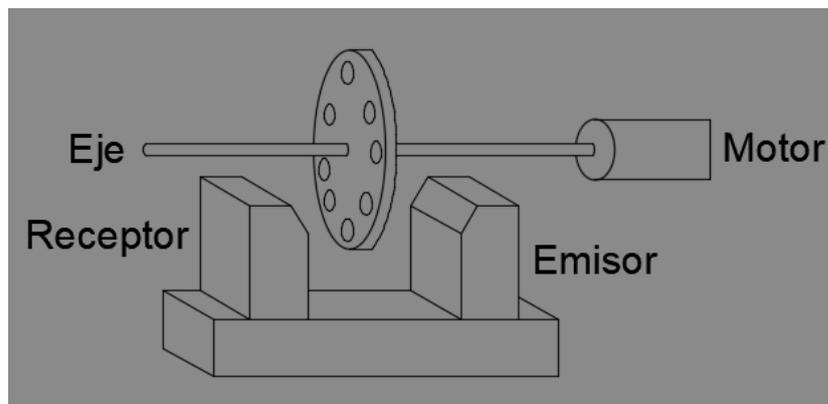


Figura 14: Esquema general.

$$\Delta tick = tick' - tick$$

Tick': las ranuras que pasó hasta la posición actual

Tick: tick que tenía en la posición anterior

$$D = 2\pi R \frac{\Delta tick}{N} \quad (14)$$

D: distancia que recorre

$2\pi R$: perímetro del círculo del encoder

$\Delta tick$: calculado anteriormente

N: número total de tick que tenga el encoder

Feedback

Ingresa una velocidad de avance V y una velocidad angular ω y sale la posición (X; Y) que yo quiero.

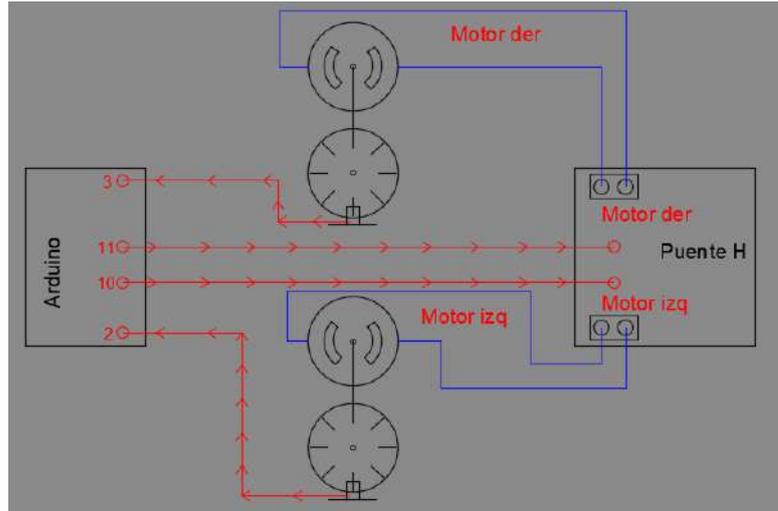


Figura 15: Esquema de controladores.

Debemos convertir cada tick en una posición (X; Y): vamos a pasar de tick a distancia y de ahí a la posición (X; Y).

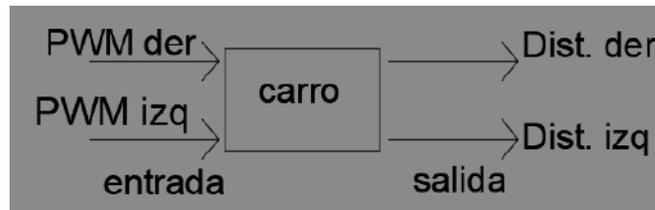


Figura 16: Esquema de representación de ingreso de señales.

PWM: señal modulada por el ancho de pulso (0-255 (máxima velocidad)).

Debe existir una relación entre la velocidad de las llantas y el PWM de cada uno, entonces V_D y V_I podemos convertirlo en la velocidad lineal y angular.

Velocidad de la rueda [3]

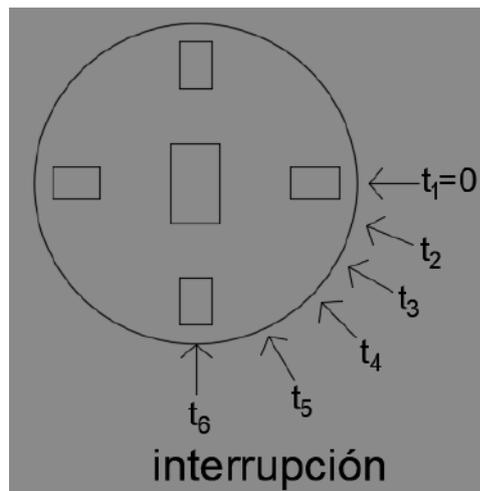


Figura 17: Velocidad en la rueda.

Los tiempos que medimos son los que están entre tick y tick (mAIR) y se van a desarrollar en el loop hasta que llegue la interrupción, cuando llegue ahí (t_6) pasa a desarrollarse en el encoder de la rueda derecha y se hace la diferencia.

$$\Delta MIR = t_6 - t_1$$

A partir de acá reinicio el conteo y mi tiempo de mAnID va a ser t_6 , o sea el último tiempo que tome cuando llego a la interrupción y así sucesivamente.

En este caso simple de 4 tick la separación entre cada uno es de 90° , entonces para calcular la velocidad

angular ω .

$$\omega = \frac{90^\circ}{AMID} = \frac{\pi/2}{AMID} \quad (15)$$

Para la velocidad lineal a la que se desplaza la rueda:

$$V = \omega * R$$
$$\omega = \frac{2\pi/N}{\Delta MID} \rightarrow \frac{1}{\Delta MID} = \text{frecuencia} \quad (16)$$

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo y construcción del vehículo se fueron realizando cambios y modificaciones con respecto al modelo que se detallaba en la referencia [1], comprendiendo la importancia que se debe dar a toda la etapa de investigación, diseño y cálculo a la hora de pensar un prototipo.

El prototipo de vehículo se encuentra construido y en funcionamiento, disponible para realizar futuras modificaciones cuando se quiera realizar el “tren” de vehículos.

Relación del proyecto con la carrera

En el desarrollo de este prototipo se aplicaron conocimientos adquiridos en diferentes materias, cursadas a lo largo de toda la carrera.

A continuación, se mencionan a las materias involucradas:

- Sistemas de representación
- Fundamentos de informática
- CAD-CAM
- Diseño Mecánico
- Tecnologías de Fabricación
- Mecánica de Materiales Granulares

BIBLIOGRAFÍA

[1] Kubandt F., Nowak M., Koglin T., Gros C., Sándor B. “Embodied robots driven by self-organized environmental feedback”, *Adaptive Behavior*, 27, 5, 285–294, (2019).

[2] Corona Ramírez L. G., Abarca Jiménez G. S. y Mares Carreño J. “Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino”, Editorial Patria, (2014).

[3] https://www.youtube.com/playlist?list=PLIjv_3SD9kXBv5ecDxioEtX-lu5HPcyhS

Mascara Plástica por Inyección

Augé Pedro ^{1,2}

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional.

² Industria del Plástico y Metalúrgica Albano Cozzuol S.A.

Resumen

El trabajo consiste en el desarrollo de un proyecto de diseño, desarrollo, fabricación y puesta en serie de una mascarilla plástica por inyección. Esta mascarilla será diseñada a fin de brindar una barrera protectora a raíz de la pandemia Covid-19.

Se desarrollará bajo diseño asistido por computadora por métodos CAD, donde además se llevarán a cabo los cálculos relacionados con el llenado del molde.

Introducción

Luego del brote de Covid-19 a finales del año 2019 y su crecimiento y propagación hasta convertirse en pandemia en el año 2020 se han buscado muchas maneras de ponerle un freno al virus. La mascarilla (siempre utilizándola junto al barbijo) es útil para evitar contagios, por consiguiente, cuidar a la población y evitar la saturación del sistema de salud.

Para evitar el contagio de esta enfermedad es preciso el distanciamiento y el uso de elementos de protección personal tales como mascarillas y barbijos. Estos elementos no abundan en el mercado actual, las mascarillas escasean, por lo que se planteó un proyecto de diseño desarrollo fabricación y puesta en serie de una mascarilla plástica por inyección.

Esta mascarilla podría ser de utilidad también para lugares de trabajo donde se precise protección contra el polvo y/o salpicaduras de elementos agresivos.

El proyecto se desarrollará en las siguientes etapas (Fig. 1):

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diseño Preliminar	■	■							
Oficina técnica y compras	■								
Diseño de Puestos		■	■						
Cotización		■							
Desarrollos dispositivos				■	■				
Prototipo 3D		■	■			■			
Evaluación económica				■	■				
Desarrollo de proyecto de molde						■	■		
Ejecución							■	■	
Primeras pruebas									■

Fig. 1: Planning

Diseño Preliminar

Antes que nada, se llevó un análisis de los productos existentes en el mercado para detectar posibles pros y contras de los diferentes modelos existentes y además se enumeraron las características esenciales que nuestra mascara debía tener.

Este análisis dejó en claro varias consideraciones a tener en cuenta en nuestro diseño:

- El diseño debe tener ventilaciones para evitar la condensación en el visor.
- El visor debe estar lo suficientemente alejado para no empañarse y no incomodar, además debe admitir la posibilidad de la utilización de anteojos.

- Debe optimizarse el peso ya que tiene que ser utilizada en extensas jornadas.
- La correa para su sujeción debe ser de tela elástica por comodidad y ligereza.
- Debe estar cerrada en la parte superior para mayor seguridad.
- La placa plástica transparente debe ser intercambiable y conformada por troquelado.
- Resistente al NaClO (hipoclorito de sodio) / Alcohol isopropílico y etílico.
- Impermeable y químicamente estable.

Primer Prototipo

Luego de llevar un análisis de productos existentes y de establecer los puntos importantes del diseño se diseñó en 3D el primer prototipo y luego se imprime en 3D:

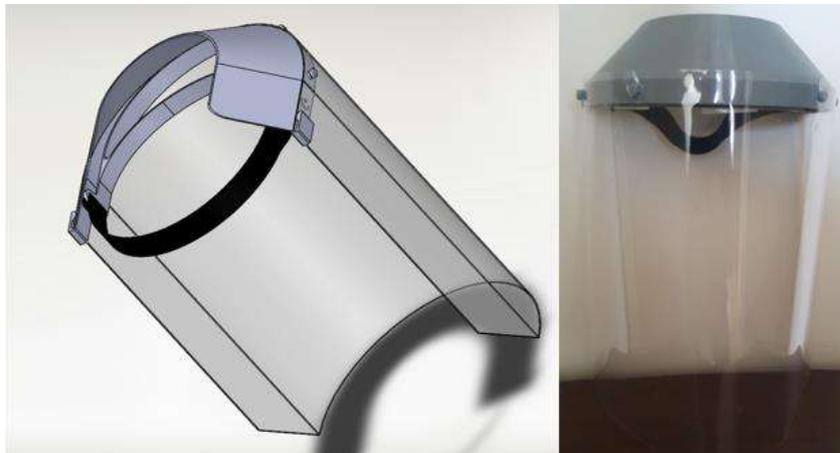


Fig. 2: (a) Render / (b) Prototipo impreso

Luego de analizar el modelo, se llegó a la conclusión que si bien cumple con su función aún puede mejorarse en varios aspectos:

- El espesor de la lámina PET es muy bajo (200 micrones) y por eso se deforma con facilidad y no es cómoda. Se buscará elevar el espesor a 600 micrones.
- El largo de la placa PET es demasiado.
- Las esquinas en ángulo de la placa PET son incómodas.
- La fijación del elástico no es práctica y no permite ajuste.
- El espacio para la ventilación no es el adecuado.

Segundo Prototipo

Se rediseñó la fijación de la placa PET y la del elástico. Se eliminaron los ángulos en la placa PET y se modificó su largo. Se modificó el espacio para la ventilación.

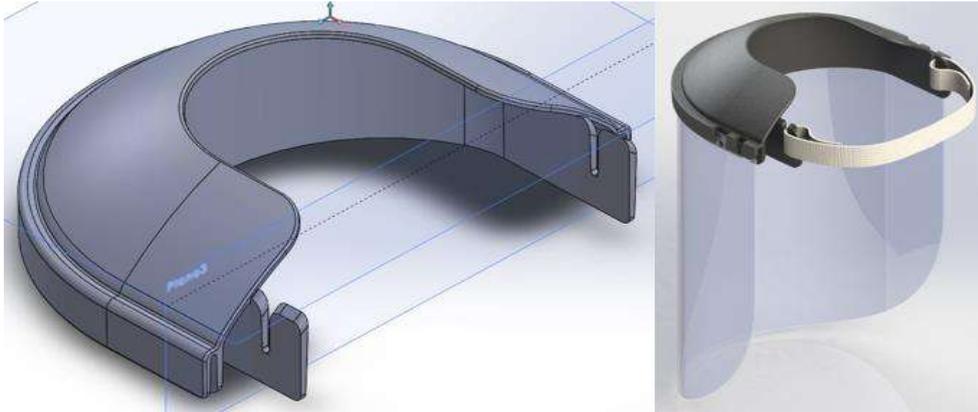


Fig. 3: Prototipo 2

- La fijación del elástico sigue sin ser la óptima, el regule sigue siendo dificultoso y además permite que el elástico se salga.

v) La nueva fijación de la placa no es de fácil acceso ni recambio.

vi) El largo de la placa PET sigue siendo excesivo

Tercer Prototipo y Diseño Definitivo

Se volvió al primer diseño de fijación de la placa PET esta vez con 5 pines, se consiguió una mejor respiración de la máscara, la fijación del elástico se optimizó permitiendo un buen regule.

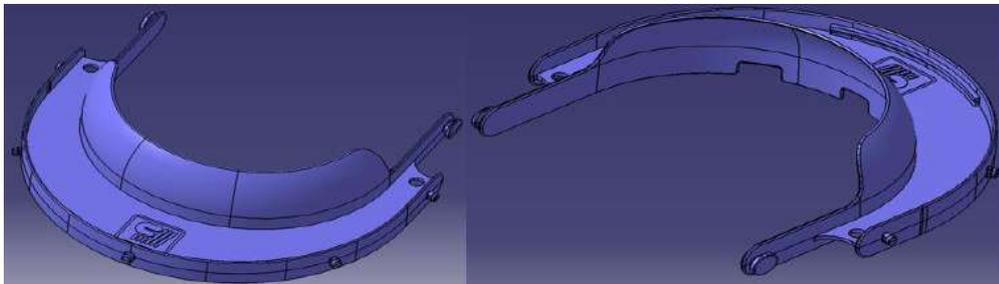


Fig.4: Prototipo 3

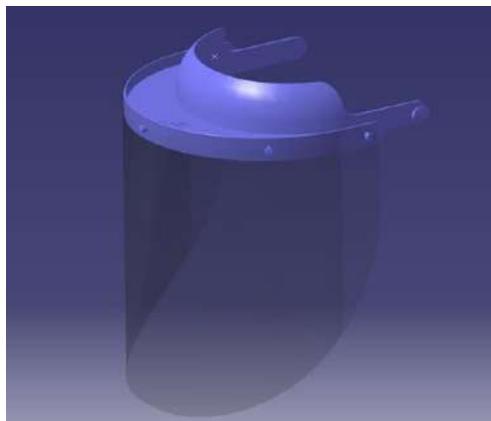


Fig. 5: Diseño definitivo

Determinación de línea de cierre

En el lugar donde se juntan las dos partes del molde generan en la pieza una marca que dependiendo de la precisión del cierre será mayor o menor y pudiendo hasta aparecer rebabas en las peores condiciones. Para determinar la línea de cierre se debe tener en cuenta:

- La geometría de la pieza y los ángulos de desmolde (evitar cierres verticales entre metales).

I) Evitar movimientos de molde.

II) La línea de separación no debe ser obstáculo para expulsar la pieza.

En la imagen a continuación se puede ver un estimado de la línea de cierre a realizarse en el molde que cumple con las características fundamentales para poder realizarse.

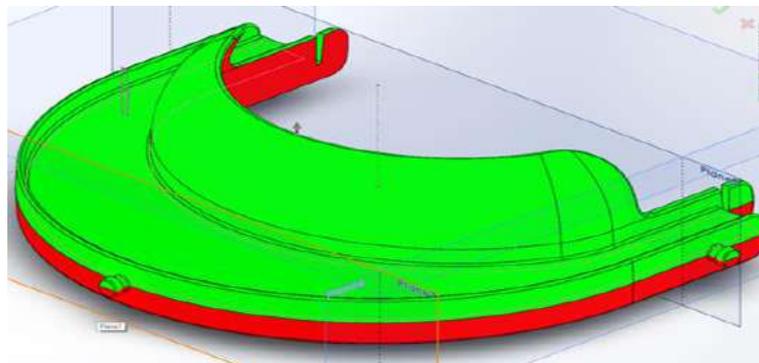


Fig. 6: Línea de Cierre

Unidad de cierre

La máquina inyectora ejerce una fuerza hidráulica contra las paredes del molde para evitar que este se abra con la presión del plástico, es decir, que contrarresta la presión interna del molde. Las fuerzas perpendiculares a su eje de apertura son contrarrestadas con la resistencia mecánica propia de las paredes del molde, es decir solo precisamos conocer la superficie proyectada de la pieza y la presión de llenado para determinar la fuerza de cierre necesaria.

$$F = P_m \times A_p$$

F = fuerza de cierre

P_m = Presión Media

A_p = Área proyectada

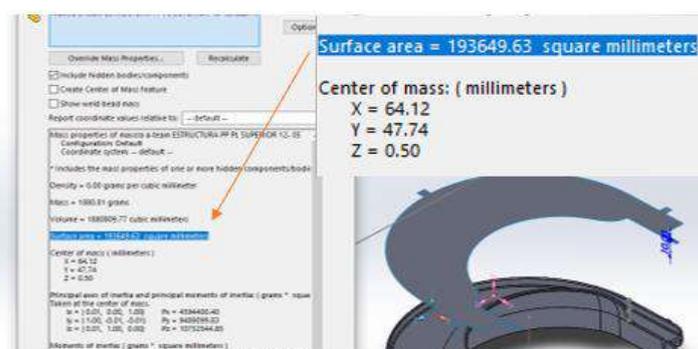


Fig. 7: Área proyectada

Proyectamos el área de la pieza la cual nos da como resultado 193649.6 milímetros cuadrados.

Al tratarse de un cálculo rápido para estimar que maquina inyectora se utilizara, la presión por milímetro cuadrado correspondiente al PP (polipropileno) puede estimarse como 0.00233 ton/mm².

$$F = 0.000233 \frac{\text{ton}}{\text{mm}^2} \times 193649.6 \text{mm}^2 = 45.12 \text{tn}$$

O si quisiéramos inyectar dos mascararas por inyección el valor sería de:

$$F = 0.00233 \frac{\text{ton}}{\text{mm}^2} \times 2 \times 193649.6 \text{mm}^2 = 90.24 \text{tn}$$

Volumen de la máscara

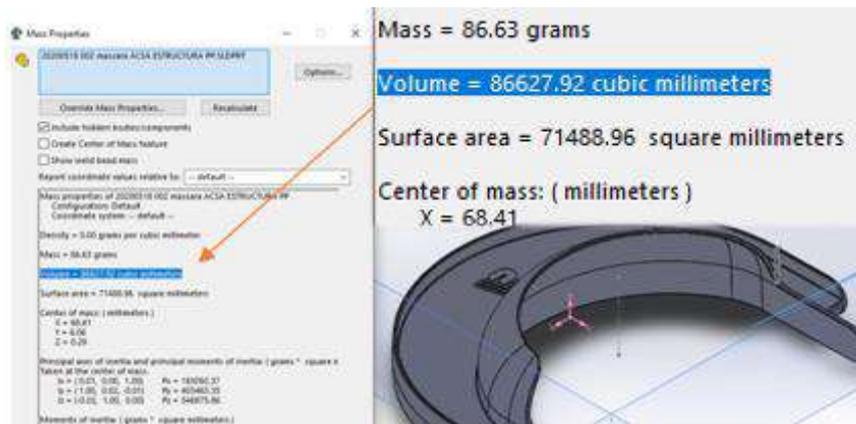


Fig. 8: Volumen de la pieza

El volumen de la pieza es igual a 86627.92 milímetros cúbicos.

Selección de la maquina inyectora

La máquina inyectora debe poseer una fuerza de cierre máxima de al menos 20% más que la fuerza de cierre requerida por calculo. Otro factor importante a la hora de la selección es tener en cuenta la capacidad de inyección de la máquina dependiendo del volumen de la pieza, la recomendación en este caso es que la maquina trabaje entre un 20% y 80% de su capacidad.

No hay que olvidarse que, a pesar de cumplir los requisitos para inyectar la pieza, la maquina debe tener las dimensiones suficientes para el respectivo molde, es decir que la separación entre columnas y su carrera debe ser suficiente para poder colocar el molde y a su vez permitir su apertura para poder expulsar la pieza.

Tampoco podemos poner un molde excesivamente pequeño para la maquina ya que este puede generar una deformación en la placa base de la inyectora.

Por lo tanto, nuestra maquina inyectora debe para poder inyectar la pieza poseer mínimo:

Para una pieza por inyección:

- Tener una fuerza de cierre de al menos 45.12 Tn + 20% es decir 54.14 Tn

a) Una capacidad de inyección de al menos 87 centímetros cúbicos

Para dos piezas por inyección:

- Tener una fuerza de cierre de al menos 90.24 Tn + 20% es decir 108.28 Tn

(A) Una capacidad de inyección de al menos 174 centímetros cúbicos

La distancia entre columnas aún no está definida.

Maquinas disponibles en ACSA

Maquinas en ACSA	UNIDAD	1	2
		GAWER 70 TN	ENGEL 80 Tn
PUENTE GRUA.		Forvis 5Tn	Forvis 5Tn
UNIDAD DE CIERRE			
FUERZA DE CIERRE MAXIMA	KN	700	800
FUERZA DE APERTURA DE MOLDE	KN		
DIMENSION EXTERIOR DE LOS PLATOS HORIZONTAL " A "	mm	500	570
DIMENSION EXTERIOR DE LOS PLATOS VERTICAL " B "	mm	560	552
DISTANCIA ENTRE COLUMNAS HORIZONTAL " C "	mm	332	405
DISTANCIA ENTRE COLUMNAS VERTICAL " D "	mm	332	345
PESO MAXIMO DEL MOLDE	Kg		
RECORRIDO DE APERTURA DEL PLATO MOVIL " G ", " G1 ", " G2 ", " G3 "	mm	350	310
ALTURA DE MOLDES MINIMA " E ", " E1 ", " E2 ", " E3 "	mm	200	150
ALTURA DE MOLDES MAXIMA " F ", " F1 ", " F2 ", " F3 "	mm	350	430
DISTANCIA MAXIMA ENTRE PLATOS " H ", " H1 ", " H2 ", " H3 "	mm	700	740
MINIMA SUP. DEL MOLDE H * V * SOBRE PLATO DE MAQUINA	mm	166 x 166	202 x 172
CARRERA EXPULSORA	mm	120	100
FUERZA DE EXPULSORA HACIA ADELANTE/ATRÁS	KN	30	25,4
DIAMETRO DE LAS COLUMNAS	mm	58	60
DIAMETRO DEL ARO CENTRANTE PF	mm	100	125
DIAMETRO DE PICO (promedio)	mm	2 a 5	2 a 5
GRUPO DE INYECCION			
DIAMETRO DEL TORNILLO	mm	36	35
RELACION L/D	L/D	22	
MAXIMA PRESION ESPECIFICA SOBRE EL MATERIAL	Kg/cm2 (bar)	2000	2200 - 1600
MAXIMA PRESION DE LINEA	Kg/cm/2	120	160
VOLUMEN MAXIMO DE INYECCION	cm/3	100	154
PESO MAXIMO EN POLIESTIRENO	g.	91	140
PESO MAXIMO EN POLIETILENO	g.	72	111
VELOCIDAD DE INYECCION	cm3/seg.		106
VELOCIDAD DE ROTACION DEL TORNILLO	r.p.m. (L/min)	570	20-400
CARRERA MAXIMA DE CARGA	mm	98	160
N° NOMINAL DE REVOLUCIONES DE HUSILLO (PS)	g/s		
N° NOMINAL DE REVOLUCIONES DE HUSILLO (PE)	g/s		
VALVULA SHUTT OFF			
SIMULTANEIDAD DE MOVIMIENTO DE CARGA CON APERTURA DE MOLDE		NO	NO

Fig. 9: GRAWER 70 TN; ENGEL 80 TN

Se busca entre todas las maquinas inyectoras disponibles la más adecuada para la máscara, si se inyectara una pieza por inyección las maquinas posibles serian:

GRAWER 70:

La fuerza de cierre de esta máquina es de 70 Tn. lo que es suficiente para pieza.

El volumen de máximo de inyección es de 100 cm³ y volumen de la pieza 87 cm³ es decir que estará trabajando a un 87% de su capacidad, esto la descarte en un principio ya que estaría trabajando fuera del umbral recomendado.

ENGUEL 80:

La fuerza de cierre de esta máquina es de 70 Tn. lo que es suficiente para pieza.

El volumen de máximo de inyección es de 154 cm³ y volumen de la pieza 87 cm³ es decir que estará trabajando a un 56% de su capacidad, esto es adecuado para la máscara.

En cuanto a las dimensiones, la carrera de expulsión de la inyectora es de 100 milímetros y la altura de nuestra pieza 50 milímetros. Si bien puede la pieza expulsarse del molde no será algo cómodo por lo que podría traer complicaciones, esto nos sugiere seguir con la siguiente opción.

Maquinas en ACSA			3	4
	UNIDAD		ENGEL150 (1) Tn	ENGEL150 (2) Tn
PUENTE GRUA.			Tega 10 Tn	Tega 10 Tn
UNIDAD DE CIERRE				
FUERZA DE CIERRE MAXIMA	KN		1500	1500
FUERZA DE APERTURA DE MOLDE	KN			
DIMENSION EXTERIOR DE LOS PLATOS HORIZONTAL " A "	mm		700	750
DIMENSION EXTERIOR DE LOS PLATOS VERTICAL " B "	mm		700	520
DISTANCIA ENTRE COLUMNAS HORIZONTAL " C "	mm		510	N/A
DISTANCIA ENTRE COLUMNAS VERTICAL " D "	mm		510	N/A
PESO MAXIMO DEL MOLDE	Kg			
RECORRIDO DE APERTURA DEL PLATO MOVIL " G ", " G1 ", " G2 ", " G3 "	mm		460	600
ALTURA DE MOLDES MINIMA " E ", " E1 ", " E2 ", " E3 "	mm		150	300
ALTURA DE MOLDES MAXIMA " F ", " F1 ", " F2 ", " F3 "	mm		460	N/A
DISTANCIA MAXIMA ENTRE PLATOS " H ", " H1 ", " H2 ", " H3 "	mm		920	900
MINIMA SUP. DEL MOLDE H * V * SOBRE PLATO DE MAQUINA	mm		255 x 255	375 x 260
CARRERA EXPULSORA	mm		150	150
FUERZA DE EXPULSORA HACIA ADELANTE/ATRÁS	KN		61	61
DIAMETRO DE LAS COLUMNAS	mm		85	sin columna
DIAMETRO DEL ARO CENTRANTE PF	mm		125	150
DIAMETRO DE PICO (promedio)	mm		2 a 6	2 a 6
GRUPO DE INYECCION			ES 700/150	1050
DIAMETRO DEL TORNILLO	mm		45	55
RELACION L/D	L/D			
MAXIMA PRESION ESPECIFICA SOBRE EL MATERIAL	Kg/cm2 (bar)		1700 - 2100	1616
MAXIMA PRESION DE LINEA	Kg/cm/2		160	160
VOLUMEN MAXIMO DE INYECCION	cm ³		318	511
PESO MAXIMO EN POLIESTIRENO	g.		287	465
PESO MAXIMO EN POLIETILENO	g.		229	368
VELOCIDAD DE INYECCION	cm ³ /seg.		178 g/s	
VELOCIDAD DE ROTACION DEL TORNILLO	r.p.m. (L/min)		5-240	
CARRERA MAXIMA DE CARGA	mm		200	210
N° NOMINAL DE REVOLUCIONES DE HUSILLO (PS)	g/s			
N° NOMINAL DE REVOLUCIONES DE HUSILLO (PE)	g/s			

Fig. 10: ENGEL (1) 150; ENGUEL 150 (2) TN

En la figura 10 se encuentran descritas dos máquinas ENGUEL 150 que son más indicada a la hora de inyectar 2 mascarás a la vez por lo que probaremos esta alternativa:

ENGEL (2) 150:

La fuerza de cierre es de 150 Tn. lo cual satisface las 108 Tn. Requeridas.

El volumen máximo de inyección es de 318 cm³ y el volumen de las piezas de 174 cm³, en este caso la inyectora estará trabajando a un 54% de su capacidad lo que es un buen desempeño.

En cuanto a las dimensiones, la carrera de expulsión de la inyectora es de 150 milímetros y la altura de nuestras piezas 50 milímetros lo que es suficiente para su correcta expulsión.

Por último, veremos las dimensiones entre columnas para poder colocar el molde:

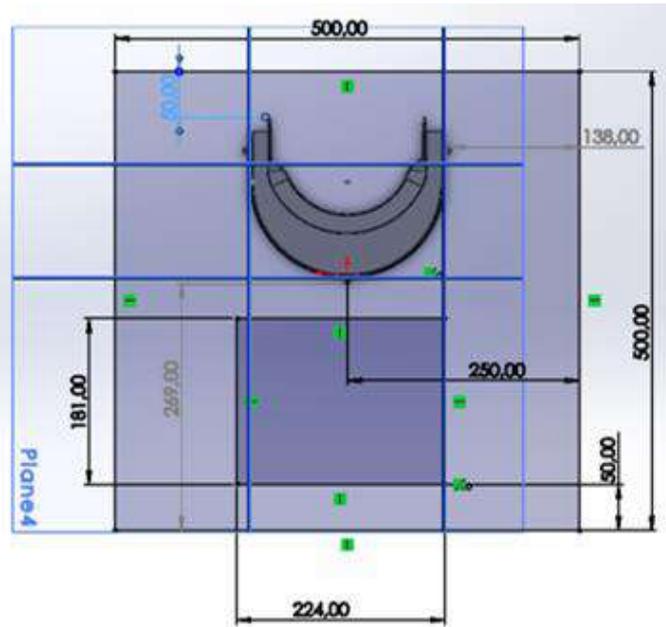


Fig. 11: Espacio entre columnas Engel (1) 150

La distancia horizontal y vertical entre columnas es de 510 mm, dejaremos una huelgue de 10 mm para facilitar la instalación del molde, generando una vista en planta (Fig. 11) de la posible disposición de las máscaras en el molde podemos observar que tenemos suficiente espacio para el molde. Con esto podemos decir que esta máquina es la más indicada para la inyección de nuestras piezas. **ENGEL (2) 150:**

Esta máquina posee a diferencia de la anterior un mayor volumen de inyección, 511 mm³ esto hace que la máquina esté funcionando a un 34% de su capacidad, esto si bien es adecuado está más cerca del límite de lo recomendado.

Reología, Moldex 3D

Antes de hacer el maquinado del molde con el fin de evitar errores que puedan llevar problemas en la pieza se corre una simulación reológica de este.

Primero se ubican las piezas de manera estratégica para optimizar lo mas posible el espacio, posteriormente se ubican las coladas de manera de que estas estén equilibradas, con el fin de que las cavidades se llenen de igual manera (Fig.12).

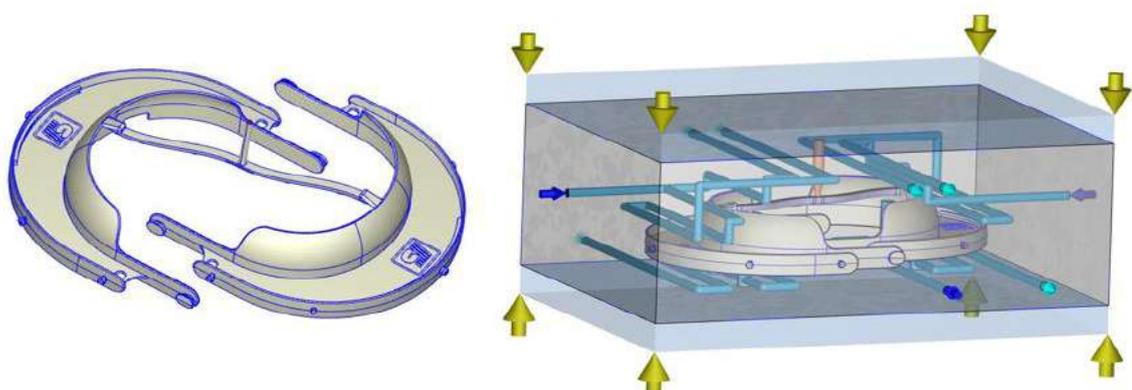


Fig. 12: Molde para reología

Una vez ubicadas las piezas con sus coladas, se generan los conductos de refrigeración y se ubican dentro del molde en bruto, y se definen los parámetros de inyección junto al material.

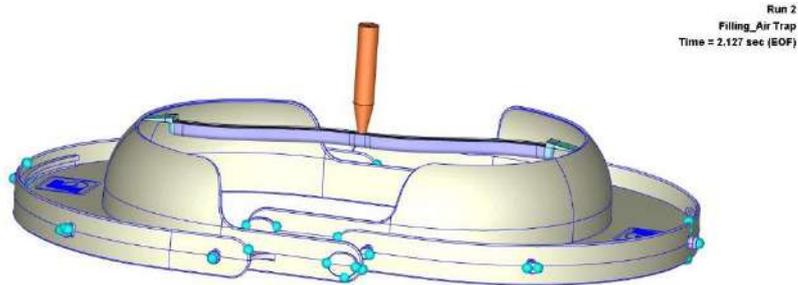


Fig. 13: Aire atrapado

Al correr la simulación podremos observar diferentes tipos de resultado. En este caso corrimos una simulación de un ciclo de llenado, empaquetado, enfriamiento y deformación.

El primer resultado que veremos (Fig. 13) no indica los lugares donde al inyectar el material va a haber tendencia de quedar aire encerrado en el molde, esto nos dará idea de donde se ubicaran los alivios de molde.

```
>>> Parallel computation: Post-processing...

<Part_Shrinkage_Ratio>
  Part Shrinkage Ratio X = 1.02%
  Part Shrinkage Ratio Y = 1.21%
  Part Shrinkage Ratio Z = 1.39%
</Part_Shrinkage_Ratio>
```

Fig .14: Contracción

Otro resultado importante es la contracción que sufrirá la pieza, esto nos servirá ya que deberemos escalar la pieza estos porcentajes a la hora de generar el molde para que nuestra pieza al contraer tenga las dimensiones adecuadas.

```
<Summary>
Total Number of Part Element      = 495067
Total Number of Moldbase Element  = 1074720
Total CPU Time                    = 173.1 sec
Cooling Time Required             = 38.7 sec
</Summary>
```

Fig. 15: Enfriamiento

El resultado correspondiente al tiempo de enfriamiento nos dará el tiempo en que la pieza se encuentre enteramente a temperatura de expulsión (Fig. 15).

En la simulación también podremos observar la densidad en cada parte de nuestra pieza, esto nos dejara ver que tan homogénea esta quedara (Fig. 16).

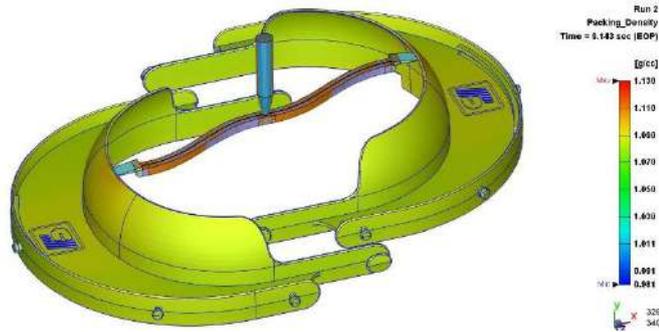


Fig. 16: Densidad

El log de empaquetado nos definirá en que tiempo se enfriará la colada (Fig. 17), esto nos dirá la duración óptima para el empaquetado ya que luego de esto no es efectivo continuar con esta parte del ciclo.

```
<Prediction of Gate-Freeze Time>
  Freeze Time of Gate #1      = 7.007 sec
  Freeze Time of Gate #2      = 7.007 sec

  Total Part Weight Deviation = 0.0830889 %/sec
</Prediction of Gate-Freeze Time>
```

Fig. 17: Log empaquetado

El log de llenado no dirá, la fuerza de cierre requerida, la masa final de cada pieza y el tiempo de llenado requerido.

```
<Summary>
CPU Time for Fill Analysis = 1449.0 sec
Mold-Opening Direction    = Y-axis
Clamping Force at EOF     = 74.7 Ton

Part Weight of Cavity #1  = 75.472 g
Part Weight of Cavity #2  = 75.494 g
Cavity #1 full filled at time = 2.12756 sec
Cavity #2 full filled at time = 2.12756 sec

Total Weight(Cold runner + Parts) = 158.995 g

Volume filled from Gate #1-1 = 75.25 cc, ( 49.84%)
Volume filled from Gate #2-1 = 75.74 cc, ( 50.16%)
```

Fig. 18: Log Llenado

También se puede obtener el rechupe (Fig. 19) para ver si nuestra pieza tendrá una mala terminación o fallas, podemos ver que solo habrá un rechupe de una décima de milímetro en el lugar más desfavorable y en este caso es algo aceptable.



Fig. 19: Rechupe

El esfuerzo cortante en la inyección (Fig. 20) también se puede ver. En el PP la máxima admisible es de 2.5 Mpa. En nuestra simulación es de 1.5, es admisible.

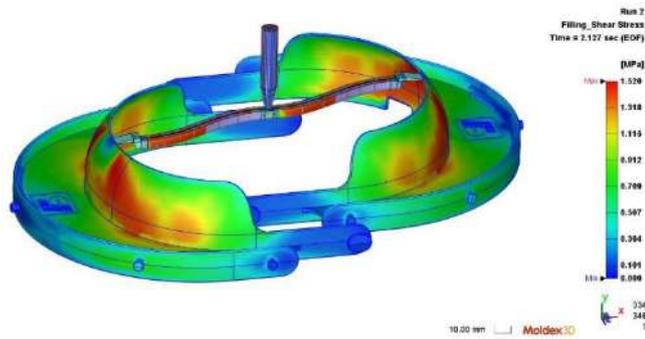


Fig. 20 Esfuerzo de corte

Conclusión

Una vez concluido el análisis de nuestra pieza, selección de maquinaria, molde y verificando todo esto bajo una simulación reológica por elementos finitos. Podemos definir nuestro molde (Fig. 21). Además, quedan como parámetros de inyección establecidos los siguientes:

- Fuerza de cierre de 74 Tn + 20% es decir 89 Toneladas
- a) Tiempo de llenado 2.13 segundos.
 - b) Tiempo de Empaquetado 7 segundos.
 - c) Tiempo de enfriamiento 16 segundos.
 - d) Tiempo optimo total del ciclo 26 segundos.
 - e) Masa del PP por ciclo 150.96 gramos.

Con este análisis y detalle nos aseguramos de no cometer errores en la fabricación del molde, algo esencial ya que es un elemento de muy alto costo y un error en este conllevaría a pérdidas enormes.

Bibliografía

La bibliografía consultada para realizar este trabajo es de carácter confidencial y la empresa no permite su divulgación.

Cálculo y diseño de soldadora circunferencial

Correa Chirino Raiquen

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad
Tecnológica Nacional

RESUMEN

En el siguiente trabajo, se explicará cómo es el proceso para calcular y diseñar una soldadora circunferencial, donde se aclarará todos los criterios aplicados a la hora de diseñar/seleccionar cada uno de sus componentes.

Al ser una máquina que, luego de su cálculo y diseño, fue fabricada, la selección y diseño de todos sus componentes, va de la mano con su disponibilidad en el mercado o del stock de la empresa, como así también del costo de estos, persiguiendo siempre el máximo aprovechamiento de los recursos, además del presupuesto impuesto por la empresa.

INTRODUCCIÓN

El proyecto nace de la necesidad de una empresa local, dedicada a la criopreservación, que fabrica dewars. Debido a los altos estándares de calidad requeridos, y ante la necesidad de disminuir al máximo posible el error humano en la soldadura y además acortar los tiempos de fabricación se recurre al diseño de una soldadora circunferencial para la fabricación de estos.

Por lo tanto, se busca diseñar una máquina capaz de soldar los casquetes de un dewar a su respectivo cilindro, siendo capaz de adaptarse a diferentes diámetros y largos de este, como así también a diferentes espesores de pared y tipo de material, variando los parámetros de fabricación según se requiera.

La máquina también permitiría la fabricación de objetos más simples que un dewar, donde el recipiente ya no posee una doble pared, como, por ejemplo, garrafas de GLP, tanques fermentadores para la producción de cerveza y otros diversos recipientes, cuya utilización va en aumento y su fabricación automatizada acompaña dicho crecimiento.

DESARROLLO

Para iniciar el proyecto, se consulta a la empresa cuales son las cualidades requeridas de la máquina, de la cual se establece que se busca soldar con método TIG, tanques con un largo máximo de 1700 mm, de un diámetro de 1000 mm, y un peso estimado máximo de 380 kg.

Además, se requiere una máquina que esté formada diferentes módulos desarmables, para que luego de su fabricación sea fácil su transporte.

Para el diseño de los componentes se utiliza el software "SolidWorks" el cual además de poder diseñar la pieza, tiene herramientas de elementos finitos, donde podemos realizar simulaciones, donde solicitamos a las piezas con una determinada carga, lo cual nos permite verificar si el dimensionamiento cumple con lo requerido.

El diseño de la máquina se dividirá en módulos, teniendo:

-Módulo 1: Base: Patas y bancadas

-Módulo 2: Husillos: Husillo fijo y husillo móvil

-Módulo 3: Componentes mecánicos: Ejes, platos, acople eje – plato, rodamientos, alojamiento rodamientos, engranajes, motor, soporte dewar.

-Módulo 4: Guía de soldadura para los componentes de la máquina.

Módulo 1: Base:

La base de la máquina se desarrolla en las patas de la máquina y la bancada.

Patatas:

La máquina será sostenida por tres pares de patas, construidas con caño estructural cuadrado, debido a su facilidad para soldar, realizar agujeros y gran solidez estructural. En base a catálogos y disponibilidad de distribuidores, se visualiza las medidas existentes y se selecciona el lado y el espesor de este. Se estima que el peso total que deberán soportar las patas será de aproximadamente 600 kg, repartido en tres patas.

Se procede a realizar el diseño de las patas que estarán ubicadas en los extremos de la máquina (figura 1-a), utilizando un caño estructural (SAE 1010) de 100x100x3,2 mm para las torres verticales de las patas y uno de 120x120x3,2 mm para la torre horizontal de las mismas. Además, para agregar solidez estructural al arco, se utilizan dos nervios de refuerzo de 120x300x4,76 mm. La estructura será unida a través de un cordón soldadura eléctrica como muestra la figura 1b.

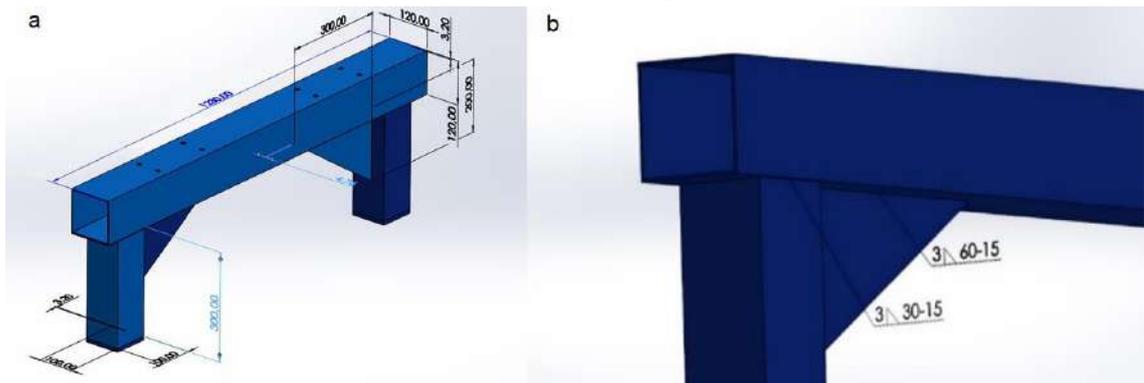


Figura 1. a) Dimensiones de las patas extremas. b) Ubicación y características del cordón de soldadura

Luego se procede de igual manera con la pata que se ubica entre medio de las dos extremas, siendo más angosta que sus pares, para que el operario no se obstaculice con esta, a la hora de maniobrar los dewars. Se utilizan los mismos caños estructurales cuadrados para las torres verticales y horizontales de la pata media y su unión por soldadura también es la misma (figura 2).

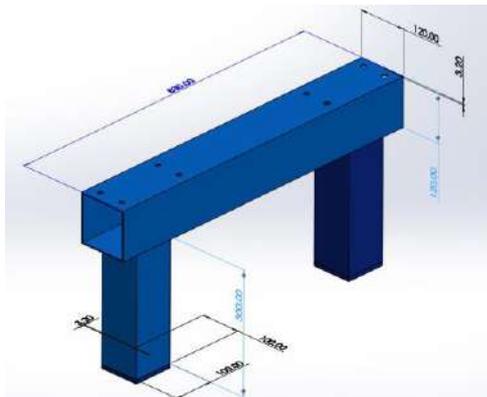


Figura 2. Dimensiones de la pata media.

Bancadas: En el caso de las bancadas, se decide utilizar el mismo caño estructural cuadrado de acero SAE 1010 que, para las torres horizontales de las patas, siendo estas de 120x120x3,2 mm con un largo de

3300 mm. Cabe aclarar que el criterio adoptado para la selección del tamaño de los caños estructurales, no busca encontrar el menor tamaño de bancadas el cual soporte la carga de diseño estipulada, se debe tener en cuenta, que pequeñas vibraciones en la máquina, influyen notablemente en la soldadura, entonces, lo que podría verse como un sobredimensionamiento del caño estructural, en vistas al ínfimo desplazamiento del caño que se obtendrá, en realidad es un requerimiento especificado por la empresa, para garantizar la precisión de la máquina.

Luego, sobre estas bancadas, se ubicarán las bancadas de deslizamiento del husillo móvil, las cuales serán de fundición gris, debido a su alto grado de resistencia al desgaste. Su forma será rectangular de 60 x 20 mm, debido a que con un molde de telgopor/madera ya basta para su correcta fabricación en fundición y un largo de 2100 mm (figura 3). Cabe aclarar que hay que tener en cuenta que el molde de la bancada de fundición debe ser unos milímetros más grandes que la pieza terminada, debido a la contracción de solidificación, la cual es de alrededor del 1%.



Figura 3. Dimensiones y disposición de bancadas (izq.) y bancadas de deslizamiento (der.).

Módulo 2: Husillos

Husillo fijo: En el husillo fijo se ubicará el motor y engranajes, uno de los platos, con su respectivo eje, y además contará con el espacio para apoyar una computadora que controlará la máquina. Para su construcción se utilizan caños cuadrados estructurales de 100x100x3,2 mm y 500 mm de largo. Cabe aclarar que el largo de las torres de caño estructural definirá el diámetro máximo de dewar que se podrá soldar. Dichas torres se unirán a las bancadas por medio de unas planchuelas de 140x210 x9.53 mm las cuales poseerán 4 agujeros pasantes cada una de 13 mm, uniéndolas por medio de tornillos M12x1,75 de 25 mm de largo (figura 4). Cabe aclarar que las torres y las planchuelas están unidas con un cordón de soldadura, con las características que se especifica en la guía (instructivo) de soldadura de la máquina (piezas a unir menos de 140mm de lado) (para agilizar el documento y hacerlo menos extenso, se realizara un texto indicativo donde se explicará cómo realizar el cordón de soldadura para unir cada pieza, con la cantidad de cordones a realizar, separación entre ellos, y otros factores; dependiendo del largo de las caras a unir).

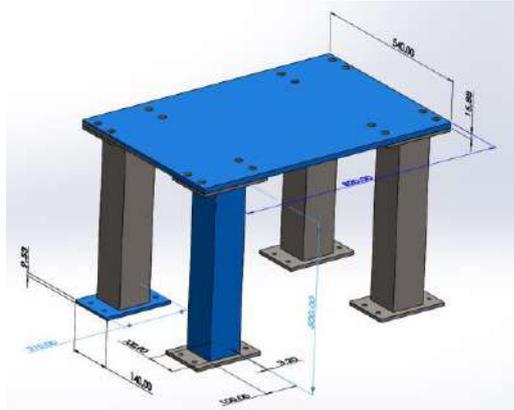


Figura 4. Dimensiones del husillo fijo.

Husillo móvil:

El husillo móvil deberá adaptarse a las diferentes longitudes de dewar que se deseen soldar en la máquina, por lo que deberá poder ser desplazado fácilmente, pero también deberá mantenerse estático cuando el tanque se encuentre ubicado en su posición correcta. Para ello se diseña un sistema de deslizamiento (el cual deslizará sobre las bancadas de deslizamiento y será igual a estas últimas, pero del largo del husillo) (figura 5-b) y otro de frenado (figura 6). Además, el husillo contará con una caja triangular (figura 5-a.) donde será empotrado el alojamiento que contenga los rodamientos y el eje, el cual que se encargará de sostener y hacer girar el dewar.

El husillo móvil cuenta, con una base realizada en una placa de acero SAE 1010, de 670x500x15,88 mm (figura 5-f), torres de caño estructural cuadrado de 100x100x3.2 mm de 290 mm de largo (figura 5-d), donde cada torre será fijada a través de unas placas de acero SAE 1010 de 165x140x4,76 mm (figura 5-e), las cuales están unidas con las torres por medio de un cordón de soldadura según se aclara en la guía de soldadura dispuesto. Luego la caja sobre la cual se empotrará el alojamiento de rodamientos se colocará sobre una placa de acero SAE 1010 de 500x450x15,88 mm (figura 5-c). Dicha caja será de 300 mm de ancho por 400 mm de alto, y tendrá la misma profundidad que la placa de acero en la cual se apoya, la cual es de 500 mm. Todos los elementos son unidos por medio de tornillos de cabeza hexagonal M12 de paso normal.

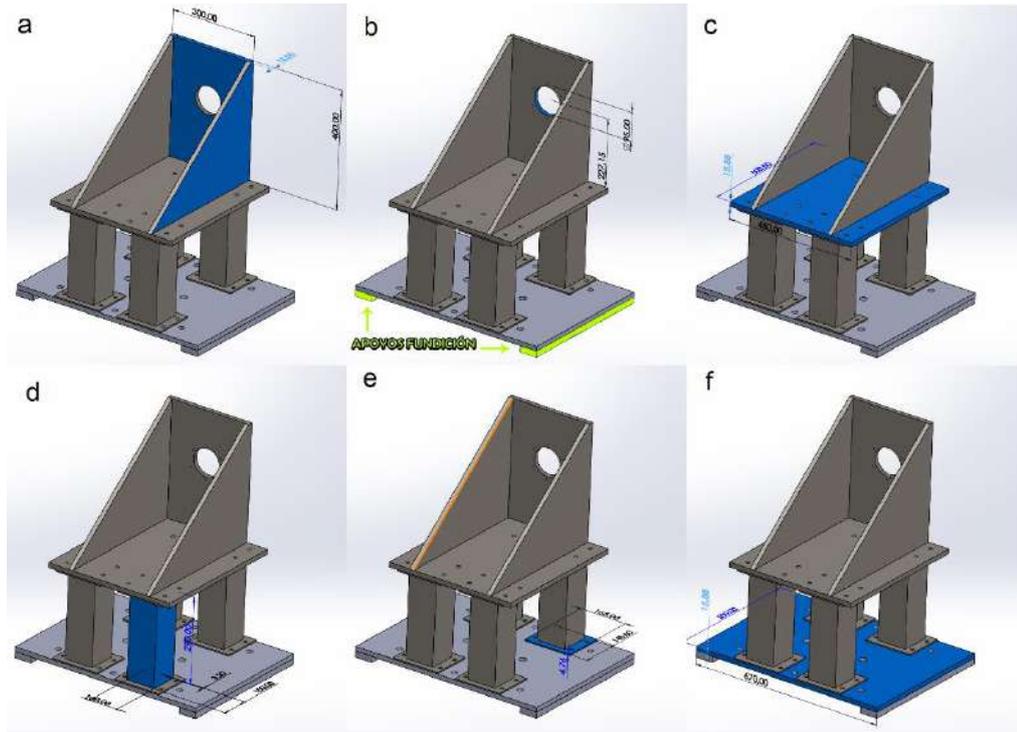


Figura 5. Dimensiones del husillo móvil. b) Ubicación de los apoyos de fundición.

Como se explicó anteriormente, el husillo contará con un sistema de frenado (figura 6), al cual se le agrega también unos rodamientos (rodamiento rígido de bolas 16004) que impiden que el sistema se descarrile, sirviendo estos de guía.

El sistema de frenado cuenta con una placa de acero SAE 1010 de 500x460x9,53 mm, la cual, al ser elevada por medio de dos manivelas, se verá limitada por dos hierros ángulos (los cuales están debidamente soldados a las bancadas de la máquina como la guía de soldadura lo indica) que servirán de topes y harán que el sistema permanezca estático. Además, cuando el freno no esté aplicado, por lo tanto, la placa freno estará en apoyada no solo por los tornillos pertenecientes al sistema de manivela, si no que se le agrega dos pernos limitadores de altura, los cuales fijarán la altura mínima de la placa e impedirá que esta se balancee ante el desplazamiento del husillo móvil.

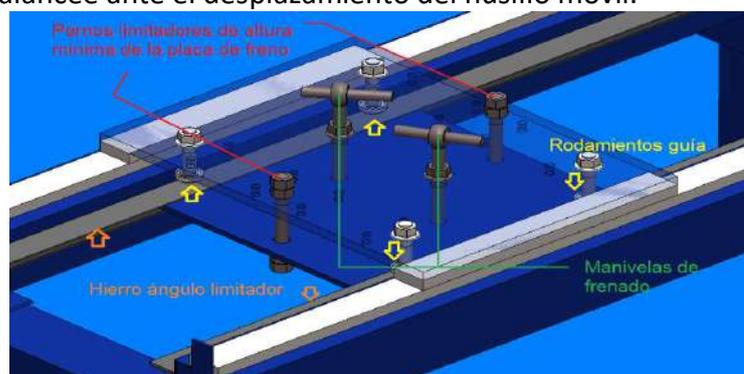


Figura 6. Se pueden ver los pernos limitadores de altura en rojo, rodamientos guía en amarillo, hierros ángulos que sirven de freno del husillo móvil en naranja, y manivelas para aplicar el freno del husillo en verde.

Una vez definida la estructura de la máquina, se procede al estudio de esta por medio de una simulación en SolidWorks, donde se solicita a cada husillo con una carga de 2500N, donde 1900 N corresponde a la mitad de lo que pesa un dewar y 600 N es el peso estimado del eje con sus respectivos platos, soporte de tanque, portarodamientos y rodamientos. Como puede verse en la figura 7-a primero la estructura es mallada, y se seleccionan los puntos en donde se quiere aplicar la carga deseada. En la figura 7-b, vemos que la tensiones en la estructura no llegan al límite de tensión elástico de $1,8 \text{ e}8 \text{ N/m}^2$, si no que se obtiene un valor de tensión máximo de $8,466\text{e}6 \text{ N/m}^2$. Luego, en la figura 7-c vemos como el

desplazamiento máximo en la estructura es despreciable, siendo del orden de la milésima de milímetro ($8,498 \times 10^{-2}$ mm).

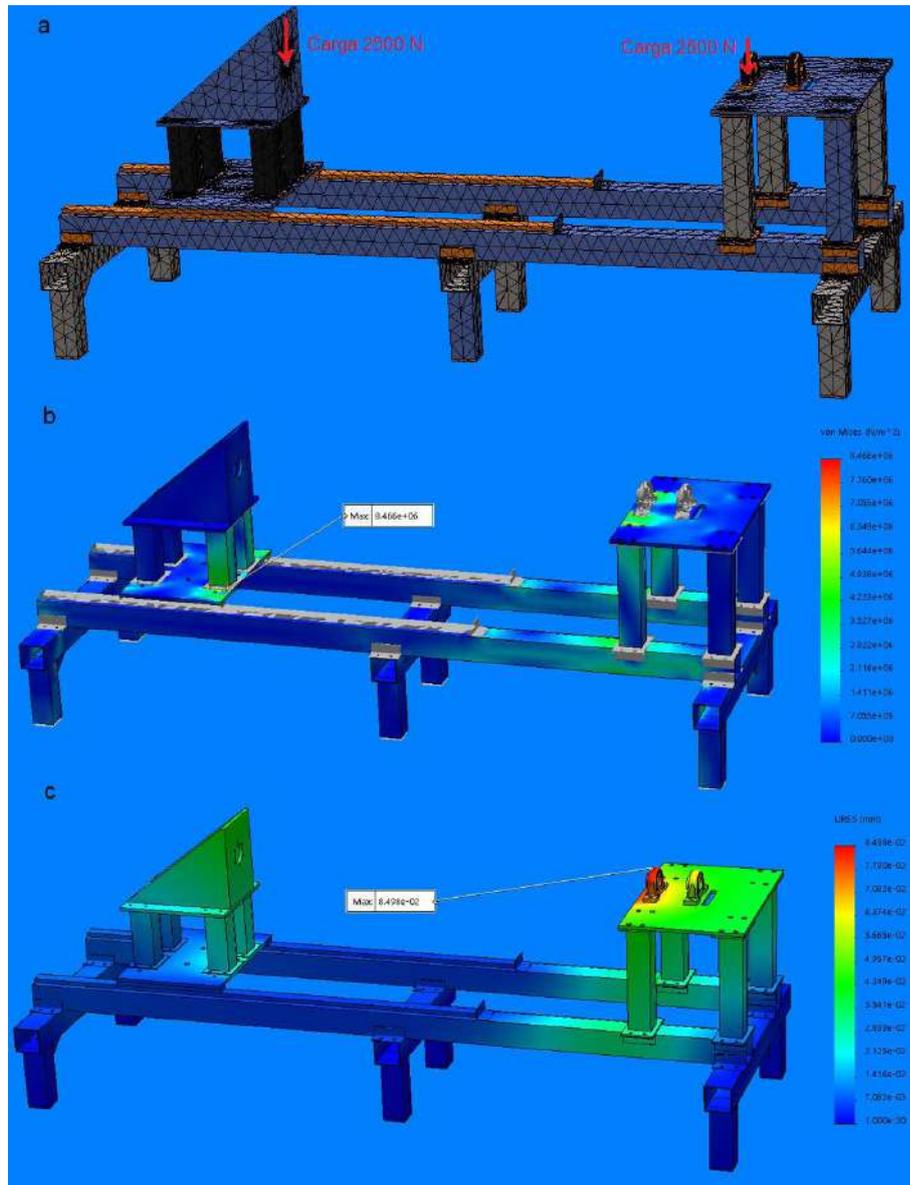


Figura 7. a) Mallado de la máquina. b) Tensión VonMises. c) Desplazamiento.

Módulo 3: Componentes mecánicos

Selección de platos: Se seleccionarán para la máquina los mismos platos que utilizan los tornos, los cuales se encargarán de sostener los soportes del dewar. Se seleccionan los platos Yuanpay de 250 mm de diámetro.

Diseño ejes: Se deben realizar dos ejes, uno se ubicará en el husillo móvil y otro en el husillo fijo. La empresa disponía de dos tochos de acero SAE 1045 de 63 mm de diámetro y 500 mm de largo, los cuales serán utilizados para realizar ambos ejes. Debido a que ya se disponía de los insumos, ahora se buscará que las horas de mecanizados sean las menores posibles para que su costo sea en efecto menor, por lo que se intentará no realizar una reducción muy grande del diámetro de los ejes. Otra característica de la construcción del eje es que se deberá incluir un agujero pasante de forma longitudinal al eje que será utilizada para la purga de la soldadura.

Eje del husillo fijo y caja de rodamientos: En este husillo, se encontrará el motor que hace que el sistema de plato-eje gire, el cual transmitirá su torque al eje por medio de engranajes, por lo tanto, se deberán

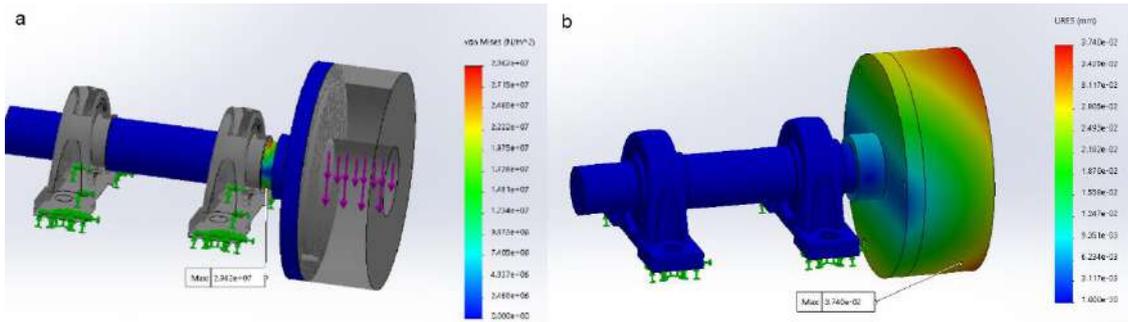


Figura 10. a) Tensión VonMises. b) Desplazamiento del sistema eje-plato-portarodamientos.

Eje del husillo móvil, rodamientos y alojamiento de rodamientos: De manera recíproca al husillo fijo, se diseña un eje (figura 11-a) el cual estará ubicado en el husillo móvil y será soportado por 3 rodamientos, para los cuales se diseñará un alojamiento que no permita sus desplazamientos (figura 13), además de la utilización de seguros Seeger, para los cuales se deberán realizar las correspondientes ranuras en el eje. Vale aclarar que el eje se sujeta al portaplatos por medio de 3 tornillos M8 de paso normal. Y posee un agujero longitudinal al eje para la purga de 8 mm.

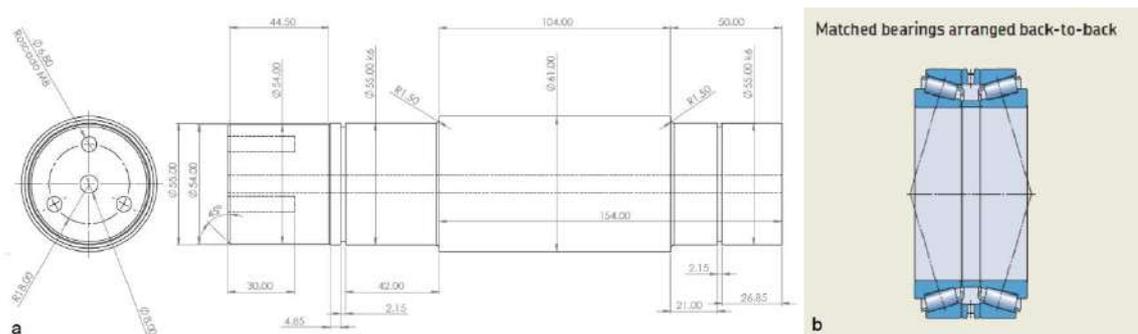


Figura 11. a) Plano del eje (husillo móvil). b) Configuración de los rodamientos.

Para la selección de los rodamientos, se decide utilizar 2 rodamientos a bolas angulares, los cuales soportan carga axial y radial, y estarán dispuestos “espalda a espalda” como se ve en la figura 11-b para soportar fuerzas axiales en ambas direcciones, además de utilizar un rodamiento rígido a bolas ubicado lo más próximo posible a la carga radial.

Cabe recordar que el rodamiento se elige en base al diámetro del eje, que por optimización de costos de mecanizado se mantuvo el mayor diámetro posible, por lo que si el rodamiento correspondiente a un eje de 55 mm cumple con las cargas esperadas se seleccionará el mismo para su utilización. Para los rodamientos a bolas angulares tenemos un 7211 BE y para el rodamiento rígido a bolas será un 6211. Además, se utilizan dos seguros Seeger para eje de 55 mm.

Las cargas que soportan ambos rodamientos (14 kN en el peor de los casos) son mucho mayores a las que requerimos, por lo que dichos rodamientos verifican para nuestro caso.

Para el diseño del alojamiento de los rodamientos, basta con saber la ubicación de los rodamientos, y el diámetro exterior de los rodamientos, los cuales son de 100 mm. El alojamiento para rodamientos (figura 12-a), además contará con tapas en cada extremo (figura 12-b, 12-c), para limitar el desplazamiento del aro exterior de los rodamientos. Además, la tapa que se encuentre en contacto con la caja (figura 12-b) que soporta el alojamiento de rodamientos, dispondrá de un centrador para su fácil montaje y alineación.

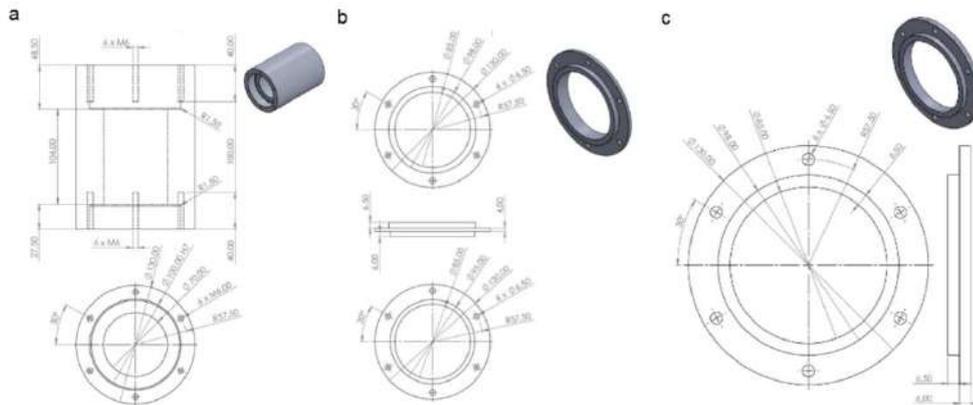


Figura 12. a) Alojamiento rodamientos b) Tapa alojamiento c) Tapa alojamiento c/ centrador.

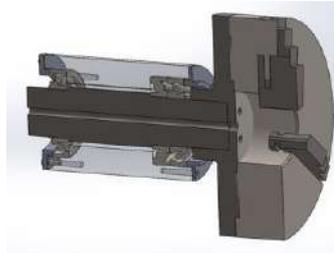


Figura 13. Ensamblaje del eje, plato, portaplato, portarodamientos y rodamientos.

Se procede a realizar una simulación donde se aplica una carga de 2000 N (la mitad del peso estimado del dewar y soporte de dewar) al plato para verificar que las tensiones en el eje, alojamiento de rodamientos, tapas de alojamiento, y el acople eje-plato están dentro del rango de tensiones admisibles. Como puede verse en la figura 14-c, las tensiones máximas arrojadas por la simulación ($4,497 \times 10^7$ N/m²) no alcanzan el límite de tensión elástico del acero SAE 1045 y como así tampoco del SAE 1010, por lo que todos los componentes cumplen con lo buscado. Además, el desplazamiento del plato (figura 14-b) que se encuentra en voladizo es mínimo por lo que también se encuentra dentro de las condiciones esperadas.

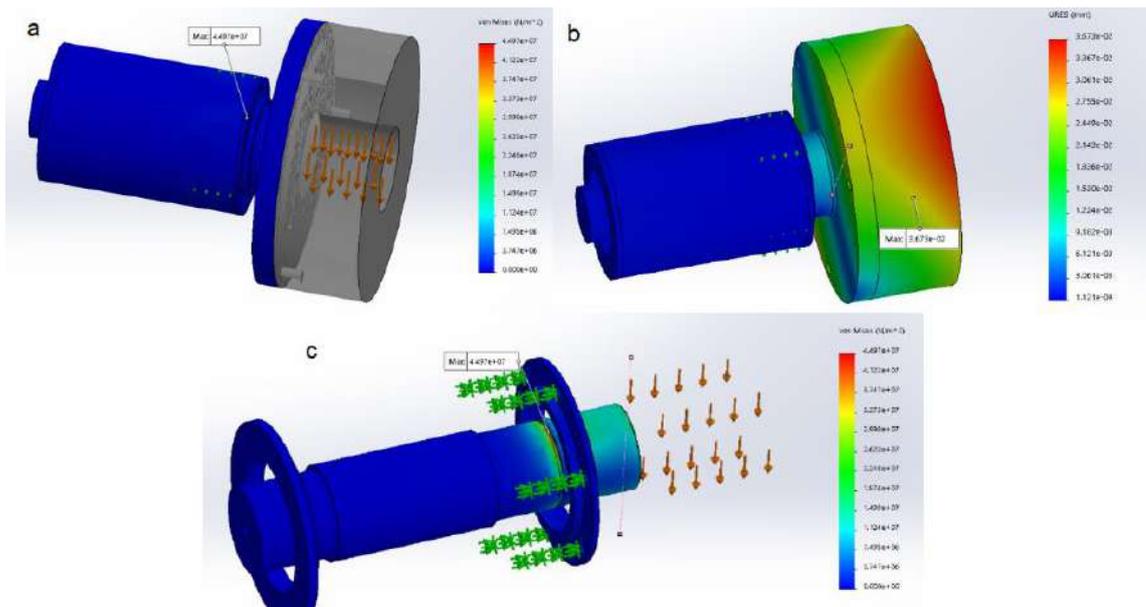


Figura 14. a) Tensión VonMises b) Desplazamiento c) Vista 2 tensión VonMises

Soportes del dewar:

Para la fijación del dewar se diseña un soporte variable, el cual puede ser utilizado para diferentes diámetros de dewar (figura 15). Para el mismo se utiliza una placa de 700 mm de diámetro y 10 mm de espesor la cual será cortada por láser, luego las mordazas serán construidas en hierro en U perforado de

50x25x5 mm, el cual, por medio de una ranura realizada en la placa circular, permitirá que las mordazas se ubiquen en la posición necesaria. Luego de cada mordaza se desprende un eje de 30 mm de diámetro el cual posee un tornillo mariposa que permitirá el fácil apriete e inmovilización del dewar.

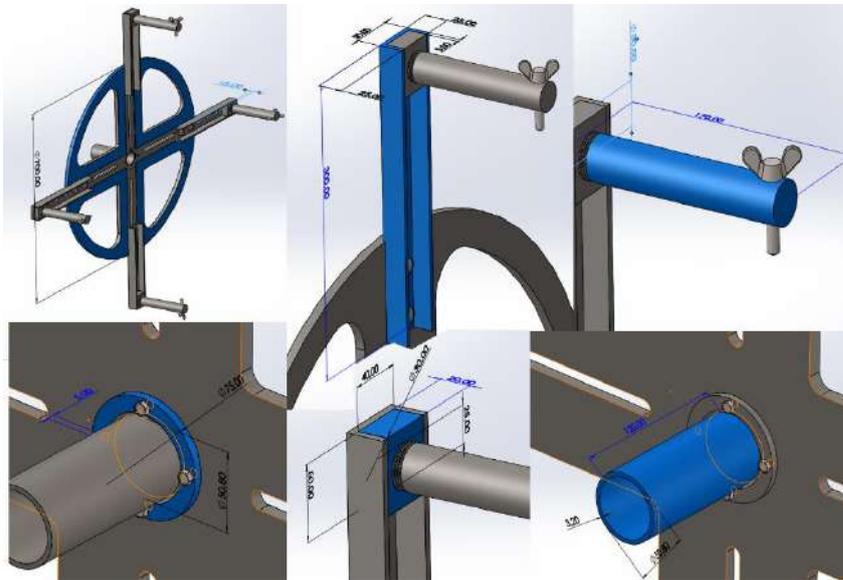


Figura 15. Dimensiones del soporte de dewar.

Esta placa circular se encuentra bridada a un caño estructural de 2", 120 mm de largo y 3,2 mm de espesor el cual será el vínculo entre el plato de cada husillo y el soporte del dewar.

Se procede a simular una carga sobre el eje de la mordaza, sabiendo que el peso máximo de un dewar es de 380 kg, se toma como el caso más desfavorable, donde la carga se ve distribuida sobre un solo eje en cada husillo (figura 16-a), por lo que la carga total se ve distribuida en 2.

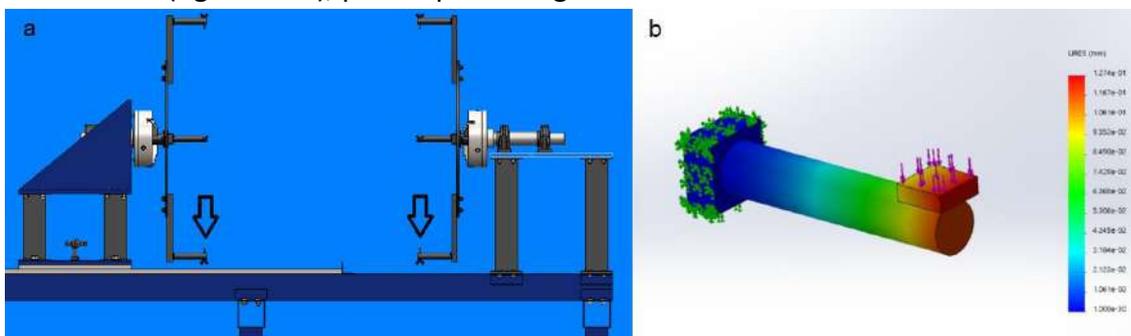


Imagen 16. a) Se muestra donde se aplica la carga en el soporte de dewar. b) Desplazamiento del eje de la mordaza.

Realizando dicha simulación se obtiene que el desplazamiento en el punto más alejado de la base del eje es del orden de la décima de milímetro (1,27e-1 mm), por lo que verifica para nuestro caso (figura 16-b).

Selección del motor y diseño de engranajes:

Se decide utilizar motores paso a paso para controlar la rotación del dewar, debido a su fácil control por medio de una computadora, siendo necesario, además, un microcontrolador (se utiliza un Arduino Mega 2560), un driver específico para motores paso a paso y una fuente de alimentación que lo abastezca. Se selecciona un motor NEMA 34 el cual posee un torque máximo de 8Nm. Cabe aclarar que el torque muy importante cuando queremos que nuestro sistema entre en el régimen de revoluciones en un tiempo determinado, debido a que el torque es igual a la aceleración angular multiplicada por el momento de inercia (tensor de inercia correspondiente, nuestro caso L_{xx}), y sabiendo que la aceleración es la variación de la velocidad en el tiempo, por lo tanto el tiempo que tarda en llegar al régimen de revoluciones constantes establecido, si queremos que nuestro sistema entre en régimen de revoluciones constantes en

Una vez diseñado ambos engranajes se realiza una simulación donde se somete a ambos engranajes al caso más desfavorable para la resistencia del material, donde el torque es máximo, o sea de 8 Nm (figura 19). Cabe aclarar que al tener una reducción de 1:5 no será necesario llegar a dicho torque, pero si será el torque de diseño en la simulación. Como puede verse, el valor máximo ($7,41e7 \text{ N/m}^2$) no alcanza el límite de tensión elástico del material ($5.3e8 \text{ N/m}^2$). Por lo que su diseño cumple con lo buscado, aunque de igual manera, dichos engranajes serán sometidos a un tratamiento de temple para aumentar su dureza superficial.

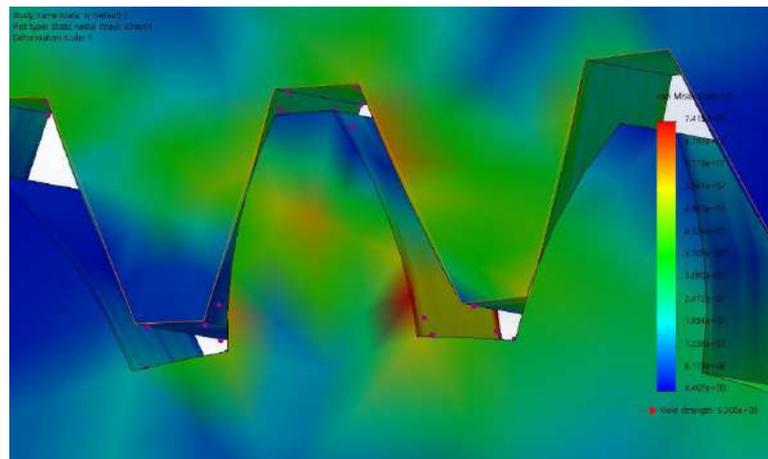


Figura 19. Tensión VonMises de los engranajes.

Módulo 4: Guía de soldadura para los componentes de la máquina

- Para perfiles ángulo u otro componente a soldar que tenga(n) una medida menor o igual a 150mm el cordón de soldadura será de 15 mm de largo y 30 mm de separación entre cordón y cordón.
 - Para perfiles ángulo u otro componente a soldar que tenga(n) una medida entre 150 mm y 400 mm el cordón de soldadura será de 15 mm de largo y 60 mm de separación entre cordón y cordón.
 - Para perfiles ángulo u otro componente a soldar que tenga(n) una medida mayor a 400 mm el cordón de soldadura será de 20 mm de largo y 150 mm de separación entre cordón y cordón.
- Luego el valor de "a" será tomado según la tabla en la figura 20.

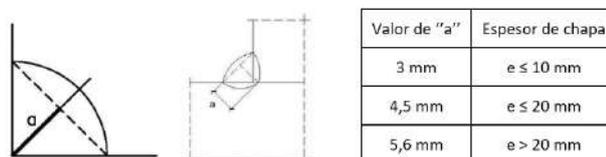


Figura 20. Característica del cordón de soldadura según espesor de chapa.

Renderizados de la máquina completa:

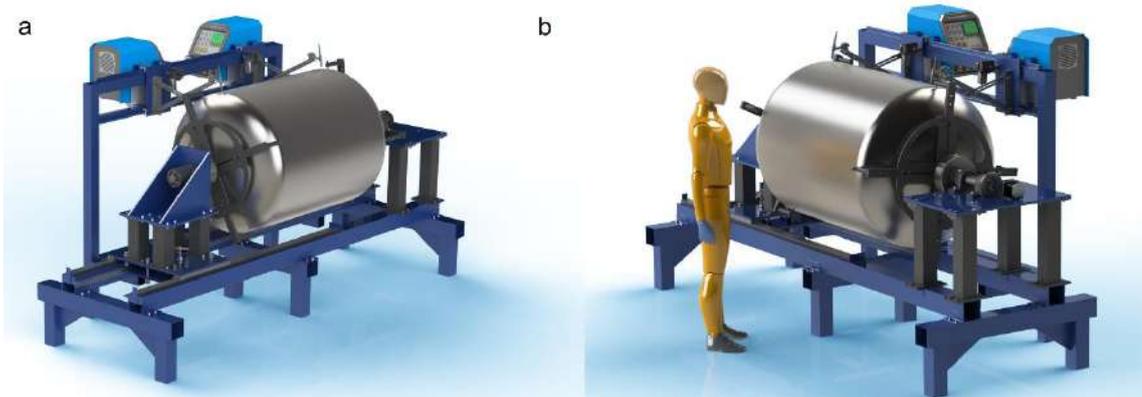


Figura 21. a) Vista izquierda de la máquina. b) Vista derecha de la máquina.

Máquina durante la construcción:



Figura 22. Vista izquierda del esqueleto de la máquina.



Figura 23. Vista derecha del esqueleto de la máquina.

CONCLUSIÓN

Es necesario saber que, para el diseño de una máquina, un componente mecánico o el objeto que se trate es indispensable tener en cuenta, por un lado, el aspecto económico, ya sea en el dimensionado, selección de componentes o en el tipo de fabricación de una pieza, ya que, de lo contrario cualquier proyecto se podría tornar inviable. Además, por otro lado, se debe conocer la disponibilidad de insumos en el mercado, donde, por ejemplo, ya no solo hay que dimensionar el espesor de una placa, ya que este podría no estar disponible y forzaría a un rediseño, sino que hay que diseñar con el catálogo de los proveedores en vista. Otra cosa a tener en cuenta y sobre la cual se crean las bases del proyecto, es la entrevista con la persona la cual nos encarga el diseño, ya que de ella debemos extraer todas las características que pretenda que tenga o no el diseño, por lo que la buena ejecución de una primera entrevista es crucial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. "Radzevich Stephen, (2016) Dudley's Handbook of Practical Gear Design and Manufacture, Boca Raton, FL, EE. UU". Utilizado para el diseño general de los engranajes, sin extractos.
2. "Deutschman - Michels – Wilson, (1975), Diseño de máquinas. Teoría y práctica de dibujo técnico". Utilizado para la realización de planos de forma general, sin extractos.
3. "Hibbeler, (2010) Dinámica, Mexico". Utilizado para el cálculo del torque necesario, durante el cálculo de los engranajes y selección de motor. "Cinética plana de un cuerpo rígido. Capítulo 17, página 410".

Desarrollo de tapas de cilindros de competición en el automovilismo

Rivarola Pedro

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad
Tecnológica Nacional

Resumen

En el presente informe enumeramos los pasos de la mejora de una tapa de cilindros, desde la recepción de esta provista por el cliente. Trabajamos bajo el reglamento pertinente de la categoría, buscando lograr una mayor eficiencia en el volumen de aire y/o aire-nafta entrante al cilindro en el menor tiempo posible. Pudimos obtener así un incremento en el torque y en la potencia específica de nuestro motor en desarrollo.

Introducción

En el presente trabajo estudiamos y evaluamos distintas tapas de cilindros en la empresa FT Desarrollos, ubicada en la ciudad de La Plata, abocada al desarrollo de tapas de cilindros y múltiples de admisión para motores de competición.

Asimismo, este informe consiste en la descripción y desarrollo de mejoras, y sus mecanismos de comparación a través de mediciones en un flujómetro, en el que se mide la resistencia a la circulación del aire que genera en todo el sistema de alimentación del motor.

Marco Teórico

En las competencias de automovilismo es de carácter obligatorio la existencia de un reglamento. El objetivo de dichas normas pretende que todas las categorías sean competitivas y que los participantes tengan las mismas posibilidades técnicas. En el desarrollo de las tapas de cilindros nos vemos en la obligación de basarnos en dichas normas, seleccionando materiales adecuados y modelizando las mejoras a mecanizar, para luego ser contrastadas empíricamente.

Para mejorar el rendimiento y la potencia, hay que tener en cuenta que mientras mayor sea la cantidad de aire que ingrese a la cámara de combustión, existirá una mejor combustión que produce una mayor potencia y por ende un mejor rendimiento y aprovechamiento del motor de nuestro automóvil.

Metodología de trabajo

Para realizar el desarrollo de la tapa de cilindros de la manera correcta, se emplea una metodología ordenada y sistemática que consta de los siguientes pasos:

- a) Relevamiento de medidas y datos del motor
- b) Limpieza de la tapa de cilindros
- c) Medición en el flujómetro de la tapa de cilindros estándar
- d) Dimensionado de conductos
- e) Mecanizado de conductos y lijado
- f) Encasquillado, asientos y guías

- g) Cubicaje de tapa de cilindros mejorada y planos
- h) Medición de flujometría en tapa mejorada
- i) Embalaje y envío

Descripción del proceso

- a) Una vez recibida la tapa, se debe adjuntar el reglamento de la categoría a la que pertenece (de pertenecer), los objetivos que se pretenden y en función del estado se procede a realizar un presupuesto inicial el cual debe ser señalado al 50% para poder iniciar el trabajo.
- b) Luego, se procede al desarmado de la tapa para realizar el lavado, el cual consiste en colocar la pieza en un tanque de acero inoxidable, que contiene un líquido conductor y aplicarle ultrasonido.

De acuerdo con las mediciones iniciales de la tapa, características técnicas (relación de compresión, cilindrada, diámetro del pistón y carrera del cigüeñal, relación de caja de cambio, terreno por el que va a circular el vehículo), el tipo de alimentación (carburador o por inyección), se procede a relacionar todos estos parámetros para dar lugar al siguiente paso de este proceso constante de mejora, el cual consiste en preparar la tapa para poder ubicarla en el Flujómetro.

El flujómetro (imagen 1) es un equipo que mide el caudal de aire, en dos instancias, aspiración y soplado (intake and exhaust), fijando una presión de trabajo que puede ser de 28" de agua o 10" (en Argentina se utiliza 28" mientras que en USA es muy común utilizar 10" de agua). Este sirve para verificar qué caudal va a circular por los conductos de admisión y tomar los datos sobre los cuales se realiza el análisis correspondiente.

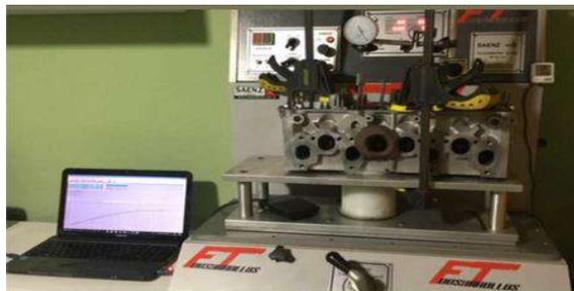


Imagen 1: Monomarca Vw 1600 (Flujómetro Sáenz)

Es necesario asegurar que el centrado de la tapa en el flujómetro sea realizado siempre con el mismo procedimiento, basándonos en los mismos parámetros, a efectos de poder obtener la mejor precisión posible. El anclaje de la tapa es por medio de 2 prensas manuales, las cuales están cruzadas una de otra como se ve en la imagen 1.

Procedemos a medir en el flujómetro, en el cual vamos a obtener 2 curvas características de la tapa de cilindros: Una de admisión y otra del escape.

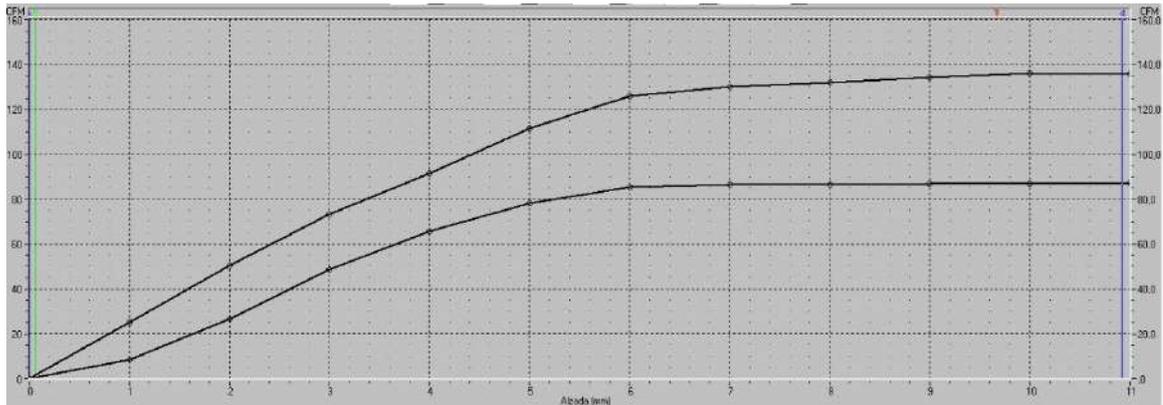


Imagen 2: Curva flujométrica inicial.

Curva superior: Conducto Escape. Curva inferior: Conducto Admisión

El sistema consta de un hardware y un software. El Hardware consta de una interfaz, la cual va conectada al flujómetro, tomando datos de depresión, flujo, temperatura, etc. Mediante esta interfaz, el software puede incorporar directamente los datos de presión, temperatura, y caudal para cada medida. Con todo esto se construyen gráficos en los cuales se pueden observar los flujos vs. Alzada de válvula o flujos vs. Relación L/D, el cual se puede ver en la imagen 2.

Los gráficos, los podemos obtener de 2 maneras, una mediante el uso de tubos Pitot en el flujómetro (a través del principio de Bernoulli), y otra es a través de la curva de caudal, recurriendo a una planilla de cálculos a la que se pueden adjuntar las curvas de admisión y escape.

Realizado el relevamiento de datos, se procede a recopilar toda la información. (Diámetro de pistón, válvulas, carrera de pistón, volumen de barrido, largo de biela, alimentación, combustible, árbol de levas, etc.) para realizar el dimensionado de conductos que debe ser coincidente con los límites especificados por el reglamento que provee la categoría en la que se va a competir.

- c) Una vez realizado el análisis correspondiente, basándonos en los datos del motor, se procede al dimensionado de los conductos como se puede ver en la imagen 3, tanto de escape, como de admisión. En el taller FT desarrollos, esta tarea se realiza de manera completamente manual, por lo que se vuelve un trabajo arduo y singularizado.



Imagen 3: Conducto Escape FIAT 1700. Medición de diámetros en proceso de lijado

- d) Alcanzada la dimensión deseada de los conductos y las cámaras de la tapa de cilindros, y habiendo superado correctamente la prueba hidráulica (comprobación de inexistencia de fisuras y/o pérdidas sometido a presión) procedemos a hacerle los asientos de válvulas.

- e) Los asientos de válvulas se fabrican con aceros fundidos de aleación Cromo/molibdeno/manganeso, cobre-berilio (Alta *performance*), y tratamientos térmicos en hornos de atmósfera controlada que garantizan una estructura resistente al golpe, la fricción y las altas temperaturas provocadas por los motores turboalimentados y los motores a inyección/carburador.

Se coloca la tapa de cilindros en la rectificadora de asientos. Se ajusta mediante soportes con tornillos y se procede a nivelarla para garantizar su conicidad. El sistema de nivelado combina un inclinómetro interno con uno externo de dos ejes, indicando los ejes X-Y al mismo tiempo en forma gráfica y numérica. Una vez realizado esto se coloca el cabezal esférico y el piloto como los que se observan en la imagen 4 sobre la guía en la tapa de cilindros.



Imagen 4: cabezal esférico y piloto

Se coloca el cabezal, la porta placa que queremos utilizar y la placa con el fin de realizar el rectificado del asiento. Hay diversos tipos de placas, por eso es muy importante elegir la correcta, acorde al tipo de asiento que queremos realizar

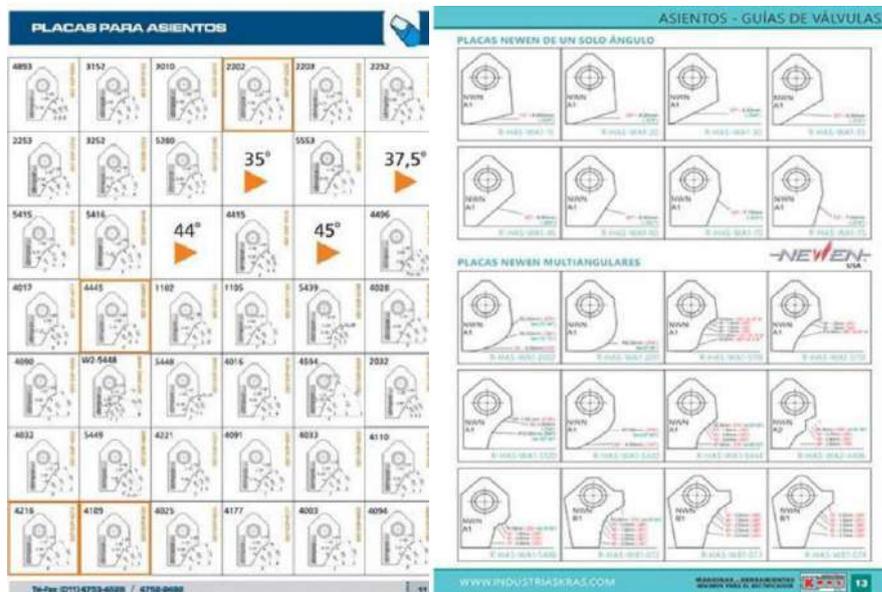


Imagen 5: catálogo de placas de asientos para competición

Una vez definido esto, realizamos el rectificado con la maquina hasta lograr que el asiento quede en perfecto funcionamiento. El ángulo que tomamos es de 45° respecto a la horizontal en las válvulas de escape, y de 30° respecto a la horizontal en las válvulas de admisión. El ángulo de 45° en las válvulas de escape se hace para tener un mayor flujo y menor resistencia a la salida de los gases, además de que la válvula con este tipo de asiento se torna mucho más rígida por diseño que una de 30°, con lo cual soporta mejor la temperatura de los gases de escape. En cambio, las válvulas de 30° oponen mayor resistencia - por eso son más grandes- pero a cambio hacen que el aire adquiera mayor velocidad, provocando un mejor llenado del cilindro. Al no tener que soportar mucha temperatura como las válvulas de escape, se

puede permitir darle esa forma. Es importante realizar la prueba de vacío para verificar que la válvula cierre de manera correcta.

Deformaciones en tapas de cilindros

Los componentes del motor (block, camisas, tapa de cilindros) sufren dilataciones causando diferentes movimientos y variaciones relativas entre ellos. El movimiento relativo entre el block y la tapa de cilindros causa además esfuerzos irregularmente distribuidos durante el funcionamiento del motor. Una de las más perjudicadas es la junta de tapa de cilindros, que soporta presiones y temperaturas muy elevadas durante el funcionamiento. Otro de los factores que produce una gran deformación, es por medio de la soldadura; que al calentar la tapa para poder rellenarla se genera un pico de temperatura que la afecta. Todos estos factores, sumados a la exigencia de llevar al límite en cada competición, desencadena en deformaciones que se pueden observar a simple vista. En las tapas que hemos mejorado, las deformaciones que visualizamos varían entre 0,1mm hasta 0.7mm, que se ven claramente marcadas en amarillo en la imagen 7 al hacer una pasada con la herramienta de corte, afectando al cubicaje de la tapa. A la hora de realizar el plano principal hay que “borrar” dichas imperfecciones para el apoyo correcto de la junta, quitándole material de su superficie en la parte que se encuentra en contacto con el block, disminuyendo el volumen ocupado por la mezcla en la cámara de combustión. Al momento de medir deformaciones, utilizamos un reloj comparador como el que se ve en la imagen 6, en el que podemos medir las imperfecciones de la tapa y llevar a cabo el correcto centrado de la misma.



Imagen 6: reloj comparador en máquina de hacer planos



Imagen 7: Deformaciones de distintas tapas al realizarles el plano principal

- f) Al disminuir el volumen de la tapa de cilindros aumenta la relación de compresión del motor, que es el número que permite medir la proporción en que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible dentro de la cámara de combustión de un cilindro.

Para darle mayor compresión a la cámara de combustión, lo que se hace comúnmente es rebajar la tapa de cilindros, o colocar pistones más altos. Una modificación en la relación de compresión incrementa favorablemente la potencia efectiva del motor.

Aumento de la Presión Media Efectiva

La presión media efectiva se puede definir como el valor promedio de las presiones que se establecen en el interior de la cámara de combustión mientras la misma se está produciendo. Dadas las características básicas que determinan el funcionamiento de un motor de explosión, la cantidad de energía calórica liberada en el momento de la explosión es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura absoluta alcanzada en el momento del encendido de la mezcla. Si se obtiene una considerable elevación de la presión en el interior de la cámara de combustión, se obtiene como resultado un aumento considerable de potencia en el motor.

Antes de realizar un “rebaje” a la tapa, lo más conveniente es el cubicaje de una de las cámaras de combustión, sabiendo en qué volumen de cámara nos encontramos, y hacer el cálculo de la relación de compresión. El cubicaje, se efectúa con kerosene o algún aceite liviano y las válvulas tienen que encontrarse bien selladas junto con la bujía para evitar la fuga del líquido. Se cuenta con una bureta graduada con la cual se va a medir el volumen de líquido que entra en la cámara (imagen 8.a), empezando desde el pelo libre de la misma y desde allí, se van a ir marcando la cantidad de centímetros cúbicos (cm³) que entran en la cámara de combustión. Es muy importante efectuar el cubicaje de los conductos (admisión y escape) como visualizamos en la imagen 8.b, siendo que por reglamento se limita el volumen máximo que pueden tener los mismos, y de encontrarse excedidos quedarían excluidos en la inspección técnica.



a) Renault Formula 1100

b) Vw 1600 Santa Cruz

Imagen 8: a) Cámara con líquido de cubicaje, b) Conducto con líquido de cubicaje

A continuación, la ecuación que vincula esta relación con los volúmenes:

$$RC = \frac{\frac{\pi}{4} \times d^2 \times s + V_c}{V_c}$$

RC = Relación de compresión del motor

V = volumen del cilindro unitario (cm³) o volumen útil del cilindro = ($\frac{\pi}{4} \times d^2 \times C$)

Vc = volumen de la cámara de combustión (cm³)

C= carrera del pistón desde PMI hasta PMS.

PMI: Punto Muerto Inferior

PMS: Punto Muerto Superior

Válvulas

Para lograr aumentar la potencia del motor, se debe conseguir que circule por la cámara de combustión

la mayor cantidad de mezcla explosiva posible. En este sentido, los conductos por los que pasa la mezcla son controlados por las válvulas. La mayor circulación de gases frescos depende del diámetro que posean las copas o cabezas de las válvulas porque de ellas depende la mejor respiración de cada uno de los cilindros, así como la cantidad y velocidad de los gases que circulan a través de la cámara. Para ello se colocan válvulas más grandes, previa modificación de los asientos en tamaño y ángulos. Normalmente la válvula de admisión es aproximadamente un 15% más grande en diámetro que la de escape. En buena parte, ello se debe a que resulta más sencillo expulsar los gases del cilindro que hacerlos ingresar a él. La velocidad media que deben tener los gases en el conducto para lograr el mejor llenado no puede ser cualquiera. Para máximo par está en el orden de los 40-50 m/Seg, mientras que para máxima potencia en 65-75 m/Seg.

Esto condiciona el diámetro de las válvulas, si son grandes el motor tenderá a rendir a altas revoluciones por minuto (RPM) y si son chicas, ocurrirá lo contrario. Cuando las RPM no presentan un problema, la limitación en potencia con dos válvulas ocurre por no poder poner válvulas más allá de un determinado diámetro, sobrepasado el cual, tanto las de admisión y escape se tocarían. La solución viene de la mano de colocar más de dos válvulas, generalmente dos de admisión y dos de escape, tecnología de la que disponen los autos de última generación.

La mejor distribución de superficies en la cámara permite una mayor área para el pasaje de gases y una mejor distribución del flujo entrante en la cámara de combustión. El hecho de disponer de válvulas más pequeñas y consecuentemente más livianas permite lograr perfiles de levas más favorables y pueden operar sin inconvenientes a altas RPM.

Las válvulas de competición son de diferentes materiales, entre ellas tenemos:

- Acero martensítico inoxidable con un porcentaje de aleante cercano al 23%.
- Acero inoxidable austenítico con un 30% de elementos aleantes. Estos ofrecen excelente resistencia al calor y a la corrosión producida por los gases de escape. Se lo utiliza en válvulas de escape con altas exigencias.
- Titanio.

CÁMARAS DE COMBUSTIÓN SEMIESFÉRICAS

En la competición se utilizan las cámaras semiesféricas, ya que se logra un llenado del cilindro más eficiente que con los demás tipos de cámaras (en cuña, cilíndrica, en bañera, radial, entre otras), pues posibilita utilizar válvulas de mayor tamaño, y se logra un menor recorrido de la llama para llegar desde la chispa de la bujía a la cabeza del pistón gracias a la simetría de su forma.

La modificación de la cámara de combustión mediante el proceso de limado (imagen 9) tiene como objetivo generar una combustión rápida, para ello se requiere una alta turbulencia, homogenización de la mezcla, una geometría adecuada y posición central de la bujía. De esta manera se logra una mayor eficiencia térmica.

Para lograr una mezcla altamente turbulenta, se requiere incrementar el efecto "SWIRL", que consiste en promover la rotación de la mezcla dentro del conducto (cámara de combustión y cilindro), con una intensidad y sentido de giro controlado. Con el aumento de esta rotación, se acelera el proceso de combustión, por lo que disminuye el tiempo y progreso del frente de llama. La forma de la cámara de combustión va a influir en gran parte en el grado final de la turbulencia, ya que una mezcla que no lo es hace que la combustión sea lenta.

Los resultados al comparar una tapa con las cámaras estándar vs modificada nos dan un gran aumento de velocidad en todo el rango de apertura de válvula.

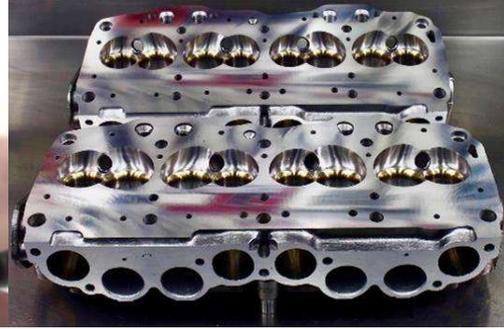


Imagen 9: Cámara en proceso de mecanizado **Imagen 10: Cámaras semiesféricas terminadas**

- g) Para comparar las curvas de una tapa estándar con las curvas que arroja la tapa de cilindros desarrollada se realiza una nueva medición en el flujómetro.

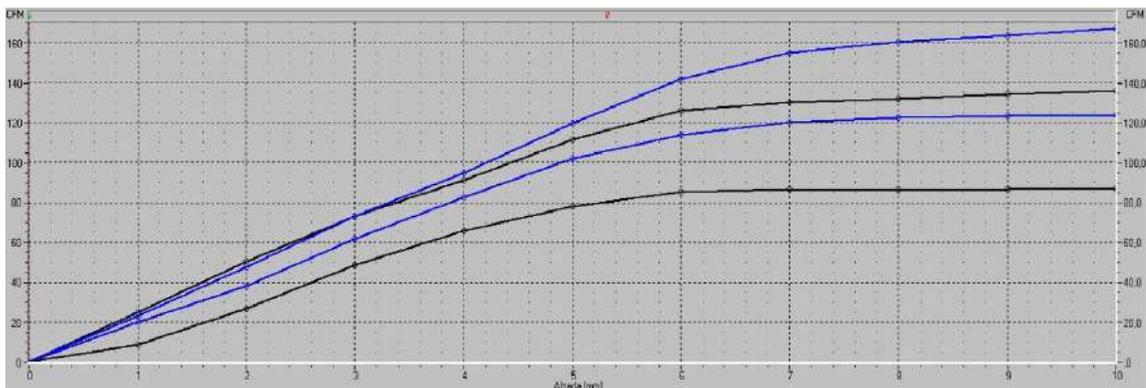


Imagen 10: Línea negra: Tapa de cilindro estándar. (superior conducto admisión, inferior conducto escape)
Línea azul: Tapa de cilindro desarrollada. (superior conducto admisión, inferior conducto escape)

RESULTADOS

Una vez determinada la medición de la mejora, se realiza el cálculo de la ganancia en hp, en función del trabajo que hemos realizado sobre nuestra tapa.

Este valor es una aproximación, que le va a permitir al cliente incluir un dato de referencia para que realice una prueba en pista, en condiciones de extrema exigencia:

Promedio del flujo de aire (CFM) = 1.6 x HP por cilindro.

La potencia del motor es directamente proporcional a la cantidad de aire que entra al cilindro y es retenido hasta que ocurre la ignición. Reduciendo la resistencia del flujo de aire en el tramo de entrada y salida, el llenado del cilindro va a aumentar y la potencia se incrementa proporcionalmente. El promedio de flujo de aire a través de un solo cilindro del motor puede ser estimado como: 1.6 x HP por cilindro.

La capacidad de admisión de flujo de aire para un solo cilindro será de 2.5 veces el promedio del flujo para el cilindro por que la admisión ocurre durante el 40% del total ciclo motor. Como un ejemplo si tenemos un Fiat uno 1.6 que produce 92 HP, la potencia unitaria es de 23HP. Entonces el promedio de flujo va a ser: $1.6 \times 23 \text{HP} = 36.8 \text{CFM}$

*Promedio capacidad máxima = $2,5 \times 36.8 \text{CFM} = 92 \text{CFM}$

*Pico máximo de capacidad de flujo = $2.5 \times 92 \text{CFM} = 230 \text{CFM}$

La cantidad de potencia que se gane por la mejora del flujo de aire depende de la eficiencia volumétrica del motor.

Conclusiones

Los resultados de CFM modificando las cámaras de combustión, nos generaron un gran aumento de la velocidad de flujo en todo su rango de apertura de válvula en la cámara de combustión modificada. Luego de haber terminado de modificar la tapa, se realizaron ensayos en un banco de pruebas de motores con los mismos parámetros que se habían realizado en la cámara estándar, dando una gran mejora en el momento torsor y potencia. Por otro lado, la modificación en los conductos, realizando el mecanizado correspondiente, arrojó empíricamente a través del flujómetro, una satisfactoria variación en las curvas de admisión y escape.

Bibliografía

- 1- Máquina de asientos de válvulas DIMPAR: <https://www.dimpar.com/catalogo>
- 2-Tipos de husillos para máquinas de hacer asientos: https://836b0dc6-b0b4-490d-b70120d992499fb8.filesusr.com/ugd/a9b8b0_e1e73e8656dc42aa961470889672ffed.pdf
- 3-Flujómetro: <https://www.saenzdynos.com.ar/flujometros.php?lang=es>
- 4- EQUIPOS DE MEDICIÓN: <https://mitutoyo.com.ar/productos>
- 5- EFECTO SWIRL: Giacosa Dante, 1967, *Motores endotérmicos*, Barcelona España, Edición XXIV, Editorial científico-medica

Montaje de grandes cañerías en un buque

Bejger Nicolás

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad
Tecnológica Nacional

RESUMEN

Utilizando tecnologías CAD-CAM-CAE, se documenta el trabajo realizado en la fabricación y ajuste de un ensamble de grandes cañerías, pertenecientes al manifold de cargamento de un buque productero de gran porte construido en la planta naval del Astillero Río Santiago.

Por medio de la interacción con diferentes herramientas de diseño, se procede a modelar en 3D todas las piezas correspondientes para dicho estudio, a fin de realizar los cálculos necesarios, mediante la implementación de un software de elementos finitos. Esta tarea conlleva realizar el cálculo de tensión y de deformación que sufren las tuberías al izarla, ya que las mismas no están diseñadas para ello, con el objetivo de montar todas o en gran parte esas cañerías como un ensamble único, ajustado en tierra y con esto, disminuir los tiempos, costos y riesgos de montaje. Del cálculo se desprenderá la necesidad de refuerzos en el ensamble para minimizar las deformaciones hasta valores admisibles y así poder realizar la maniobra de forma óptima y segura.

A este presente estudio se le suma el condicionante de realizar el trabajo con elementos disponibles actualmente en el astillero (eslingas, perchas, capacidad de grúas, etc.).

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se encuentra basado en una PS realizada por un egresado de la carrera Ingeniería naval de la UTN FRLP y también profesional del Ente Astillero Río Santiago. Ing. Ignacio Marchetti ^[1] en el cual plantea una dinámica de montaje en bloques del manifold mostrado en la Fig.1, y expresa como conclusión que *“dicho método es una alternativa viable para la reducción de tiempos y avance físico de la obra”*, al mismo tiempo que repercute directamente en la reducción de los plazos de entrega del buque perteneciente a la C.79 (denominación usada por el ARS para nombrar un buque productero de gran porte).



Figura 1: Manifold montado sobre la C.79 (buque productero).

El estudio del comportamiento de dichas tuberías del orden de 10" como un todo se realizó en forma conjunta con la jefatura y los supervisores del sector de copería, sector de estructura y la oficina técnica del ARS, aportando su experiencia en dicha especialidad con el fin de mejorar el montaje de ensamble próximo en la C.80 (buque gemelo a la C.79).

Semanalmente se mantenían reuniones con el coordinador del área de ingeniería, tratándose todos los aspectos técnicos, evacuando las dudas que iban surgiendo a lo largo del proyecto y así poder realizar una maqueta virtual del manifold.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la rigidez del ensamble de cañerías a la hora de montarlo al buque y en caso de ser necesario, diseñar un soporte para que su deformación sea admisible.

METODOLOGÍA

Mediante la aplicación de un software interactivo **FORAN** (provisto por la empresa), el cual reúne distintos entornos de trabajo dentro de un mismo módulo, procedemos a realizar el modelo 3D de los elementos necesarios para la maqueta virtual. Este software permite trabajar con equipos, tuberías, estructuras auxiliares y soportes dentro del entorno **FPIPE**. Para esta tarea se cotejaron esquemas del servicio en cuestión, planos de estructura del buque, arreglos generales y normas específicas para la creación y ruteado de las líneas comprometidas.

Durante el proceso de trazado, se comprobó automáticamente la fabricación de las cañerías y la compatibilidad de las conexiones bridadas junto a las válvulas, se calcularon pernos, tuercas, juntas y soldaduras. Como subestructuras, se pudo diseñar los perfiles y las planchas creados como parte de estructuras y soportes auxiliares. Un enlace fuerte entre el distribuidor de tuberías y su soporte mantiene la coherencia del modelo.

EXPORTACIÓN FEM

El modelo 3D de FORAN se crea con su forma real. Los elementos se generan como sólidos BREP que incluyen espesor, aberturas, cortes de extremo y otros detalles que introducen automáticamente las herramientas de modelado.

Para el análisis de elementos finitos, el software ofrece una herramienta de exportación que simplifica el modelo, primero eliminando el espesor y los detalles no relevantes y después aplicando la expansión o la contracción necesaria de los elementos para asegurarse de que se mantienen los contactos y las conexiones.

El resultado es un conjunto de superficies elementales conectadas, que se exporta en formatos IGES o STEP, los cuales se pueden convertir en mallas fácilmente en la mayoría de los preprocesadores.

Para nuestro estudio guardaremos los archivos generados en dichos formatos (IGES o STEP), estos los abriremos luego con el software **Rhinoceros 3D** para hacer algunos ajustes en el diseño y finalmente utilizar el modelo detallado para el análisis **Estático lineal** directamente en el software **Solid Edge o Femap** con **NX Nastran** (brindado por el ARS).

DETALLES DISEÑO RHINOCEROS 3D

Es de suma importancia que las mallas en las superficies permanezcan unidas. Además, esto permite trabajar con un modelo más sencillo y menos costoso computacionalmente. Por lo tanto, por medio del uso de esta herramienta, se procede a corregir uniones o tuberías que no fueron interpretadas en un 100% por el programa.

Como agregado a la maqueta virtual, se dibujan unos “muñecos”, los cuales son tramos de tuberías bridadas que sustituyen a cada válvula que integra dicho modulo (tuberías del Manifold). Estos serán colocados durante el izado y al modelarlos 3d obtenemos un resultado más exacto y real en nuestro estudio.

ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS (FEA)

Para nuestro estudio se utilizó los softwares **Solid Edge** y **Femap**, dicha elección se debe a que comparten la misma tecnología de solvers **NX Nastran** de reconocida efectividad.

El software Solid Edge Simulation está integrado en el análisis de elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés). Esto permitió validar digitalmente los diseños de las tuberías, bridas y conjuntos de piezas correspondientes a los soportes dentro del entorno del virtual (Fig.2).



Figura 2: Modelo 3D Manifold (Solid Edge).

La utilización de esta herramienta redujo considerablemente la necesidad de crear prototipos físicos, reduciendo los costes de pruebas y materiales, además de ahorrar en tiempo de diseño.

El estudio fue corroborado por personal especializado en análisis estructural de la oficina técnica de la empresa (Ars).

DEFINICIONES DE CONDICIONES DE LÍMITES PARA ENTORNOS REALISTAS

Para modelar entornos operativos realistas, en la tabla 1 se proporciona las definiciones de condiciones de frontera que necesitará nuestro estudio, a fin de analizar la capacidad para predecir la falla del sistema, la influencia de la geometría y el comportamiento del material con el que fue construido.

INFORMACION DEL MODELO	
Propiedad del estudio	Valor
Nombre del estudio	Estudio estático de tuberías
Tipo de estudio	Estático lineal
Tipo de mallado	Superficie
Verificación de geometría	Activado
GEOMETRIA DEL ESTUDIO: SUPERFICIES	
Nombre de la superficie	Grosor
Tuberías MANIFOLD	12,7 mm
PROPIEDADES DEL MATERIAL	
ACERO, ESTRUCTURAL	Valor
Densidad	7833,000 kg/m ³
Módulo de elasticidad	199947,953 MPa

Conductividad térmica	0,032 kW/m-C			
Calor específico	481,000 J/kg-C			
Coefficiente de Poisson	0,290			
Límite elástico	262,001 MPa			
CARGAS				
Nombre	Tipo	Valor	Dirección	Opción de dirección
Gravedad 1	Gravedad	981 cm/s ²	(0.00, 0.00, -1.00)	A lo largo del vector
RESTRICCIONES				
Tipo de restricción	Grados de libertad disponibles			
Fijo	Ninguno			

Tabla 1: Datos condiciones estudio por elementos finitos.

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ESFUERZO

Se considera la teoría de **Von Mises**, utilizado generalmente para cálculo de secciones resistentes en estructuras o piezas. El criterio expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de Von Mises es igual al límite elástico. La distorsión en la pieza o el cambio de forma es lo que genera un esfuerzo cortante y al final produce la falla. Las tensiones suelen darse en MPa.

PRUEBA N°1

Este primer análisis fue realizado con un criterio simplificador representativo de referencia en la determinación de puntos fijos. Se busco verificar como es afectada la estructura base al ser sometida a la fuerza de la gravedad sin rigidización externa alguna.

Observaciones:

- A. En la Fig.3, la concentración de tensiones en la unión entre los tubos supera ampliamente el rango del límite elástico del acero estructural (262 MPa).

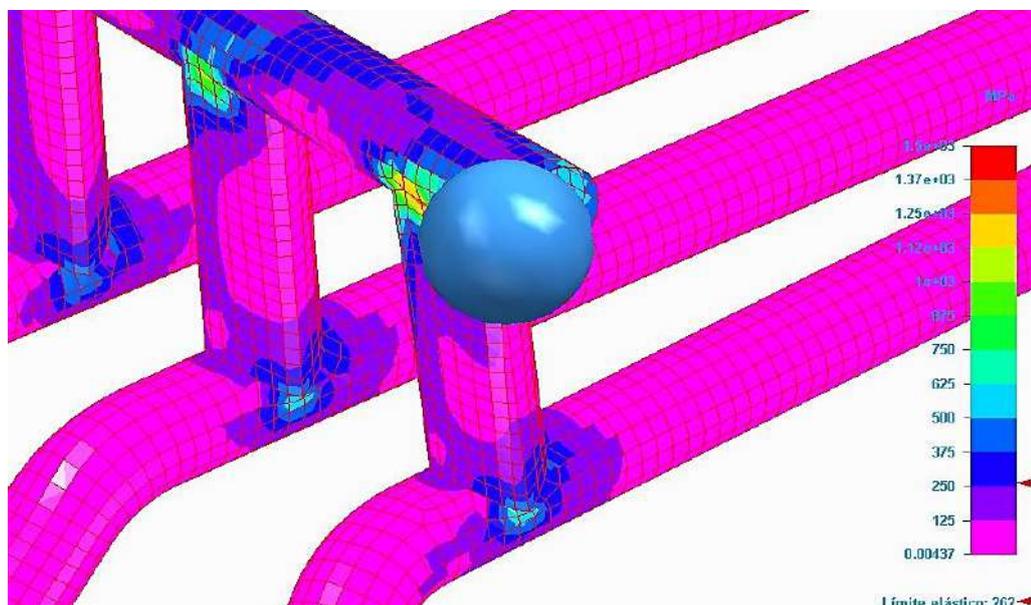


Figura 3: Tensión de Von Mises (prueba N°1)

B. La deformación total por traslación de la estructura excede los 1600mm (Fig.4)

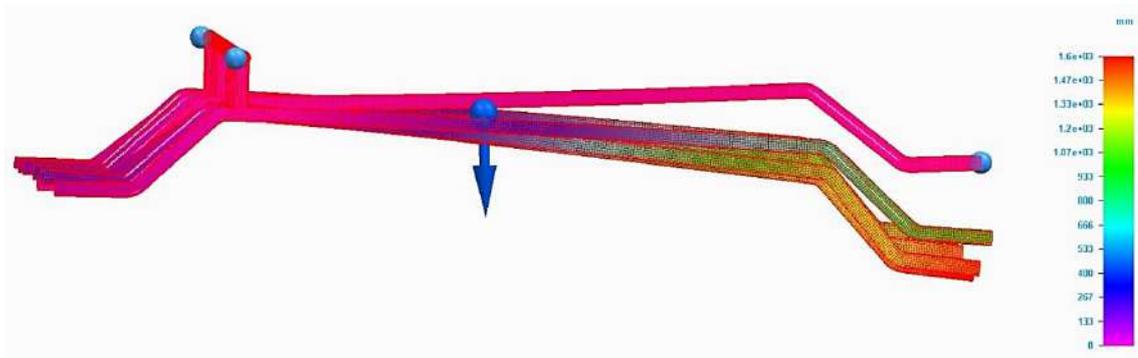


Figura 4: Deformación; Traslación total (prueba N°1)

Conclusión prueba N°1

De esta forma podemos asegurar que las condiciones son críticas para realizar la maniobra, comprometiendo en totalidad la integridad de las tuberías.

Es evidente que surge la necesidad de redistribuir los puntos de izado del conjunto.

PRUEBA N°2

Para la siguiente prueba se propone una redistribución de los puntos fijos o empotramientos en el estudio.

El objetivo es minimizar las deformaciones y tensiones críticas observadas en la prueba anterior.

Observaciones:

- A. A través de la simulación computacional de la pieza (Fig.5) se puede comprobar que la concentración de tensiones en la unión entre los tubos (zona crítica para el izado del manifold) permanecen menores al límite elástico del acero estructural (262 MPa), con lo cual no se produciría la falla según el criterio descrito con anterioridad (Von Mises), dando como resultado un valor máximo de tensión de 152 MPa.

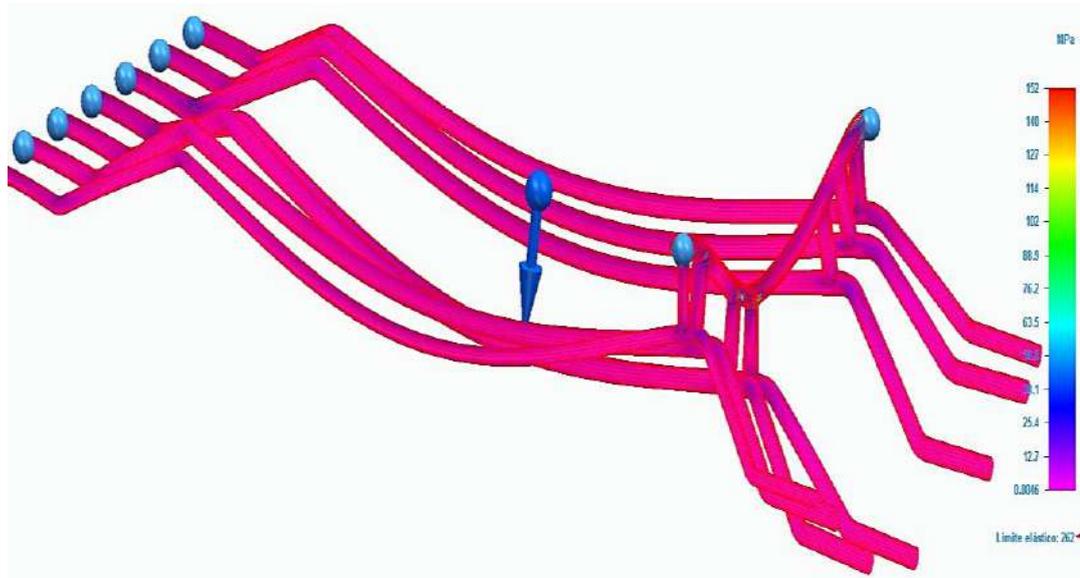


Figura 5: Tensión de Von Mises (prueba N°2).

B. La deformación total por traslación de la estructura es de 17,5mm (Fig.6).

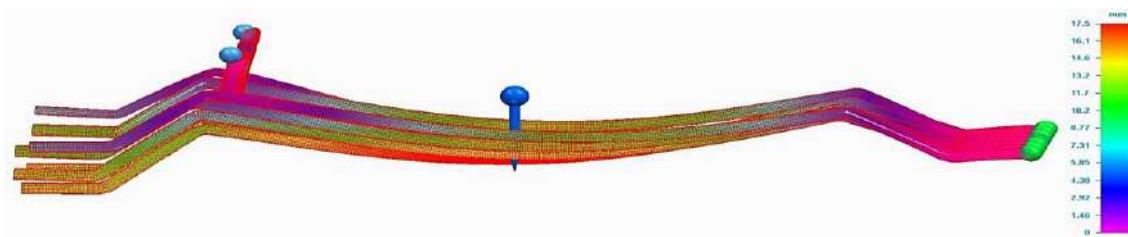


Figura 6: Deformación; Traslación total (prueba N°2).

Conclusión prueba N°2

Al aumentar y redistribuir los puntos de empotramiento podemos asegurar que las condiciones críticas observadas por la maniobra de la PRUEBA N°1, se han reducido considerablemente, asegurando la integridad de las tuberías a la hora del montaje.

PRUEBA N°3

A diferencia de las anteriores, esta prueba se llevó a cabo utilizando el software FEMAP (NX NASTRAN) donde se procedió al rediseño y agregado de refuerzos estructurales en el conjunto con sobrantes del taller.

Perfiles L (Alma:200X90mm; Ala 90X14mm) y planchuelas de espesor 10mm fueron propuestos por el sector de estructura perteneciente a la oficina técnica del ARS.

En este caso la disposición de los elementos de traslado (perchas, eslingas, etc.), se cotejó con las posibilidades reales de maniobra.

Observación zona crítica de unión entre tubos y deformación total:

- A. El Estado tensional obtenido mediante el modelo computacional mostrado en la Fig. 7, promedia la tensión actuante de los 4 nodos para cada elemento de la malla correspondiente a la zona de unión entre tubos. Dicho número observado ronda el valor de 70MPa, con lo cual permanecen muy por debajo al límite elástico del acero estructural (262 MPa).

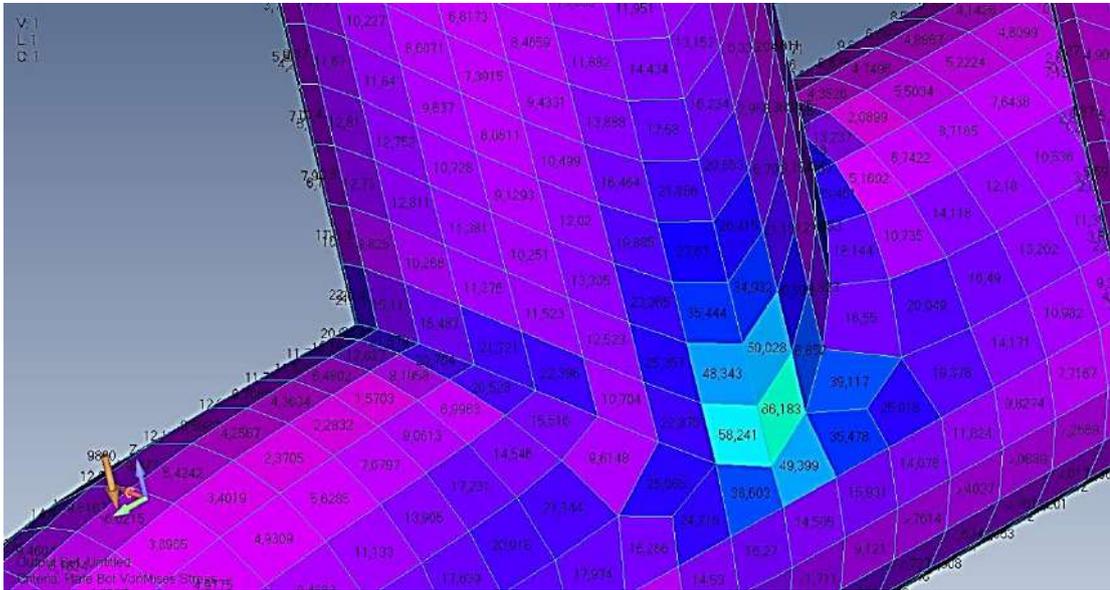


Figura 7: Promedio tensión actuante de los cuatro nodos para cada elemento de malla (prueba N°3).

- B. La deformación total por traslación de la estructura es de 12,996mm (Fig.8).

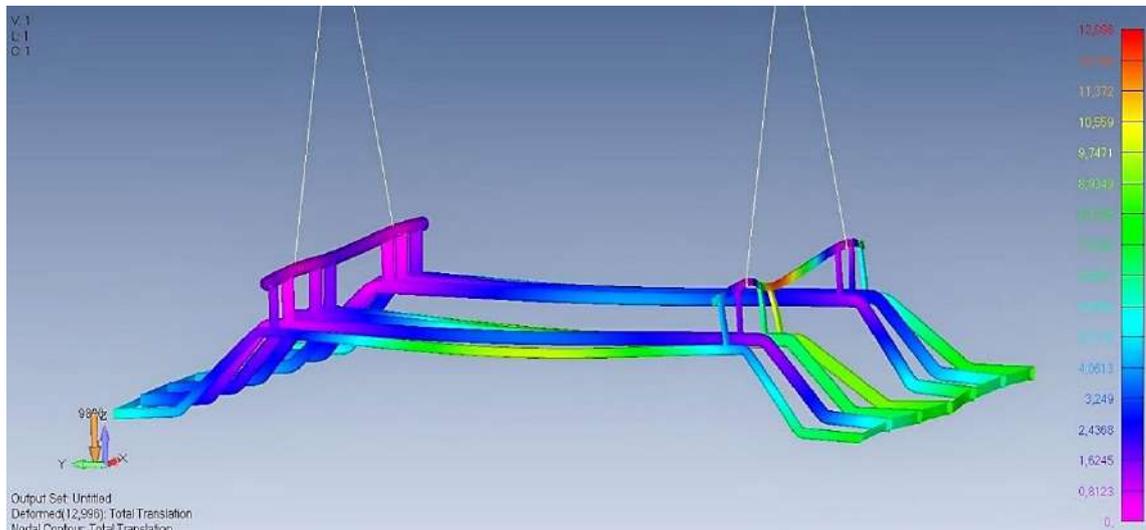


Figura 8: Deformación; Traslación total (prueba N°3).

Conclusión prueba N°3

Como se detalló anteriormente, para el presente análisis, se agregaron elementos de rigidización a la estructura base (manifold).

Dichas estructuras auxiliares provisionarias (se utilizan exclusivamente para la maniobra) demostraron ser de gran eficacia a la hora de disminuir las tensiones máximas y reducir las deformaciones en el conjunto.

LECCIONES APRENDIDAS

El diseño asistido por ordenador se encarga de la creación de la geometría del producto tanto en dos como en tres dimensiones, añade aplicaciones para su análisis como propiedades físicas, ensamblado y tolerancias.

Esta geometría permitió pasar rápidamente asociando la pieza al plano de manera que, si la geometría cambia en el 3D, también lo hará en el plano reduciendo el tiempo diseño.

Además, como complemento y para mejorar los resultados se puede incluir en el diseño del producto un análisis de elementos finitos (FEM) que nos ayudarán a optimizar los cálculos de tensiones y desplazamientos ante una sollicitación de cargas generadas sobre la pieza, es lo que se conoce por Ingeniería asistida por ordenador (CAE).

Por otro lado, también es probable que en algunos casos esta integración ideal no resulte fácil de llevar a cabo, debido falta de compatibilidad total entre sistemas distintos a la hora de intercambiar información, especialmente cuando se trata de modelos complejos en CAD.

CONCLUSIÓN

Los softwares utilizados son “herramientas de trabajo” que en todos los casos deben ser acompañados por un correcto criterio de ingeniería a la hora de plantear condiciones y soluciones alternativas.

Un enfoque de ingeniería cualitativa debe asegurar que los resultados de estos cálculos sean evaluados en conjunto con la experiencia práctica de los diseñadores y analistas, y en último caso, con el respaldo de datos de pruebas experimentales.

Los resultados contenidos en este informe sobre una idea de diseño bajo condiciones ambientales determinadas, si bien se consideran fiables, no deben adoptarse como garantía de validez.

RECURSOS UTILIZADOS

Software usado: Solid Edge (221.00.03.003 x64); Femap (2020.1.1); Rhino 7; Foran.

Solucionador usado: NX Nastran (2020.1).

[1] PS: Marchetti, I., 2021. Optimización de montaje del “Manifold de cargamento” en buque de 47000 DWT. Enlace: <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/2844>

SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO PARA MATERIAL PULVERULENTO

Di Pietrantonio Franco

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad
Tecnológica Nacional

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el cálculo y evaluación de la modificación de un sistema de transporte neumático de material pulverulento (materia prima), que sustituirá a un mecanismo existente, con el fin de generar una mejora dentro de un proceso productivo. Lo cual influirá en una disminución de los tiempos de producción y en la mejora de las condiciones de operación.

INTRODUCCIÓN

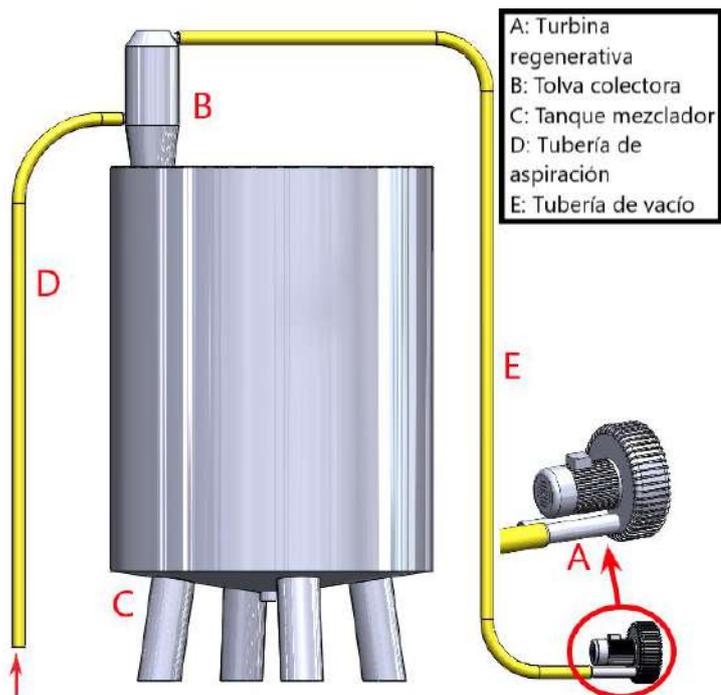
Marco de referencia

El estudio de dicho mecanismo se realiza para cumplir con los requerimientos de una empresa encargada de la producción y comercialización de insumos fitosanitarios para el campo, la industria y la ciudad, tales como, insecticidas y herbicidas. Para la formulación de estos productos se debe realizar la unión de un principio activo (polvo), con ciertos aditivos y solventes en cantidades específicas. El hecho de que sea un proceso a gran escala deriva en que la unión de estos componentes principales se haga en tanques de entre 10 y 20 m³ mediante carga superior. Por lo que debe transportarse de alguna forma desde la altura del suelo hasta la parte superior de dichos tanques (de 3 a 4 metros) una cantidad de producto que varía entre 2 y 5 toneladas, en el menor tiempo posible para favorecer la productividad.

Además, el alto grado de peligrosidad de éste, advierte que no debe existir contacto alguno con los operarios ni estar presente en el ambiente de trabajo.

Mecanismo existente (neumático)

Actualmente el proceso se realiza con un sistema de transporte neumático por vacío. El esquema de la instalación se puede observar en la figura 1. La cual está compuesta por el tanque principal mezclador, la tubería de aspiración de producto, un tanque colector provisto de filtros de mangas en el interior, la tubería de vacío y una turbina regenerativa encargada de generar la presión negativa. El proceso se produce en ciclos intermitentes de carga y descarga.

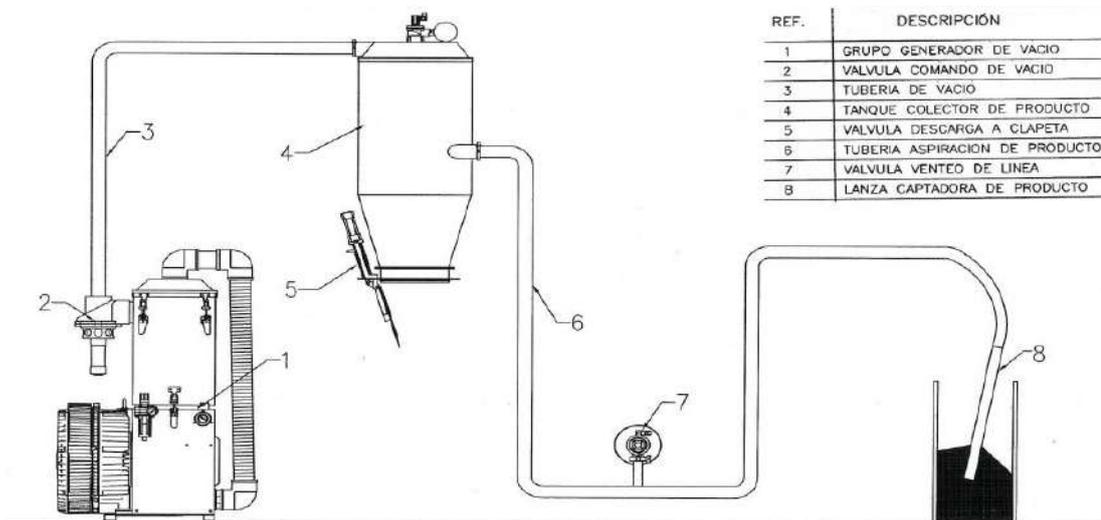


A: Turbina regenerativa
 B: Tolva colectora
 C: Tanque mezclador
 D: Tubería de aspiración
 E: Tubería de vacío

Figura 1 - Esquema de la instalación de transporte neumático

El ciclo de carga comienza cuando la válvula (2), obsérvese figura 2, conecta la aspiración al tanque colector de producto (4), y se produce al mismo tiempo el cierre de la válvula de descarga a clapeta (5). El vacío generado en el interior del tanque colector se transmite a la tubería de aspiración de producto, y el material ingresa a través de la lanza y el tanque colector comienza a llenarse de material. Una vez lleno el volumen útil del tanque colector, la válvula de comando de vacío (2) conmuta e interrumpe la aspiración al sistema. A continuación, se realiza la apertura de la válvula de descarga a clapeta para permitir la salida del material acumulado en el tanque colector hacia el tanque principal. Y en forma casi simultánea se produce un disparo de aire comprimido por la parte superior del recipiente acumulador que posibilita la limpieza en contracorriente de los filtros de mangas.

A demanda de un sensor capacitivo de nivel en el tanque colector, comienza un nuevo ciclo de carga, repitiéndose el proceso anterior. Los parámetros de funcionamiento, tales como tiempos de transporte, descarga de material y cantidad de ciclos de limpieza de los filtros son regulables mediante un PLC de control.



REF.	DESCRIPCIÓN
1	GRUPO GENERADOR DE VACÍO
2	VALVULA COMANDO DE VACÍO
3	TUBERIA DE VACÍO
4	TANQUE COLECTOR DE PRODUCTO
5	VALVULA DESCARGA A CLAPETA
6	TUBERIA ASPIRACION DE PRODUCTO
7	VALVULA VENTEO DE LINEA
8	LANZA CAPTADORA DE PRODUCTO

Figura 2 - Componentes del sistema de transporte neumático

Problemáticas existentes

1. El principal inconveniente que se presenta es producto de una característica propia del proceso productivo. La unión del principio activo, los aditivos y el solvente en el tanque principal genera una reacción exotérmica, con temperaturas de entre 40 y 50°C. Estas temperaturas, como es de esperar, dan lugar a la generación de vapores, los cuales, entran en el tanque colector cuando se abre la clapeta de descarga. En consecuencia, hay un aumento de la humedad del polvo presente en el ambiente de los filtros de mangas, lo que provoca la obstrucción de estos, adhiriéndose material. De esta forma se hace imposible su limpieza por medio de las inyecciones de aire comprimido a contracorriente, disminuyendo el rendimiento del sistema y debiendo realizarse numerosas paradas por mantenimiento correctivo durante el proceso de formulación. Este problema se observa claramente en la figura 3.



Figura 3 - Consecuencia de la presencia de vapores en el tanque colector

Como es de esperar, esto genera altos costos de mantenimiento ya que se debe hacer el recambio de los filtros con más frecuencia de lo normal. Influyendo directamente sobre los tiempos de producción y provocando grandes pérdidas económicas.

2. Otra problemática que se presenta son los tiempos de carga. Por lo general, suele dosificarse aproximadamente 5 toneladas del principio activo (polvo), dependiendo de la concentración del producto que se desea formular. Actualmente este proceso está demandando entre 4 y 5 horas, siendo totalmente desfavorable en lo que a productividad respecta.

OBJETIVOS

General: Evaluar los pros y contra de la modificación del equipo de vacío para el transporte de activos-herbicidas en polvo.

Específicos: Lograr una disminución de los tiempos de producción, evitando paradas por mantenimiento correctivo durante los procesos de formulación y roturas inesperadas por malas condiciones de operación.

DESARROLLO

Verificación de la capacidad del sistema

Para estudiar el sistema actual para el transporte de producto, se procedió al análisis práctico y analítico del proceso.

Se realizaron mediciones en planta mientras el equipo estaba en funcionamiento, pudiendo observarse las máximas caídas de presión en los vacuómetros instalados, los caudales y los tiempos de carga, para ser comparados luego con los obtenidos por medio de los cálculos.

Así se obtuvieron los siguientes datos:

Presión a la entrada de la turbina = 400 mbar de vacío (figura 4).

Presión en el filtro de mangas = 26 cm Hg = 346 mbar de vacío.

Cantidad de material a cargar = 2 toneladas.

Tiempo de carga = 1 hora.

Caudal de material = 2 ton/hr.



Figura 4 - Presión a la entrada de la turbina

Cálculos de verificación

Una vez obtenidos los datos de campo, se realizó el análisis teórico, utilizando el procedimiento de cálculo detallado en la bibliografía adjunta (González, P. pág. 20 a 50 [3]), para comparar los valores obtenidos de los dos métodos.

1) Especificación de las características del material a transportar:

Polvo activo-herbicida.

Peso específico:

$$Y_s = 1210 \text{ Kg/m}^3$$

Tamaño de partícula:

$$d_s = 0.5 \text{ mm} = 0.0005 \text{ m}$$

2) Cálculo de la velocidad mínima de transporte (ecuación de Newton):

$$V_f = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d_s \cdot (Y_s - Y_a)}{3 \cdot C_d \cdot Y_a}} \quad (1)$$

Donde:

- Vf: Velocidad final o mínima de transporte [m/s]
- g: Aceleración de la gravedad [9.8 m/s²]
- ds: Diámetro de la sección de la partícula [m]
- Ys: Peso específico del material [Kgf/m³]
- Ya: Peso específico del aire [1.2 Kgf/m³]
- Cd: Coeficiente de arrastre [1.2 adim.]

El coeficiente Cd depende del tamaño de la partícula y del número de Reynolds, y se obtiene del gráfico de la figura 5.

$$Re = \frac{V_f \cdot d_s}{\nu_a} \Rightarrow V_f = \frac{Re \cdot \nu_a}{d_s} \quad (2)$$

Donde: Re:

- úmero de Reynolds [adim]
- Vf: Velocidad final o mínima de transporte [m/s]
- ds: Diámetro de la sección de la partícula [m]
- νa: Viscosidad cinemática del aire [m²/s]

Igualando las ecuaciones (1) y (2) se obtiene la expresión “Re².Cd” necesaria para ingresar al gráfico y encontrar el valor del coeficiente de arrastre.

$$Re^2 \cdot C_d = \frac{4 \cdot g \cdot d_s^3 \cdot (Y_s - Y_a)}{3 \cdot \nu_a^2 \cdot Y_a} \quad (3)$$

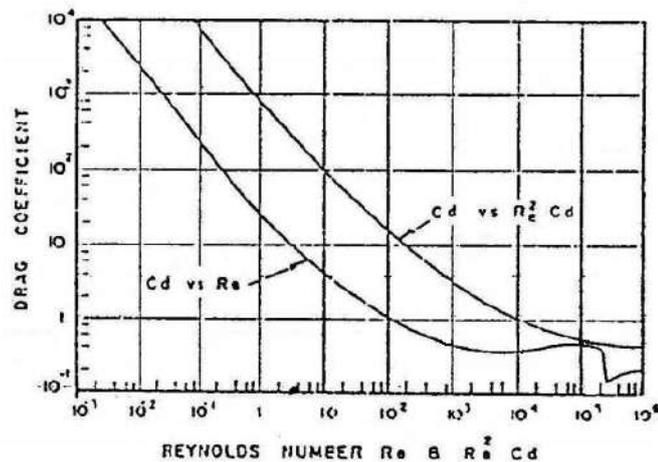


Figura 5 - Coeficiente de arrastre vs número de Reynolds

Y así, reemplazando valores en la ecuación (1) se llega a:

$$V_f = 2.33 \text{ m/s}$$

3) Especificación del caudal de material a transportar en Kg/s.

La totalidad del polvo se debe cargar en 1 hr. Por lo que el caudal será:

$$G_s = 4 \text{ ton/hr} = 1.11 \text{ Kg/s}$$

4) Especificación de la longitud de tuberías, verticales y horizontales.

$$L_v = 5 \text{ m}$$

$$L_H = 3 \text{ m}$$

5) Determinación de diámetro de tubería.

$$D = 2.5'' = 0.0635 \text{ m}$$

6) Especificación de la velocidad del aire de transporte.

MATERIAL	VELOCIDAD DEL AIRE (Va)
Algodón	20 – 25 m/s
Arena	30 – 46
Aserrín	20 – 30
Avena	22 – 30
Azúcar	25 – 30
Café entero	17 – 20
Cal	25 – 35
Carbón en polvo	22 – 30
Cemento Pórtland	30 – 46
Centeno	25 – 35
Hilachas	20 – 25
Lana	22 – 28
Maíz	25 – 35
Partículas de esmeril	18 – 20
Polvo ligero, virutas ligeras	12 – 17
Semillas de algodón	20 – 30
Sal	28 – 38
Trigo	25 – 35
Virutas de metal	25 – 36

Tabla 1 - Velocidades de transporte recomendadas

Obteniéndose de la tabla 1 para nuestro caso (polvo ligero):

$$V_a = 12 \text{ m/s}$$

7) Caudal de aire, concentración y velocidad de la partícula.

$$Q = V_a \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \tag{4}$$

$$Q = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\mu = \frac{G_s}{G_a} = \frac{G_s}{V_a \cdot Q} \tag{5}$$

$$\mu = 24.34$$

$$V_s = V_a \cdot (1 - 0,008 \cdot d_s^{0,3} \cdot Y_s^{0,5}) \tag{6}$$

$$V_s = 9.3 \text{ m/s}$$

Donde: $\left\{ \begin{array}{l} Q: \text{caudal de aire [m}^3/\text{s]} \\ V_a: \text{velocidad del aire [m/s]} \\ D: \text{diámetro de la tubería [m]} \\ \mu: \text{concentración [adim]} \end{array} \right.$

- Gs: caudal másico de material [Kg/s]
- Ga: caudal másico de aire [Kg/s]
- Ya, Ys: pesos específicos del aire y del material [Kgf/m³]
- Vs: velocidad de la partícula de material [m/s]
- ds: diámetro de la partícula [mm]
- Caída de presión del sistema.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{ac} + \Delta P_V + \Delta P_H + \Delta P_{codo} + \Delta P_{filtro} + \Delta P_{TV} \quad (7)$$

- Donde: ΔP_{ac} son las pérdidas debidas a la aceleración del material [mmH₂O]
- ΔP_V : las pérdidas en el transporte vertical [mmH₂O]
 - ΔP_H : las pérdidas en el transporte horizontal [mmH₂O]
 - ΔP_{codo} : las pérdidas en los codos [mmH₂O]
 - ΔP_{filtro} : las pérdidas en el filtro de mangas [mmH₂O]
 - ΔP_{TV} : Las pérdidas en la tubería de vacío. [mmH₂O]

Para este sistema las pérdidas en los codos serán despreciables ya que la curva de entrada a la tolva es de un radio muy amplio.

- Pérdidas por aceleración:

$$\Delta P_{ac} = Ya \cdot \frac{Va^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + 2 \cdot \mu \cdot \frac{Vs}{Va}\right) \quad (8)$$

$$\Delta P_{ac} = 341.4 \text{ mmH}_2\text{O}$$

- Pérdidas por transporte vertical:

$$\Delta P_V = \mu \cdot Ya \cdot Lv \cdot \frac{Va}{Vs} \quad (9)$$

$$\Delta P_V = 188.46 \text{ mmH}_2\text{O}$$

- Pérdidas por transporte horizontal:

$$\Delta P_H = Ya \cdot \frac{Va^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{L_H}{D} \cdot (f_a + \mu \cdot f_s) \quad (10)$$

Siendo f_a y f_s los factores de fricción del aire y partícula respectivamente. (pág. 47 de González, P. [3])

$$\Delta P_H = 339.4 \text{ mmH}_2\text{O}$$

- Pérdidas en los filtros de mangas están estipuladas entre 10 y 50 mbar (102 y 510 mmH₂O).
- Pérdidas en la tubería de vacío:

$$\Delta P_{TV} = \frac{4 \cdot f \cdot L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot C^2}{2} \cdot 0,1019 \quad (11)$$

Teniendo en cuenta, además, el filtro de la turbina y las válvulas:

$$\Delta P_{TV} = 408 \text{ mmH}_2\text{O}$$

- Donde:
- f: es el factor de fricción [adim]
 - L: es la longitud de la tubería [10 m]
 - ρ : es la densidad del fluido (aire) [kg/m³]
 - C: es la velocidad del fluido [m/s]

D: es el diámetro de tubería [0.063m]

0.1019: factor de conversión de unidades de Pascal a mmH₂O

Finalmente, reemplazando todos los valores en la ecuación (7):

$$\Delta P_{total} = 341.4 + 188.46 + 339.4 + 510 + 408 = 1787.21 \text{ mmH}_2\text{O} = 175.3 \text{ mbar}$$

9) Conclusión y comparación entre ΔP_{total} teórico y práctico.

Como se puede observar en la figura 4 y en el resultado obtenido de la ecuación (7), la diferencia entre la caída de presión real y la calculada es de 225 mbar.

La explicación para dicho aumento es que el único valor estimado en los cálculos, es decir, la pérdida en el filtro de mangas es mucho mayor durante el funcionamiento normal de la planta, producto de la problemática existente en la tolva, que fue explicada anteriormente. Y que a su vez se ve reflejada en la disminución del caudal de 4 a 2 ton/hr.

PROPUESTAS DE SOLUCIONES

Se procede al planteo de posibles soluciones con sus respectivas ventajas y desventajas.

Mecanismo propuesto (neumático + mecánico)

Para el problema con los vapores, expresado anteriormente, es evidente que hay que desvincular la tolva colectora de polvo con el reactor para así evitar que se produzca el bloqueo de los filtros.

Aquí surge la propuesta de la modificación del sistema actual, puramente neumático, y el adiconamiento de un sistema mecánico de transporte por tornillo sin fin (figura 6) conectando ambos tanques.



Figura 6 - Sistema de tornillo sin fin

Se puede observar el diseño final de la instalación en la siguiente figura.

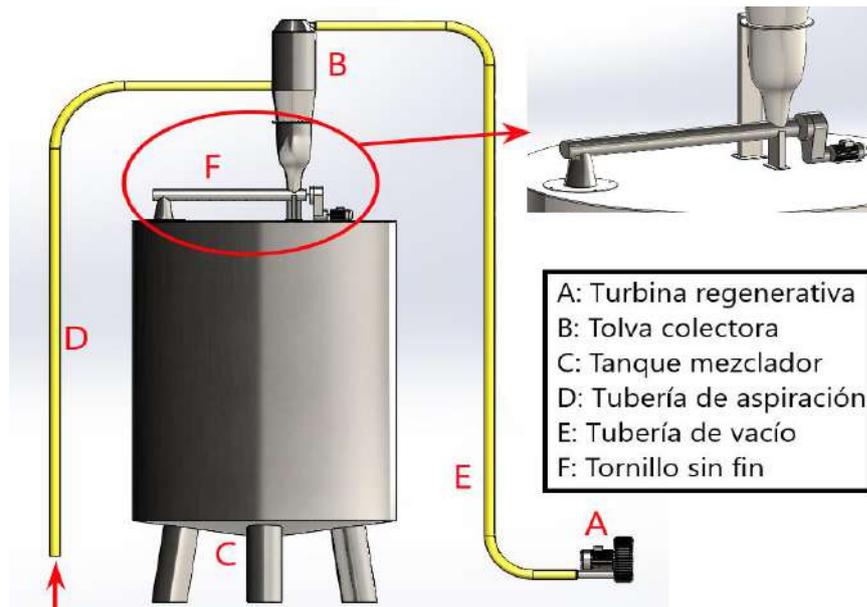


Figura 7 - Diseño final del sistema

El funcionamiento seguirá siendo por ciclos de aspiración, con la diferencia de que el tanque colector descargará el polvo en el tornillo sin fin y este será el encargado de dosificarlo al tanque mezclador.

Ventajas:

- El sistema neumático es silencioso y la presión negativa evita pérdidas del producto en las posibles fugas del sistema de tuberías.
- Así mismo, el sistema de tornillo sin fin tiene la posibilidad de hacerse fácilmente hermético, garantizando una atmósfera de trabajo completamente libre de polvo.
- Mayor duración de los filtros de mangas debido a la ausencia de vapores en el tanque colector.
- Fácil manipulación y limpieza del tornillo sin fin ante el cambio de producto debido a sus dimensiones reducidas.
- Aumento de la productividad con reducción de tiempos de carga.
- Disminución de los costos por mantenimiento o rotura.

Desventajas:

- Inversión inicial en el equipo de transporte mecánico.
- Necesidad de parar de planta para realizar la modificación.
- Mayores requerimientos de potencia eléctrica, debido a la incorporación de otro motor.
- Aumento del tiempo de limpieza entre cambios de producto, ya que se agrega un dispositivo más a esta tarea.

Modificación de tuberías

Ante la necesidad de disminuir los tiempos de carga, la teoría se centra en la reducción de la caída de presión en las tuberías para así poder aumentar el caudal de material.

1) Modificación de la tubería de vacío.

La primera propuesta se plantea en la tubería de vacío, la cual une la turbina regenerativa y el tanque colector de polvo. Basándonos en la teoría de la mecánica de fluidos, la pérdida de carga en una tubería recta se puede determinar a partir de la ecuación de Darcy – Weisbach:

$$\Delta P = \frac{4 \cdot f \cdot L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot C^2}{2} \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (12)$$

Por lo tanto, queda claro al observar la ecuación (12), que la única forma de que “ ΔP ” sea menor es aumentar el diámetro “D”, reducir la velocidad “C” y la longitud “L”. La velocidad se verá afectada directamente por el aumento de la sección de la tubería.

De modo que se propone modificar la tubería actual de 2.5 pulgadas (63.5mm) de diámetro, colocando una de 3” (76.2mm) y disminuir la longitud lo más que se pueda, redireccionándola por el camino más corto, sin interferir en los demás aspectos del proceso.

Ventajas:

- Disminución de la caída de presión en un 20%, lo cual generará una mejora en el rendimiento de la instalación.

Desventajas:

- No se encuentran desventajas significativas en esta modificación, ya que las tuberías están disponibles en el depósito de mantenimiento de la empresa.

2) Modificación de la tubería de aspiración de material.

En este caso, el ducto contiene aire y polvo en su interior. La caída de presión aquí es más compleja ya que depende de más parámetros, como se observa en las ecuaciones (8), (9) y (10). Analizando estas dos últimas, vemos que el valor más sencillo de reducir es la longitud vertical y horizontal.

Aquí se realizó la prueba, de aspirar el material desde la plataforma elevada en la parte superior del tanque en vez de hacerlo desde el suelo (figura 8).



Figura 8 - Reducción de longitud de aspiración

Ventajas:

- Aumento considerable del caudal de material y una disminución del tiempo de carga en un 25%.

Desventajas:

- Necesidad de disponibilidad del auto elevador para subir los bolsones hasta la plataforma.
- Espacio reducido para maniobrar el vehículo.

RESULTADOS

- En primera instancia se llevó a cabo la modificación de la tubería de vacío ya que no presentaba ninguna contraindicación. Se colocó la tubería de 76.2 mm de diámetro y se redujo la longitud en 2 metros.
- Por otro lado, la aspiración desde la plataforma se desestimó y no se recomienda porque, a pesar de la mejora que brinda, pone en riesgo la seguridad de los operarios.
- Lo más importante fue que se desvinculó la tolva colectora de polvo del tanque principal por medio de la instalación del tornillo sin fin. El cual se calculó y dimensionó según los procedimientos detallados en la bibliografía [5]. Que, en base a las características del material a transportar, el caudal, el diámetro, paso y largo del tornillo; nos indicó la necesidad de utilizar un motor eléctrico de 0,5 KW de potencia para cubrir las necesidades.
- Y, por último, se le realizó a la instalación completa un análisis de riesgo con el software "Open PHA" para detallar las variables que influyen en el proceso de formulación y estudiar así las causas y consecuencias ante un cambio en dichos parámetros.

CONCLUSIÓN

Se logró cumplir con los objetivos planteados en un principio y con los requerimientos de la empresa. Las modificaciones realizadas generaron una disminución de los tiempos operativos en un 40%, que a su vez influyen en la duración de la formulación y, en definitiva, el producto terminado llega más rápido al proceso de envasado. Los costos por mantenimiento también se vieron reducidos. En fin, son todos aspectos positivos.

Algo negativo que se puede destacar es la demora que se generó en la tratativa con los proveedores del transporte mecánico y la entrega del mismo, lo que provocó una extensión en la fecha de culminación del proyecto.

Y para finalizar, las materias de la carrera que tomaron relevancia para la realización de este trabajo y que se vieron relacionadas con el tema son: Mecánica de los Fluidos, Elementos de Máquinas, Instalaciones Industriales, Automatización Industrial, Organización Industrial, Mantenimiento y Electrotecnia y Máquinas Eléctricas.

Como conocimientos adquiridos se destaca el hecho de haber aprendido a realizar un análisis de riesgo y a utilizar el programa necesario para su estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mills, D. (2004). "Pneumatic Conveying Design Guide", Second Edition. London, England: Elsevier Butterworth-Heinemann.
2. Gormaz, P. (2011). "Transporte neumático de alimento peletizado", Universidad Austral de Chile.
3. González, P. (2006). "Transporte neumático de quinua", Universidad Católica del Perú.
4. Mataix, C. (1986). "Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas", Segunda edición. Madrid, España: Ediciones del Castillo, S.A.
5. S. Keys y A.J. Chambers, "Scaling Pneumatic Conveying Characteristics for Pipeline Pressure", POWDER HANDLING & PROCESSING, Volume 7, No 1, January / March 1995. p. 59-62.
6. Rodríguez Galbarro, H. "Cálculo de transportadores de tornillo sin fin", Sevilla, España.

Ingeniería de dispositivo para la demostración didáctica del fenómeno de termosifón

Córdoba Agustina

Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional La Plata, Universidad

Tecnológica Nacional

Resumen

El fenómeno físico de termosifón se presenta cuando en un circuito cerrado se establece una circulación convectiva debido a la diferencia de densidades entre los volúmenes de un fluido a diferentes temperaturas. Este fenómeno se utilizó en diversas aplicaciones de enfriamiento / calefacción, siendo un claro ejemplo de esto, los sistemas de enfriamiento por termosifón utilizados en la refrigeración de Motores de Combustión Interna (MCI), en los comienzos de la industria automotriz. Pero lejos de abandonarse su uso, hoy en día la circulación convectiva de fluido por termosifón es el modo utilizado por millones de calentadores solares de agua para uso sanitario doméstico y hasta para pequeños emprendimientos industriales.

Para que este fenómeno se desarrolle de manera eficiente, se tienen que cumplir algunas condiciones, cuya incidencia intentaremos poner de manifiesto con un dispositivo experimental.

El objetivo perseguido entonces es construir un dispositivo de laboratorio para la visualización y comprensión del fenómeno de circulación de un fluido por termosifón.¹

Palabras claves

- Termosifón
- Energía Solar Térmica
- Convección
- Fluidos

Introducción

Uno de los conceptos que estudiamos en ingeniería mecánica es la transferencia de calor por convección. La convección es una forma de propagación de energía en medio materiales fluidos (líquidos o gaseosos) con desplazamiento macroscópico de materia. Por ejemplo, al calentar el agua en una cacerola, el agua que entra en contacto con la base de la cacerola asciende al calentarse, mientras que el agua de la superficie desciende por las paredes del recipiente al encontrarse a una temperatura menor, y ocupa el lugar que dejó la porción caliente.

La convección puede ser natural donde el movimiento del fluido se debe a variaciones de densidad originadas por gradientes de temperatura o puede ser forzada donde el movimiento del fluido es provocado por fuerzas impuestas externamente, como el gradiente de presiones generado por bombas o compresores. [1]

Una forma de cuantificar la convección natural es mediante el número de Grashof, que se define como la relación entre la fuerza de flotación² y la fuerza viscosa³ que actúa sobre un fluido en la capa límite⁴ de velocidad. La densidad disminuye debido a un aumento de la temperatura y hace que el líquido suba. Este movimiento es causado por la fuerza de flotación. La fuerza principal que resiste el movimiento es la fuerza viscosa. El número de Grashof es una forma de cuantificar las fuerzas opuestas.

[2]

$$Gr = \frac{g\beta|\Delta T|L^3\rho^2}{\mu^2} = \frac{\text{Fuerza de flotación}}{\text{Fuerza viscosa}}$$

Donde:

- g gravedad
- β coeficiente de expansión térmica
- ΔT diferencia de temperatura
- L longitud característica
- ρ densidad del fluido
- μ viscosidad

Los sistemas termosifónicos funcionan en modo de convección natural por lo cual es necesario entender bien su funcionamiento.

En el caso de los calentadores solares de agua, la circulación del fluido es por convección natural. El agua dentro del colector es calentada por el sol, disminuye su densidad y fluye hacia arriba para ingresar al tanque de almacenamiento, mientras que el agua fría, de mayor densidad, fluye hacia abajo creando una circulación continua. El flujo convectivo o termosifónico continúa mientras el sol calienta el colector. [4]

La construcción del dispositivo didáctico pretende completar la comprensión del tema, permitiendo que el/la alumno/a verifique los conceptos aprendidos en la teoría, y pueda encontrar las condiciones para que el mismo funcione correctamente.

Marco de referencia

En el informe de la práctica supervisada de un alumno de mecánica [5], se presentó el diseño de una instalación solar de agua caliente sanitaria para una vivienda multifamiliar, donde se deja demostrado que es posible utilizar los dispositivos que utilizan la energía solar para calentar agua mediante el fenómeno de termosifón para el consumo familiar. También es posible utilizarlos para procesos de climatización y procesos industriales, entre otros usos.

En este trabajo dejaré las bases para la construcción de un dispositivo que será usado como equipo experimental en las clases de Tecnología del Calor, para que de manera sencilla se pueda visualizar el fenómeno y las condiciones en las cuales funciona.

Entonces, la creación del modelo físico nos permitirá usarlo como demostración didáctica y para asentar los conocimientos de una manera visual, donde los/as alumnos/as podrán interactuar con el dispositivo.

El cuerpo principal de este informe consistirá en la documentación para la construcción del dispositivo, los materiales necesarios, los procesos requeridos y su puesta en funcionamiento.

Desarrollo

Funcionamiento

En los Sistemas Solares Térmicos (SST) se aprovecha la energía radiante del sol para calentar agua o cualquier otro fluido que posteriormente será utilizado en diversas aplicaciones.

Los SST constan de dos componentes esenciales: el colector y el tanque acumulador. El colector se encarga de transformar la energía solar en calor y calentar un fluido que circula en su interior. El tanque acumulador se encarga de almacenar ese fluido caliente para su posterior uso.

La circulación del agua entre ambos elementos tiene lugar por el fenómeno de termosifón.

En la figura 1 se pueden apreciar los distintos tipos de sistemas. [4]

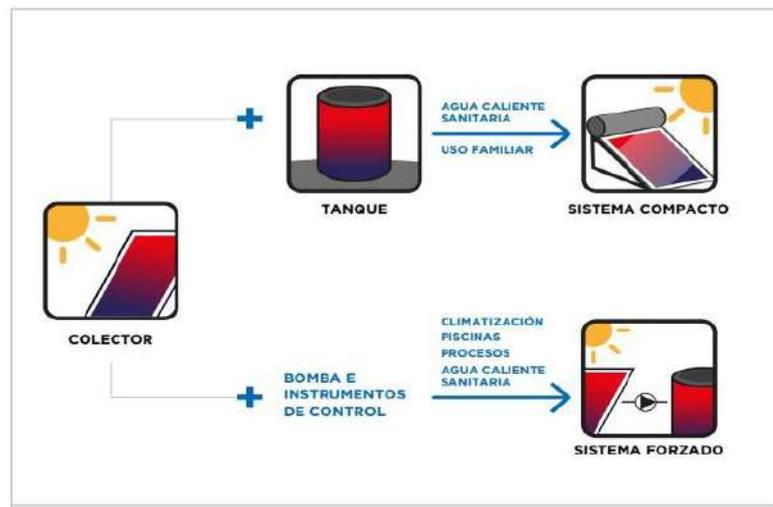


Figura 1: Distintos tipos de Sistemas Solares Térmicos.

En nuestro caso para el dispositivo didáctico, tendremos circulación natural que no utiliza bombas u otras herramientas para movilizar el fluido entre fuente caliente y fuente fría. En estos la circulación es por gravedad y es debido a la diferencia de densidades en el fluido, esto se mantendrá mientras una fuente de mayor temperatura caliente el fluido en la parte inferior del dispositivo.

Materiales y artefactos necesarios

El fin de este trabajo es dejar las bases para la construcción de un dispositivo de uso experimental-didáctico. Con elementos de laboratorio, que tengamos a disposición en la Facultad o que pueden ser fácilmente adquiridos, construiremos un sistema termosifónico.

Las partes que componen al sistema y los materiales necesarios son los siguientes:

- Dos recipientes contenedores, pueden ser:
 - Baldes de acero al carbono de 20 litros (versión económica)
 - Recipientes de acero inoxidable de 20 litros (este material presenta una gran resistencia a la corrosión, bajo mantenimiento y tiene gran durabilidad)

- Dos ramales de mangueras transparentes (PVC cristal) para interconectar los dos recipientes. Deben ser transparentes para poder visualizar el fluido circulante en su interior. Tendrán un metro de longitud cada una de ellas y un diámetro interior de 10 mm aproximadamente.

- Dos metros de tubo de cobre de 3/8" (9,52 mm).

Se elige este material debido a que el cobre además de poseer una elevada conductividad eléctrica también posee una alta conductividad térmica. De hecho, ambas propiedades son proporcionales y se relacionan a partir de la relación de Wiedemann-Franz, la cual se expresa a continuación:

$$L = \frac{k}{\sigma T}$$

Donde k es la conductividad térmica, σ la conductividad eléctrica, T la temperatura en grados Kelvin y L una constante, esta última conocida como número de Lorenz. El valor teórico de L es $2,4453 \times 10^{-8} \Omega \text{ W/K}^2$. Además, el cobre es un metal relativamente noble, pero, a diferencia del oro y otros metales preciosos, puede ser atacado por agentes y ambientes comunes. El cobre puro se caracteriza por resistir bastante bien frente a la mayoría de los ambientes corrosivos. [6]

- Una fuente de calor que utilice gas natural como combustible. Pueden utilizarse alternativamente mecheros de Bunsen u hornallas de la cocina. Ambos elementos están disponibles en el área de laboratorios.

- Instrumentos adecuados para la medición de temperatura, al menos uno para cada recipiente. Estos podrán ser termómetros de bulbo, sensores tipo PT100, o termocuplas. El rango de temperaturas a medir estará entre 0 -100°C y la discretización requerida es de 1° C. En el futuro se le pueden agregar sensores de placa Arduino que nos permitirían tener registrado en una base de datos las mediciones de temperatura.

- 15 litros de fluido refrigerante de uso vehicular. Este tipo de fluidos presentan una interesante coloración que lo torna muy adecuado para visualizar la circulación de este, además de los aditivos anticorrosivos necesarios para preservar las partes metálicas del dispositivo en contacto con él.

- 15 litros de fluido secundario, puede ser gasoil o aceite.

- Soporte con altura regulable para poder medir la influencia de la diferencia de altura entre las fuentes (con máxima diferencia de altura de 1 metro).

Construcción del dispositivo

A continuación, se detallan los pasos a seguir para la construcción y ensamblado de los distintos elementos del dispositivo:

1. El serpentín de cobre será un helicoide recto. Tendrá cuatro espiras de 150 mm de diámetro con separación de unos 40 mm entre espiras (figura2)



Figura 2: Distintas vistas del serpentín de cobre

2. Las conexiones en el recipiente podrán hacerse de distintas maneras:

- Versión recomendada: Hacer orificios sobre una generatriz del cilindro lateral de cada recipiente, uno cercano a la base y otro a media altura. Luego instalar conexiones pasa chapa tipo racords roscados o preferentemente niples soldados de longitud adecuada (unos 30 mm de longitud para montar el tramo de manguera).
- Versión económica: Agujeros realizados por punzonado hacia adentro con un diámetro menor al exterior de la manguera en al menos 1 mm. Esto permite un montaje bien sellado introduciendo la manguera con interferencia hacia el interior del recipiente. En el recipiente "A" solo se harán las conexiones hacia el exterior (figura 3)



Figura 3: Recipiente "A" con conexiones externas.

En el recipiente "B" será necesario disponer de conectores que atraviesen la pared del contenedor posibilitando conexiones externas e internas, como indica la figura 4.



Figura 4: Recipiente “B” con conexiones externas e internas.

Ensamblado del dispositivo

Los elementos constitutivos del equipo podrán configurarse en distintos arreglos. A saber, ⁵:

Configuración simple (un sólo fluido)

En este caso, el serpentín desnudo se instala en la posición inferior directamente sobre la fuente de calor y el recipiente “A” en altura cargado con fluido refrigerante.

Esta configuración sencilla responde al modo de circulación empleado en un calentador solar de agua no presurizado.

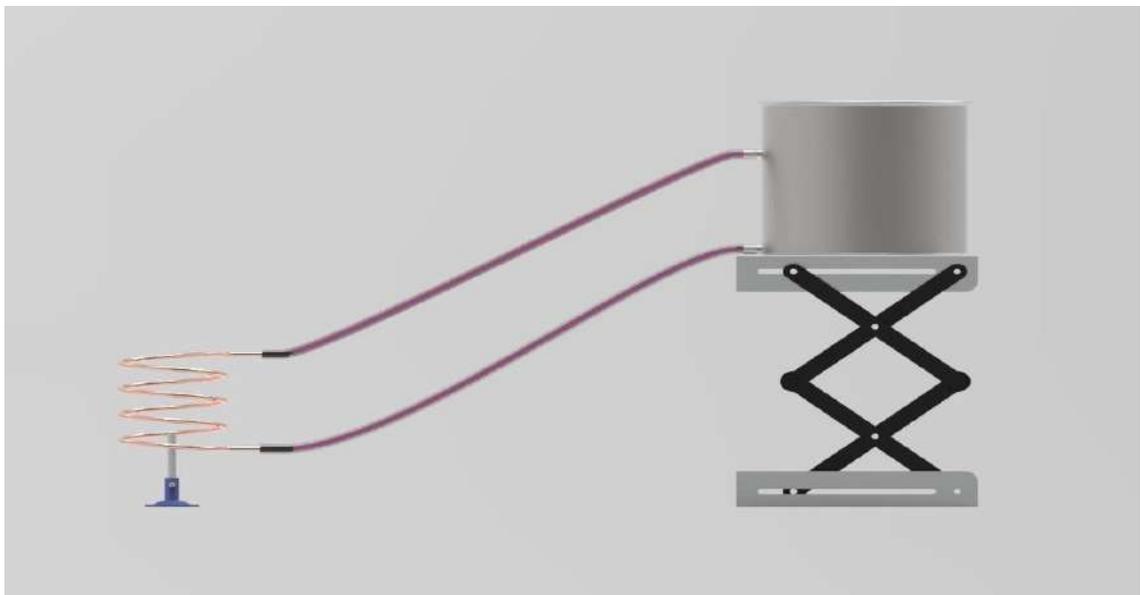


Figura 5: Vista lateral del dispositivo configuración simple.

En este caso se deberá interconectar los extremos del serpentín con los conectores del recipiente superior, utilizando los tramos de manguera y de acuerdo con la disposición indicada en la figura 5. Siendo el ramal superior el de ascenso del fluido caliente y el ramal inferior el correspondiente al descenso del fluido frío.

Configuración con fluido intermediario

Esta configuración posibilita el calentamiento indirecto de fluidos combustibles sin exponerlos directamente a fuente de calor con presencia de llama.

El dispositivo se arma con el recipiente "A" en la posición inferior y el recipiente "B" en la posición superior y con el serpentín instalado en su interior, a efectos de evitar la mezcla de ambos fluidos.

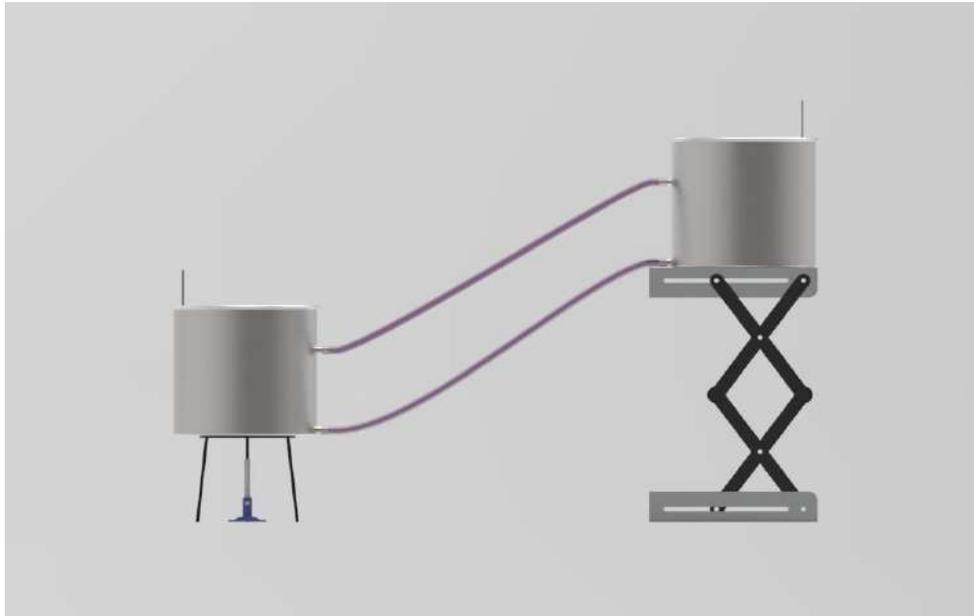


Figura 6: Vista lateral del dispositivo configuración con fluido intermediario.

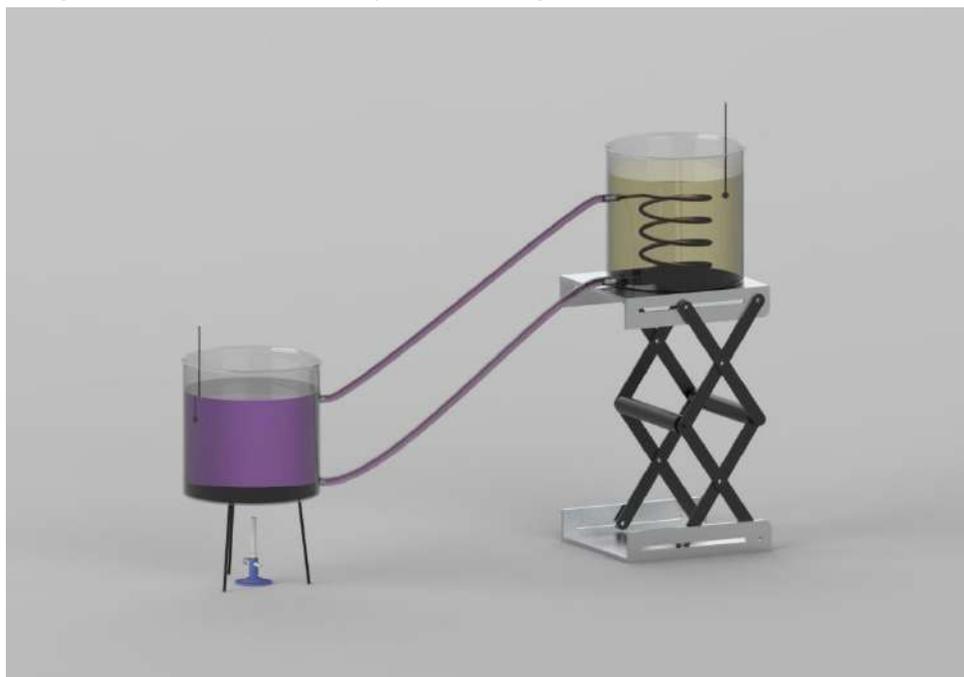


Figura 7: Vista del dispositivo que nos permite ver su interior y la ubicación de los recipientes.

Para el caso de la configuración con fluido intermediario deberemos interconectar los recipientes, según el arreglo indicado en la figura 6.

Indicaciones para correcto funcionamiento

Una vez que el dispositivo se encuentra ensamblado, se deben seguir una serie de pasos para ponerlo en funcionamiento:

1. En caso de la configuración con fluido intermediario, al contenedor inferior se lo debe cargar con fluido refrigerante hasta un par de centímetros por encima de la conexión superior.

2. Al contenedor superior se lo debe cargar con el fluido secundario que como indicamos podrá ser gasoil o aceite, hasta unos dos tercios de su capacidad, cubriendo con holgura el serpentín de calentamiento.
3. Una vez dispuestos los recipientes con una diferencia de altura dentro de los valores ya indicados, encenderemos el calentador debajo del recipiente inferior.
4. Una vez que el fluido coloreado se empieza a calentar, comenzará a ascender por el ramal superior y comenzará a manifestarse la circulación de fluido por termosifón.
5. Esta circulación podrá ser observada a partir del movimiento de partículas que inevitablemente habrá en el fluido refrigerante y en su defecto de pequeñas burbujas de gas que se liberan en el proceso de calentamiento.
6. Los sensores de temperatura instalados en ambos recipientes nos darán indicación cuantitativa del fenómeno.
7. Cabe destacar que estos pasos también aplican para la configuración simple, pero en vez de tener dos recipientes solo tendremos el recipiente "A" cargado con agua coloreada en la posición superior y el serpentín estará expuesto directamente al calor del mechero u hornalla donde comenzará a producirse y a manifestarse el fenómeno buscado.

Condiciones y preguntas

Algunos de los retos que se pueden plantear son:

- ¿Por qué motivo colocamos la fuente de calor en la posición inferior del dispositivo?
- ¿Qué incidencia tiene la diferencia de altura entre los recipientes?
- ¿Qué incidencia tiene la diferencia de temperatura entre los distintos ramales?
- ¿Funcionaría igualmente si cambiáramos la fuente de calor? Tal vez usando energía eléctrica o energías renovables.
- ¿Cuál es la influencia de la longitud y posición de las mangueras de interconexión?

Estas preguntas serán disparadoras para el intercambio de ideas con las/os alumnas/os.

Este dispositivo experimental está concebido para funcionar mediante el empleo de mecheros de Bunsen u hornallas por la disponibilidad y control que podemos tener relacionado con la fuente de calor.

No obstante, es importante indicar la inquietud planteada por el profesor de la cátedra "Tecnología de Calor" (antes de la pandemia) relacionada con la adquisición de un calentador solar de agua para el área de laboratorios y la voluntad manifiesta por autoridades del Departamento de Mecánica para solicitar esta compra.

Un equipo con estas características permitiría complementar estas experiencias y en tal caso se enfocaría el fenómeno de la transferencia de calor por radiación.

Resultados

Como podemos apreciar, se trata de un dispositivo de fácil realización y muy económico que demuestra de una forma sencilla el fenómeno de la circulación convectiva por termosifón (modo de circulación de fluido en los calentadores solares de agua sanitaria para uso domiciliario).

Es importante indicar que el dispositivo se puede complementar con el agregado de una placa adquisidora de datos de tipo Arduino y los sensores que permitan el registro de las temperaturas a lo

largo del tiempo, permitiendo trazar curvas de calentamiento que podrán compararse haciendo ensayos en distintas condiciones.

En el caso de utilizar una placa Arduino, se recomienda el sensor de temperaturas modelo LM35 que mide temperaturas en un rango de -55°C a 150°C [7] y que cubre holgadamente el rango de temperaturas del trabajo del equipo (0°C – 100°C) y que fueron indicadas anteriormente.

Conclusión/ Discusión

Es importante que, como estudiantes de ingeniería, conozcamos el principio de funcionamiento de equipos alternativos que utilizan energías no convencionales. Debemos sumar estos conocimientos para tener más recursos a la hora de desarrollar nuevas tecnologías o para que simplemente sepamos de su existencia y para que se usa.

La energía solar térmica es una solución que presenta numerosas ventajas, entre las cuales se pueden citar [8]:

- Su fuente de energía primaria, el sol, es siempre gratuita y abundante.
- Los sistemas solares térmicos presentan un rendimiento de conversión energética de radiación disponible a energía útil mayor al 50%, siendo uno de los factores de conversión más altos entre las diferentes energías renovables.
- No genera emisiones de gases de efecto invernadero, y a su vez reemplaza o complementa tecnologías que utilizan combustibles fósiles.



Figura 8: Ejemplos de equipos compactos que se consiguen en Argentina.

Relación de la PS con materias de la carrera

Este trabajo se puede vincular con varias materias que estudiamos dentro de la carrera de ingeniería mecánica.

Principalmente “Tecnología del Calor” donde estudiamos los conceptos de transferencia de calor y particularmente la convección natural que aplica al fenómeno de termosifón. También tiene incidencia “Mecánica de los Fluidos”, ya que podemos saber cómo se comportan los fluidos sometidos a temperatura y que tan importante es la pérdida de carga en sistemas circulantes animados por

convección natural.

Agradecimientos

A la Universidad pública y de calidad que tenemos en nuestro país y a todas las personas que me acompañaron durante la carrera y contribuyeron en mi formación, no sólo académica sino también personal.

Bibliografía

- [1] Material de cátedra de Tecnología del Calor.
- [2] Número de Grashof. Recuperado de <https://www.thermal-engineering.org/>
- [3] Cengel, Y. Cimbala, J. (2004) Mecánica de Fluidos, fundamentos y aplicaciones. Mc Graw Hill, 1ra edición.
- [4] Introducción a la energía solar térmica; contribuciones de Fabián Garreta ... [et al.]; coordinación general de Ignacio Romero; editado por Luis Christian Navntoft ; María Paz Cristófalo - 1a ed. revisada.- Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Gobierno de Energía, 2019.
- [5] Revista Mecánica Tecnológica (ISSN: 2683-9148) volumen 1, diciembre 2019, página 38 Diseño de instalación solar de agua caliente sanitaria para una vivienda multifamiliar.
- [6] Material de cátedra de Materiales Metálicos.
- [7] Ficha técnica Sensor de Temperatura LM35 en Arduino. Recuperado de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/leer-el-sensor-de-temperatura-lm35-en-arduino/>
- [8] Sistemas solares térmicos compactos para ACS: dimensionamiento e instalación; contribuciones de Fabián Garreta; coordinación general de Ignacio Romero; editado por Luis Christian Navntoft; María Paz Cristófalo; ilustrado por Nicolás Castelli; Candelaria Quesada. - 1a ed. revisada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Gobierno de Energía, 2019.

¹Debido al contexto actual de pandemia en este trabajo se dejarán las bases para la construcción del dispositivo para un futuro donde sea posible acceder a los laboratorios de la Facultad.

²La fuerza de flotación que actúa sobre un cuerpo sumergido en un fluido es igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo y actúa hacia arriba pasando por el centroide del volumen desplazado.[3]

³La fuerza viscosa fuerza que actúa sobre una partícula de fluido y que surge de gradientes espaciales en esfuerzos viscosos (o de fricción) dentro del flujo. La fuerza viscosa sobre una superficie es el esfuerzo viscoso integrado sobre la superficie.[3]

⁴Considérese el flujo de un fluido en un tubo estacionario o sobre una superficie sólida que es no porosa. La región del fluido adyacente a la pared, en la cual los efectos viscosos (y, por consiguiente, los gradientes de velocidades) son significativos se llama capa límite. La propiedad del fluido responsable de la condición de no-deslizamiento y del desarrollo de la capa límite es la viscosidad.[3]

⁵Las imágenes presentes en el trabajo son de carácter ilustrativo.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA PLATA
AV. 60 ESQ. 124 S/N. - CODIGO POSTAL: 1923
BERISSO - BUENOS AIRES - ARGENTINA
TEL: (54-221) 4124391
WWW.FRLP.UTN.EDU.AR - MECANICATENOLOGICA@FRLP.UTN.EDU.AR

